



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI



**BULANIK MANTIK KONTROLÖRLÜ
MİKROGRİD UYGULAMALARINDA RLC
YÜK YÖNETİM SİSTEMİNİN VERİMLİ
TASARIMI**

FİRAS HASAN MUHI MUHI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR

2023



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI



**BULANIK MANTIK KONTROLÖRLÜ
MİKROGRİD UYGULAMALARINDA RLC
YÜK YÖNETİM SİSTEMİNİN VERİMLİ
TASARIMI**

FİRAS HASAN MUHİ MUHİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET GÜÇYETMEZ

KIRŞEHİR

2023

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesini okuduğumu ve anladığımı ve Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tez olarak sunduğum bu çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda bu konuda hakkımda yapılacak tüm yasal işlemleri ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim./..../2023

Öğrenci
Firas Hasan Muhi MUHI

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

İÇİNDEKİLER DİZİNİ	I
TEŞEKKÜR	II
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
TABLolar DİZİNİ	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	VIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	4
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	6
3. MATERYAL VE METOT	11
3.1. Materyal	11
3.1.1. RES	11
3.1.2. MG ve Talep Tarafı Yönetimi.....	15
3.1.3. MG Sisteminde Yeşil Enerji Oluşumu.....	20
3.2. METOT	31
3.2.1. MG'lerin Uygulanması	31
3.2.2. TEG'lerin Tasarımı	32
3.2.3. PV Tasarım ve Parametreleri	34
3.2.4. Batarya Depolama Sistemi Tasarımı ve SOC	36
3.2.5. DC-DC Boost Dönüştürücü için MPPT.....	38
3.2.6. Ada Modunda AC-DC İnvörtör Kontrolü	40
3.2.7. Yükler ve Yük Yönetimi	41
3.2.8. Tekno-ekonomik Analiz.....	45
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	47
4.1. Yük Yönetimi Uygulamadan Önce MG Çalışmasının Durumu	47
4.2. Yük Yönetimi Uygulandıktan Sonra MG Çalışmasının Durumu	48
4.3. Sistemin Tekno-ekonomik Analizi.....	49
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	51
6. KAYNAKÇA	52
ÖZGEÇMİŞ	56

TEŞEKKÜR

Yüksek lisansa başlamamda ve yüksek lisans ders sürecinde kendisini tanıdığım günden bu yana gösterdiği sakin ve sabırlı hali ile her zaman bana örnek olmasının yanı sıra bir bilim insanının nasıl çalışması gerektiğini kendisinden öğrendiğim değerli danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Mehmet GÜÇYETMEZ'e büyük bir içtenlikle teşekkür ederim.

Ayrıca maddi ve manevi her zaman desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Ağustos, 2023

Firas Hasan Muhi MUHI



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BULANIK MANTIK KONTROLÖRLÜ MİKROGRİD UYGULAMALARINDA RLC YÜK YÖNETİM SİSTEMİNİN VERİMLİ TASARIMI

Firas Hasan MUHI MUHI

**KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet GÜÇYETMEZ
Yıl: 2023, Sayfa: 54
Jüri: Dr. Öğr. Üyesi Serkan KESER
Doç. Dr. Şekip Esat HAYBER

Bu tezin amacı, mikroşebeke sistemlerinde fazla kapasite olduğunda enerjiyi israf etmeden esneklik elde etmek için bulanık mantık algoritmasına dayalı bir yük kontrol yönetimi tasarımı yapmaktır. Çalışmadaki amaç, yükleri güç kaynaklarının durumuna göre planlayarak daha iyi çalışan bir sistemi tasarlamaktır. Güç azaltma algoritmaları ayrıca yükleri kontrol etmektedir. Böylece, üretim ve talep miktarı belirlenip karşılaştırılmış, mikroşebeke sistemi güvenilir ve dirençli hale getirilmiş, talep tarafı yönetim sistemi / yük yönetimine dayalı olarak arz ve talep arasında hızlı ve doğru seçim yapılarak mikroşebeke sistemi optimize edilmiştir. Batarya depolama sistem şarjı iyileştirilmiş ve yüksüz durum ile karşılaştırılmıştır. Önerilen mikroşebeke yapısı, Irak'ta yük kaydırma ve yük kırma DSM teknikleri ile uygulanabilir. Üretim-talep eşleştirme sayesinde, önemli ölçüde enerji tasarrufu mümkündür.

Mevcut yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını en üst düzeye çıkararak, genel yük profili iyileştirilir ve dolayısıyla depolama talebi azalır. Ayrıca, fazla elektrik geleneksel şebekeye satılabilir, ancak bu durum bu tezde incelenmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikroşebeke, Yenilenebilir enerji kaynakları, Termoelektrik generatör, Fotovoltaik, Talep tarafı Yönetimi, Yük yönetim sistemi, Bulanık mantık

ABSTRACT

MSc THESIS

EFFICIENT DESIGN OF RLC LOAD MANAGEMENT SYSTEM IN MICROGRID APPLICATIONS BASED ON FUZZY LOGIC CONTROLLER

Firas Hasan Muhi MUHI

**KIRŞEHİR AHI EVRAN UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF ADVANCED TECHNOLOGY**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mehmet GÜÇYETMEZ
Year: 2023, Pages: 54
Juries: Asst. Prof. Dr. Serkan KESER
Assoc. Prof. Dr. Şekip Esat HAYBER

The aim of this thesis is to design a load control management based on fuzzy logic algorithm in order to obtain flexibility without wasting energy when there is excess capacity in microgrid systems. The aim of the study is to design a better working system by planning the loads according to the state of the power supplies. Power reduction algorithms also control loads. Thus, the amount of production and demand was determined and compared, the microgrid system was made reliable and resistant, and the microgrid system was optimized by making a fast and accurate choice between supply and demand based on demand-side management system/load management. The battery storage system charge has been improved and compared to the no-load condition.

The proposed microgrid structure can be implemented in Iraq with load shifting and load clipping DSM techniques. Significant energy savings are possible thanks to production-demand matching. By maximizing the use of available renewable energy sources, the overall load profile is improved and therefore storage demand is reduced. Also, excess electricity can be sold to the conventional grid, but this has not been explored in this thesis.

Key Words: Microgrid, Renewable energy sources, Thermoelectric generator, Photovoltaic, Demand side Management, Load management system, Fuzzy logic

TABLULAR DİZİNİ

	Sayfa No
Tablo 3.1. Termoelektrik katsayılar ve değişkenler	31
Tablo 3.2. Elektrotermal değişkenler ve katsayılar	36
Tablo 4.1. Bulanık mantık kontrolü tarafından üretilen güç miktarı ile yükleme işlemi	47
Tablo 4.2. Tasarlanan hibrit PV-TEG sistemi tekno-ekonomik analiz sonuçları	48



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No	
Şekil 1.1.	Toplam enerji üretimine göre küresel RES üretim artışı	3
Şekil 1.2.	Önerilen akıllı MG metodolojisi	4
Şekil 3.1.	Yaygın RES	10
Şekil 3.2.	RES'deki Değişim (2019-2022)	11
Şekil 3.3.	DSM entegrasyonu kavramı	15
Şekil 3.4.	Bir LMS'de talep yanıtı	16
Şekil 3.5.	Uyarlanan DSM teknikleri	19
Şekil 3.6.	Açık devrede Seebeck etkisinin gösterimi	20
Şekil 3.7.	İki pinli ve bir eşleştirilmiş termoelektrik üniteye sahip bir TEG ünitesinin şematik diyagramı	22
Şekil 3.8.	Termoelektrik bağlantıları içeren TEG sistemi	22
Şekil 3.9.	Hücre, modül ve matris yapı tasarımı	25
Şekil 3.10.	PV sistemin eşdeğer devresi	25
Şekil 3.11.	PV dizisinin oluşumu	27
Şekil 3.12.	ET-P672320WW akım gerilimi ve PV özellikleri	28
Şekil 3.13.	Batarya şarj etme ve boşaltma devresi	29
Şekil 3.14.	Tüm sistemin MATLAB® ortamında tasarlanması	30
Şekil 3.15.	MATLAB® ortamındaki termoelektrik üniteler	30
Şekil 3.16.	TEG gerilim-akım-değişken sıcaklıklı güç	31
Şekil 3.17.	Değişken ışınım durumunda PV gerilimi, akımı ve gücü	32
Şekil 3.18.	PV modülünün gerilim-akım (I-V) ve güç-gerilim (P-V) özellikleri	32
Şekil 3.19.	20 paralel, 16 seri ünitenin I-V, P-V özellikleri	33
Şekil 3.20.	Nominal akım ve ilk SOC ile nominal batarya gerilimi	33
Şekil 3.21.	Bataryanın tam deşarj ve şarj parametreleri	34
Şekil 3.22.	Nominal akım deşarj karakteristiği	34
Şekil 3.23.	Bataryalı çift yönlü DC-DC dönüştürücü	35
Şekil 3.24.	Batarya yönetim sistemi	35
Şekil 3.25.	DC-DC yükseltici dönüştürücüyü izleyen ve izleyen MPPT kesinti tasarımı	36
Şekil 3.26.	Gerilim sinyalini izleyen MPPT çıkışı ve girişi	36
Şekil 3.27.	DC-DC boost görev döngüsü	37
Şekil 3.28.	Ada modunda evirici kontrolü	37
Şekil 3.29.	DC-AC eviricinin görev döngüsü	38

Şekil 3.30.	Tasarlanan yükler	39
Şekil 3.31.	Bulanık mantığın tüm yapısı	39
Şekil 3.32.	Giriş fonksiyonu olarak toplam güç	40
Şekil 3.33.	Yedek 1 - Yedek 2 - Yedek 3 - fonksiyon tuşları	40
Şekil 3.34.	Önerilen RLC LMS için bulanık mantık	41
Şekil 3.35.	Toplam güç, zaman ve ikincil yükler arasındaki bulanık mantık kural tabanı	41
Şekil 3.36.	Kritik_olmayan yük_1, toplam kapasite arasındaki bulanık mantık kural tabanı	41
Şekil 3.37.	Kritik_olmayan yük_2, toplam kapasite arasındaki bulanık mantık kural tabanı	42
Şekil 3.38.	MATLAB® ortamında bulanık mantık tabanlı LMS	42
Şekil 4.1.	MATLAB® ortamında TEG'in sıcak nokta sıcaklığı ve PV ışınımı	45
Şekil 4.2.	Mikroşebekelerin LMS olmadan çalıştırılması	46
Şekil 4.3.	MG ağlarının LMS ile çalışması	46
Şekil 4.4.	Bulanık mantık kontrol uygulamasından önce ve sonra SOC	47

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
∇T	: sıcaklık farkı
E	: elektrik alan
E_g	: yarıiletkenin enerji aralığı
G	: güneş ışınımı
G_{STC}	: nominal güneş ışınım olarak standart test koşulları altında üretilen ışık
I_0	: ters doyma akımı
I_D	: diyot akımı
I_L	: bobin akımı
I_{O_STC}	: nominal doyma akımı
I_{ph}	: foto akımı
I_{pk}	: indüktör tepe akımı
I_{pv}	: fotoakım
I_{SC_STC}	: koşul altında kısa devre akımı
K_i	: kısa devre akımı sıcaklık katsayısı
K_V	: standart test koşulları altındaki açık devre gerilimi
n	: TEG sayısı
N_s, N_p	: seri ve paralel hücrelerin sayısı
P_{ideal}	: ölü zaman miktarı
R_p	: baypass direnci
R_s	: seri direnç
T	: hücre sıcaklığı
T_h, T_c	: Sıcak ve soğuk nokta
T_{STC}	: standart test koşulları sıcaklığı
V	: ideal durumdaki diyot gerilimi
V_{OC_STC}	: koşul altında sıcaklık katsayısını belirten açık devre gerilimi
V_T	: termal gerilim
α_x	: x noktası için Seebeck katsayısı

Kısaltmalar	Açıklama
EV	: Elektrikli Araçlar (Electric Vehicles)
LMS	: Yük Yönetim Sistemi (Load Management System)
MG	: Mikroşebeke (Microgrid)
MPPT	: Maksimum Güç Noktası Takibi (Maximum Power Point Tracking)
P&O	: Boz ve Gözetle (Perturb and Observe)
PV	: Fotovoltaik (Photovoltaic)
RES	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları (Renewable Energy Sources)
SOC	: Batarya Şarj Durumu (State of Charge)
TEG	: Termoelektrik Generatör (Thermoelectric Generator)

1. GİRİŞ

Mikroşebeke (Microgrid (MG)), hem yerel elektrik arzı hem de talep sorunlarıyla başa çıkmanın sofistike bir yoludur. MG mantığı, güvenilir ve uzun ömürlü elektrik sağlamanın yenilikçi bir yoludur. Daha fazla inşa edildikçe MG'ler güç hatlarında daha büyük rol oynamaktadır. Bu durum aynı zamanda, merkezi olmayan enerji kaynaklarının kullanımının artmasıyla da gerçekleşmektedir.

MG'lerin önemli bir avantajı, elektrik şebekelerinin güvenilirliğini artırma yetenekleridir. MG'ler sıklıkla fosil yakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynakları (Renewable Energy Sources (RES)) dahil olmak üzere çeşitli enerji üretim kaynakları kullanır. Dağıtık enerji kaynakları, sahada veya yüklerin yakınında güç üretilmesine izin vererek iletim maliyetlerini azaltır ve esnekliği artırır. Şiddetli hava koşulları elektrik kesintilerine neden olduğunda, MG'ler gerektiğinde ada birimler olarak çalışabilir. MG veya MG parçası güç şebekesinden bağımsız olarak çalışmaya devam ederken, şebekenin geri kalanından yükler ve dağıtık enerji ile bir MG'nin veya bir elektrik şebekesinin bir bölümünün izole edilmesi tekniği, adalama olarak bilinir.

Dağıtık bir üretim sistemini ayırmak zor olduğunda, istenmeyen adalama yanlışlıkla oluşur. MG'ler genişlerlerken artacak yük, elektrik tüketimi veya güç kalitesindeki zorlukların üstesinden gelmek için gereken sermaye harcamalarını azaltabilir veya ortadan kaldırabilir.

MG'ler, genellikle birden fazla küçük güç kaynağı içerdiklerinden, tekli güç kaynaklarından daha esneklerdir. Fosil yakıtlardan ve yer altı enerji kaynaklarından üretilen enerji MG'deki enerji üretimine bağlanabilir. MG'ler büyüklüklerine, hizmet verdikleri müşteri tiplerine, sahip oldukları elektrik üretim ekipmanı tiplerine ve iş yaptıkları alanlara göre farklı gruplara ayrılmaktadırlar. Hem doğru akım hem de alternatif akımda çalışmaya uygundur. Geleneksel elektrik santrallerinden farklı olarak, hem ısı hem de elektriği aynı anda üretilen kendi iç yapılarında bağımsız olarak da çalışabilirler.

Rüzgar, güneş enerjisi, jeotermal ısı ve yeraltı suyu gibi yenilenebilir kaynaklara göre kömür, petrol ve şist gibi yenilenemeyen kaynaklar, elektrik üretmek için daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Tipik bir elektrik santrali, elektriğin üretildiği yerde bulunan endüstriyel bir tesistir. Aynı zamanda bir elektrik santrali, üretim istasyonu

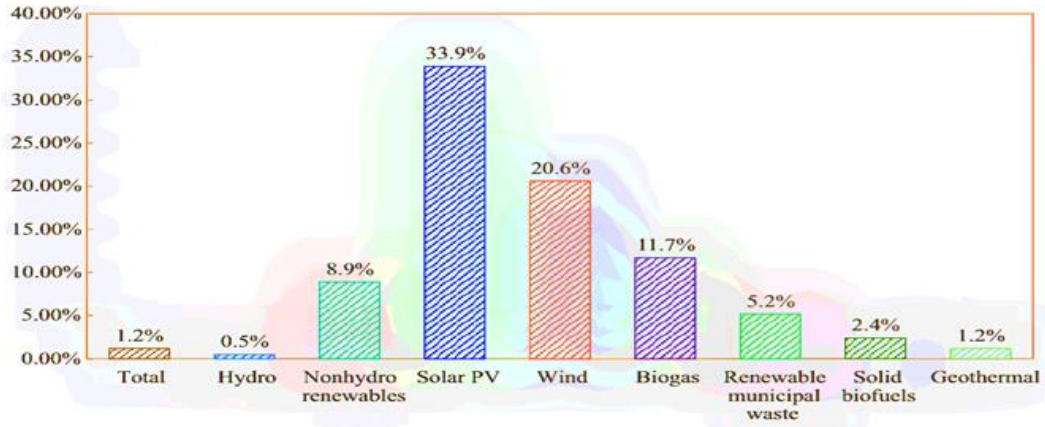
olarak da adlandırılır. Generatör, mekanik enerjiyi elektriğe dönüştüren bir ekipman parçasıdır. Tüm elektrik santralleri bu generatörlerden en az birini içerir.

Yenilenemeyen enerji kaynaklarının çoğu sürdürülebilir değildir ve muhtemelen tükenecektir, ancak RES'lerin sürdürülebilir ve asla bitmeyeceği kabul edilebilir. MG'ler, elektrik üretmek için geleneksel enerji santrallerine bir alternatiftir. Birleşen teknolojilerin bir sonucu olarak MG'ler, elektriği yerel olarak elde etmenin yeni ve avantajlı bir yoludur.

Yenilenebilir enerji, doğal yenilenme süreçlerinden elde edilmektedir ve doğrudan Dünya'nın iç ısı tarafından üretilen güneş, rüzgar, yağış, okyanus gelgitleri, biyokütle ve jeotermal kaynaklarına bağlıdır. 2008'de dünyanın nihai enerji tüketiminin %19'u yenilenebilir kaynaklardan, %13'ü geleneksel biyokütleden ve %3,2'si hidroelektrikten elde edilmiştir. Toplam %18'lik RES üretiminin yaklaşık %15'ini hidroelektrik enerji ve %3'ünü ise diğer RES oluşturmaktadır. Dört ana uygulamada, RES fosil yakıtların yerini almaya devam etmektedir. Bunlar: Elektrik üretimi, sıcak su üretimi, ulaşımda kullanılan yakıtlar ve şebekeye bağlı olmayan kırsal enerji hizmetleridir. Enerji seçiminin sera gazı emisyonları, su kaynağı tahsisi, mineral tüketimi ve ekipman üretimi ve nakliyesi üzerinde küresel etkileri vardır. Bu teoriye göre, RES teknolojileri mevcut enerji kaynaklarının çoğundan daha sürdürülebilirdir. RES sürdürülebilirliğinin doğrulanması gereklidir ve kaynak kullanımının optimizasyonu, teknik ve ekonomik fizibilite ve maliyet analizi, yaşam döngüsü değerlendirmesi, çevresel dışsallıkların analizi, maliyet analizi, üretim maliyeti analizi, araştırma ve geliştirme hedefleri, sınır belirleme, suya olan ihtiyaç ve su dağılım analizi yoluyla kolayca bu doğrulama yapılabilir. RES genellikle iki ana faktör nedeniyle tüm toplumlar için uygulanabilir olmayabilir. Bunlar: Coğrafi konuma bağlı olarak doğal kaynakların dağılımı ve kültüre bağlı olarak enerji tüketimi olarak söylenebilir. Altyapı ve büyüme hızı diğer kısıtlamalardır. Herhangi bir RES uygulaması, üç ana faktöre bağlı olan sürdürülebilirlik çalışmasını gerektirir. Bunlar: Çevresel etkiler, dışsallık maliyetleri, ekonomi ve finansmandır.

Son yıllarda, şebeke bağımlılığını azaltmak için modüler ve dağıtık RES' in önemi artmıştır. Yüksek düzeyde enerji iletim kayıpları olan geleneksel şebekeden, daha merkezi istasyonlardan nihai kullanıma kadar akıllı modüler bir mimariye sahip olan MG'lere geçilmesine ihtiyaç vardır. Çevresel etkilerin yanı sıra, politik ve

ekonomik faktörler de dizel jeneratörlerin küresel dönüşümünü artırmanın başlıca itici güçleridir. Şekil 1.1, dünyada RES'e dayalı elektrik enerjisi üretiminin artan yüzdelere göstermektedir (Bist ve ark., 2020). Bununla birlikte, RES'e dayalı enerji üretiminin kesintili ve hava durumuna bağlı doğasının, enerji üretim modellerini büyük ölçüde etkilemektedir. Sistem yöneticileri, belirsiz profilleri ele almalı ve buna göre değerlendirilen bir sistem ortaya koymalıdır. Güç sistemleri, bir dizi güç yönetimi aksiyomuna göre yönetilmesi gereken dağıtık olmayan üretim birimlerinin bir sonucu olarak kararlılık sorunları ve güç kalitesi bozuklukları yaşayabilir.



Şekil 1.1. Toplam enerji üretimine göre küresel RES üretim artışı (Bist ve ark., 2020)

Uygarlığın yayılmasının ve yaşam standartlarının iyileştirilmesinin enerjinin erişilebilirliğine, kabulüne, verimliliğine ve düşük maliyetli olmasına bağlı olduğu inkar edilemez (Schnitzer ve ark., 2014; Takalani ve Bekker, 2020). Güvenilir bir enerji kaynağına erişim, günümüzün hızla gelişen ekonomisinde sağlıklı ve üretken yaşam şartları için kritik öneme sahiptir (Blimpo ve Cosgrove-Davies, 2020). Gelişmekte olan ülkelerdeki kırsal alanların, su hizmetleri (Gambino ve ark., 2014; Dell'Era ve ark., 2015), tarım, sağlık, eğitim ve ticaret dahil olmak üzere birçok nedenden dolayı elektriğe artan erişimden fayda sağlayabileceğini iddia eden bir dizi yayın vardır. Kırsal alanlarda enerji erişiminin olmaması, aşırı yüklü altyapı üzerindeki baskıya rağmen insanları şehirlere taşınmaya iten büyük bir etkidir (Micangeli ve ark., 2018). Sahra Altı Afrika, dünyadaki herhangi bir bölgeye göre elektriğe erişimi olmayan nüfusta en düşük orana sahiptir (Philipo ve ark., 2020). Nüfusun büyük çoğunluğunun kırsal alanlarda yaşadığı ve nüfusun %80'inden fazlasının güvenilir elektriğe erişiminin olmadığı Doğu Afrika'da durum daha kasvetlidir (Williams ve ark., 2017). Gelişmekte olan ülkelerin kırsal kesimlerinde elektrik santralleri ve iletim hatları inşa etme ihtiyacı

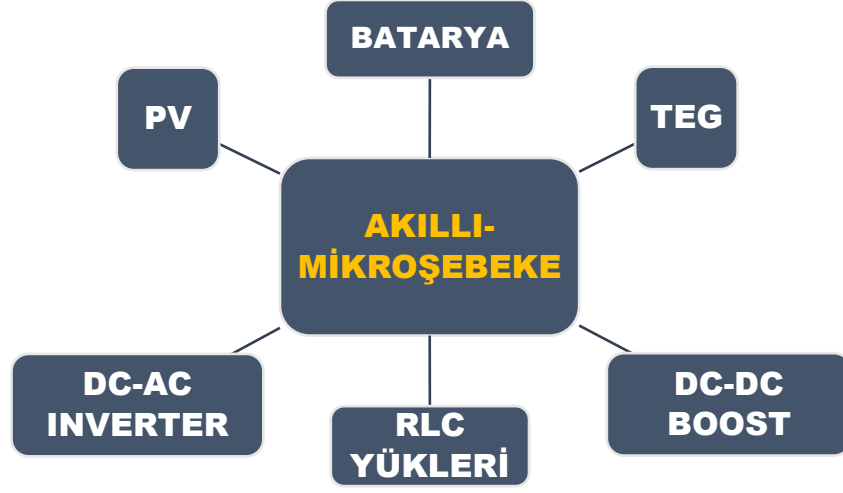
nedeniyle elektrik elde etmek zordur. Şebeke iletimini ve enerji üretimini artırmaya yönelik hükümet girişimlerine rağmen, çeşitli araştırmalar, yüksek talep (Azurza ve ark., 2012) ve hükümetlerin öne çıkması nedeniyle kentsel ve endüstriyel yüklerle daha çok önem verildiğini göstermektedir.

1.1. Amaç

MG kontrolünü sınıflandırmanın ve tanımlamanın farklı yolları olsa da, genel fikir birliği, üç kontrol seviyesi olduğu yönündedir. Bunlar: Birincil, ikincil ve üçüncül kontrollerdir. Sistem düzeyinde, daha yüksek kontrol yöntemi çoğunlukla güç programlama, optimizasyon ve yönetim ile ilgilidir. Üçlü kontrol sisteminin amacı, enerji maliyeti, emisyon seviyesi, verimlilik, kararlılık, koruma, sürdürülebilirlik çabaları ve RES kullanım oranı arasındaki en iyi dengeyi bulmaktır. Üçlü mikro şebeke denetleyicisi, generatörler ve farklı yükler arasındaki elektrik akışını kontrol etmenizi sağlar.

Birçok yöntemden oluşan talep tarafı yönetimi nedeniyle, bu tezde, hibrit fotovoltaik (photovoltaic (PV)) sistemi ve Termoelektrik Generatör ((Thermoelectric Generator (TEG)) ünitelerini içeren MG'de enerji verimliliğini ve güvenilirliğini artırmak için bir harmonik rezonans devre yük yönetim sistemi (Load Management System (LMS)) uygulanmıştır. Bu çalışmada, üretilen gücün mevcudiyetine bağlı olarak birçok durumda yükleri kontrol etmek için bir bulanık mantık denetleyici kullanılmıştır.

Bu çalışmada, fotoelektrik ve TEG'ler MG'de bir arada sunulmuştur. RES, akıllı sayaçlara ve yüklerle gitmeden önce kontrollü bir şebeke dışı invertörle gücü DC'den AC'ye dönüştüren bir DC-DC boost invertöre bağlanmaktadır. Önerilen metodoloji Şekil 1.2'de gösterilmektedir. Akıllı güç yönetimini oluşturmak için bulanık mantık denetleyicileri kullanılmıştır. Güç üretimine göre yük faaliyetleri incelenmiştir. MG ağ bileşenlerini anlamak kolaydır, ancak sistemin bütün olarak çalışmasını anlamak çok daha zordur. Sonuçta, çok kaynaklı bir MG'nin davranışı bilinmemektedir. MG modelleme ve simülasyon çalışmaları, verimli bir güç yönetim sistemi oluşturmak için dünya çapında çok sayıda araştırmacı tarafından yürütülmektedir. Bu çalışma MATLAB® 2020B kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1.2. Önerilen akıllı MG metodolojisi

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Jeotermal hücre ve bataryalardan oluşan standart bir sistemin başarılı bir şekilde çalışmadığı ekvatorundan uzak bir alanda, hibrit bir güç kaynağına dayalı bir sokak aydınlatma sistemi incelenmiştir (Lagorse ve ark., 2009). Genetik algoritma ve basit analiz kullanılarak, jeotermal hücreler, piller, yakıt hücreleri ve hidrojen tanklarından oluşan bir sistem, bileşenlerin ekonomik seçimi açısından incelenmiştir. Araştırmanın bulguları, hibrit modelin performans açısından da en ekonomik seçim olduğunu göstermiş; basit bir analitik prosedür uygulanarak kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir (Lagorse ve ark., 2009).

MG'ler, yük yönetimi ve adalama koruması dahil olmak üzere çözülmesi gerekli birçok teknolojik konuyu gündeme getirmiştir. Bununla bağlantılı olarak, ILS akıllı yük ayırıcı kavramı tanıtılmıştır (Kennedy ve ark., 2012). Bu ünite, yüklerin hücreden ne zaman izole edilmesi gerektiğini algılamak için çekirdek olmayan yüklerle seri olarak bağlanmaktadır. Bu durumlarda, bir yük atma algoritması, yerel dizel jeneratör kullanılarak hücrenin çalışma sınırlarında tutulabilmesi için yükleri sistematik olarak kaldırır.

(Mamur ve Ahiska, 2015), bir jeotermal TEG sisteminin pil grubuna doğrudan bağlı olan ve olmayan bir TEG arasındaki şarj tutarsızlıklarını tartışmışlardır. TEG'in iç direnci sıcaklığa daha duyarlıdır ve sıcaklık farkıyla dalgalanır. Bu dalgalanma, Boz ve gözetle (Perturb and Observe (P&O)) MPPT algoritması kullanılarak dahil edilmesi ile azaltılmıştır. TEG'in iş performansı %92'dir. Elde edilen sonuçlar, MPPT'li DC-DC yükseltici dönüştürücülerin kullanılmasının, doğrudan pil paketine bağlı TEG sistemlerine tercih edildiğini göstermektedir.

2016 yılında bir hibrit sistem modeli geliştirilmiştir (Chaib ve ark., 2016). MANIT Bhopal'daki konut inşaatının durumunu araştırmak için HOMER programı kullanılmıştır. Güneş/rüzgar sistemi kontrolü yapılmıştır. Sonuçlar, sistemin yılda yaklaşık 36 kWh'lik gerçek bir artık ya da yedek yük kapasitesine sahip olduğunu ve yıl boyunca kesintisiz olarak faydalı yük değişikliklerini karşılayabileceğini göstermiştir.

Enerji süreçleri devam ederken kritik yük kapasite dengesini korumak için bir MG-LMS gereklidir. Sürekli güncellenen aktif yük hesaplamalarına dayanan önceden tanımlanmış ve yük azaltma hesaplamaları ile MG, şartlar gerektirdiğinde minimum

müşteri mağduriyeti ile uygun güç azaltmalarını gerçekleştirebilir. Yük kontrolü hem MG ağına bağlıyken hem de izole edildiğinde aktiftir (Moran, 2016). Araştırma, her koşulda yükleri tahmin etme, analiz etme, önceliklendirme ve yönetme yöntemleri, enerji üretimi ve depolanmasının kontrolünde LMS'nin işlevini incelemektedir.

(Champier, 2017), TEG'lerin verim düşüklüğünün ucuz malzemeler kullanılarak azaltılabileceğini göstermiştir. Isı kaynakları büyük ölçüde değişmediğinden, bu ayarlardaki malzemeler önemli termal strese maruz kalmaz. Diğer uygulamalarda, ısı kaynağı sıcaklıkları dalgalandığında ve malzemeler rutin olarak ciddi sıcaklık döngülerine maruz kaldığında durum oldukça farklıdır. Güneş TEG'leri üzerine yapılan araştırmalar, daha yüksek çalışma kaynaklarına ve daha düşük maliyetlere sahip yeni malzemelerin keşfedilmesiyle desteklenmiştir. TEG'ler, izole edilmiş yerlerde kaybolan termal enerjinin geri kazanılmasını ve elektrik üretilmesini sağlar. Çeşitli mevcut ve gelecek uygulamalar hala tartışılmaktadır. Çalışmanın temel amacı, bir TEG'in endüstrilere ve evlere pratik olarak kurulabileceğini kesin olarak kanıtlamaktır. Etkili bir şekilde oluşturulmuş sistemler, düşük verimlilik sorununun üstesinden gelme ve önemli ölçüde ekonomik veya çevresel katma değer sağlama yeteneğine sahiptir.

RES içeren MG talep tarafı yönetiminin maliyetini azaltmak için gerçek zamanlı bir yöntem önerilmiştir (Pasha ve ark., 2018). Önerilen yaklaşım, konut, ticari ve endüstriyel kullanıcılar için yük dağıtımını tekrarlayan değişken yüklerde sık görülen değişimleri azaltmaktadır. Genel enerji maliyetlerini düşürürken hem tedarikçi hem de kullanıcının daha mutlu olması hedeflenmiştir. Bu maliyet optimizasyonu yöntemi, MG'de yenilenebilir bir enerji kaynağına olan talebi yönetmeye çalışmaktadır. Strateji, değişken yük kurulumunda verimli güç planlaması için en yüksek faydayı ve maliyet azaltmayı hedeflemiştir.

TEG'ler düşük enerjili uygulamalarda atık ısıdan elektrik üretmek için kullanılmaktadırlar (Mamur, 2020). TEG'lerin terminallerine bağlı yük, en yüksek miktarda güç üretebilmek için iç dirençleriyle eşleşmelidir. Bunu aşmak için maksimum güç noktası izleme (Maximum Power point Tracking (MPPT)) yöntemleri kullanılır. TEG modeli, bir P&O-MPPT özellikli boost dönüştürücüden oluşturulmuştur. Modelleme sürecinde TEG üreticileri tarafından sağlanan Seebeck katsayısı ve sıcaklık değerleri kullanılmıştır (Mamur, 2020). Araştırmacılara göre, MPPT ve P&O

özelliklerine sahip önerilen boost dönüştürücü, TEG gücünün %98,54'ünü başarılı bir şekilde çıkışa aktarmıştır.

Ada modda çalışan MG'ler için yük ayırma için yeni bir yöntem önerilmiştir (De Souza ve ark., 2019). Sadece her bara terminalinin boyutları ve RES kapasitesini kullanır. Algoritma, bir baranın yük bölmesinden ne zaman ayrılması veya yük bölmesine yeniden katılması gerektiğini belirleyecektir. MG bağımsızdır ve ek kontrol veya bağlantı gerektirmez. Çevrimdışı karar verme için bu çalışma, bulanık mantık, yük atma ve çevresel ölçümlere dayalı prosedürleri birleştirir. Sonuçlar, baralar kendi kararlarını verseler bile, sistemin gücü yüksek öncelikli kullanıcılara dağıtmak için çalışmaya devam edebileceğini göstermiştir.

Geniş bir sıcaklık aralığında herhangi bir sıcaklık farkıyla elektrik akımı üretmek için yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak TEG kullanılmıştır (Zoui ve ark., 2020). TEG'ler, olumsuz çevre koşullarında bile kararlı ve çevreyi kirletmeyen bir şekilde enerji sağlarlar. Düşük verimlilik, dönüştürme teknolojisinin ilerlemesi ile sorun olmaktan çıkmaktadır. Termoelektrik olarak bilinen fiziki kavram, ısının doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmesini (Seebeck etkisi) veya bu işlemin tersine çevrilmesini, elektrik akımının ısıya dönüştürülmesini (Peltier etkisi) içerir. Düşük verimlilik nedeniyle termoelektrik uygulamaları, enerji üretimi, ısı geri kazanımı ve soğutma ile sınırlı kalmıştır.

(Kavadias ve Triantafyllou, 2021)'e göre hibrit güç sistemi, rüzgar enerjisi, yakıt hücreleri, PV hücreler ve biyoyakıt jeneratörleri gibi geleneksel ve gelişmiş güç kaynağı unsurlarını içerir. Güneş PV sistemlerinin ısıya ve güneş ışığına maruz kalması en büyük sorundur.

Hibrit güç sistemleri, özellikle öngörülemezlik durumunda elektrik israfını azaltmak için bir enerji depolama cihazına ihtiyaç duyar. Hibrit güç kaynakları, elektriği daha verimli ve güvenilir bir şekilde üretmek için iki veya daha fazla RES'i birleştirirler. Bu enerji kaynakları çoğunlukla güneş panelleri ve rüzgar türbinlerinden oluşmaktadır. Çeşitli hibrit enerji depolama seçenekleri, her biri için avantaj ve dezavantajlarını gösteren bir liste şeklinde incelenmiştir (Agdam ve ark., 2021).

TEG'ler, termal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren bir tür enerji toplayıcı ve çevre dostu bir güç üretim cihazıdır. Bir termoelektrik cihazın çalışma

mekanizması için genellikle daha yüksek bir sıcaklık koşulu gereklidir ve bu maalesef cihazın uygulanabilirliğini sınırlar (Zulkepli ve ark., 2021). Düşük sıcaklıklarda çalışan TEG'lerin kapsamlı bir incelemesi yapılmış, düşük sıcaklıkta çalışma uygulamaları için termoelektrik malzemelerin mevcut gelişimine genel bir bakış ortaya konmuştur (Zulkepli ve ark., 2021). Düşük sıcaklıklarda çalışan TEG teknolojisi, birçok olası uygulama ile yaygın olarak tanıtılan bir çekirdek teknolojidir. Küresel iklim değişikliğine olumlu katkı sağlayan ve hareketli parçası olmayan bol miktarda atık ısı kaynağıdır.

Talep tarafı mekanizmasına dayanan bir MG ağını kontrol etmenin bir yolu, yükü dengeleyen talep tarafı yönetimi (DSM) stratejisidir (Philipo ve ark., 2021). Sonuçlar, aylık yaklaşık 3,7 kW enerji tasarrufu sağlandığını göstermektedir. Bu sonuç, belirli müşteri programlarına uygun enerji yönetimi teknolojisi kullanılarak daha düz bir yük profili ve enerji tasarrufu sağlanabileceğini, tüketim çeşitliliğinden yararlanmak için daha iyi bir fırsat ve sonuç olarak daha düşük tepe güç talebi sağlanabileceğini göstermektedir. Bazı müşteriler için yükleri yoğun olandan yoğun olmayana taşımak veya yoğun saatlerde bazı yükleri kapatmak zor olabilir. Bu çalışmada DSM yazılımı, yoğun saatlerde yükleri yönetmek için bir yük sınırlayıcı olarak kullanılmıştır (Philipo ve ark., 2021).

Bir MG, kaynaklarını ve yüklerini yönetmek için akıllı sayaçları, akıllı cihazları, kontrol sistemlerini ve diğer benzer araçları kullanan bir şebekedir. Ada Modunda veya ada modunda kullanılabilir veya kaldırılıp geleneksel bir senkronize ağ ile senkronize edilebilir. Denenmiş birkaç MG yönetim stratejisinin bir özetini verilmiştir (Topa Gavilema ve ark., 2021). Bu değerlendirmeden çıkan ilk netice, MG kullanımında bir güç yönetimi stratejisinin kullanılmasıdır. İyi bir enerji yönetim sistemi, bileşenin hizmet ömrünü uzatırken MG'nin verimliliğini ve kararlılığını artırabilir. Dağıtık veya işbirliğine dayalı optimizasyon stratejileri, birçok MG aracılığıyla güç akışlarını yönetmek için tanıtılmış ve başarıyla test edilmiştir (Topa Gavilema ve ark., 2021).

MG'lerde, enerji depolama sistemleri, yükler ve dağıtık enerji kaynakları birbirine bağlıdır. Dağıtık enerji kaynaklarının güvenli, güvenilir ve akıllı kullanımı için bir enerji yönetim sistemi gereklidir. MG'ler için DC güç yönetimi sistemi, ölçek ve maliyet optimizasyonu açısından artan ilgi görmektedir. (Ali ve ark., 2021) ev tipi DC mikroşebekelerle ilgili birkaç ciddi zorluğu araştırmışlardır. Sistem verimliliği,

güvenilirlik ve maliyet açısından DC mikro şebekeler, hibrit DC-AC-DC MG'lere ve standart AC mikro şebekelere göre avantajlar sunar. Sistem verimliliğini artırmak ve enerji dönüştürme işlemlerinin sayısını azaltmak için hala büyük çaba gerekmektedir. Konut DC mikro şebekelerinin analizi, gelecekte tasarımcılar için yararlı olabilir. Bazı yerleşik son kullanıcılar HOMER, i-HOGA ve TRANSYS gibi mevcut yazılım çözümlerini ilgi çekici bulabilir.

2022 yılında artan enerji talebini karşılayabilmek için güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi gibi RES'e öncelik verilmiştir (Jha et al., 2022). Enerji israfını azaltmanın bir yolu olarak iki enerjili şebeke bağlantılı bir üretim sistemi önerilmiştir (Jha et al., 2022). Önerilen çözümün toplam fiyatı tam olarak uygulandığında 49.500\$'dır. Sistem güvenilirliği ve kararlılığı, PV dizilerinin açısının optimize edilmesi, rüzgar enerjisinden faydalanılması ve eviricilere hassas ayar yapılması gibi bir dizi farklı yöntem kullanılarak iyileştirilmiştir. Elektrik üretimi için güneş ve rüzgar enerjisi gibi RES'in kullanılması, küresel ısınma ve aşırı sera gazı emisyonları gibi sorunların çözülmesine yardımcı olabilir. Önerilen hibrit güç sisteminin avantajları, güç kaynağının güvenilirliği, verimli çalışması ve bakım maliyetinin ucuz olmasıdır. Rüzgar ve PV modülleri kullanılarak mevcut sistem maliyetleri %10 ila %20 oranında azaltılabilir (Jha et al., 2022).

Bangladeş'teki Kwakta izolasyon bölgesi için şebekeden bağımsız bir PV, rüzgar ve biyokütle hibrit sisteminin performans değerlendirmesi sunulmuştur (Hossen ve ark., 2022). HOMER yazılımı, güneş ışınımı, rüzgar hızı ve biyokütlenin gerçek zamanlı saha gözlemlerini kullanarak sistemin operasyonlarını modellemiş ve optimize etmiştir. Bangladeş, Kwakata yakınlarındaki bir site için güneş enerjisi, dizel generatör, rüzgar türbinleri ve batarya depolama cihazlarından oluşan hibrit bir ada şebeke oluşturulmuştur. Ekonomik ve çevre dostu olan MG konfigürasyonu belirlenmiştir. Yük takip yöntemi kullanılarak yapılan analizlerde sistem kararlılığı ve güvenilirliği en yüksek olarak elde edilmiştir.

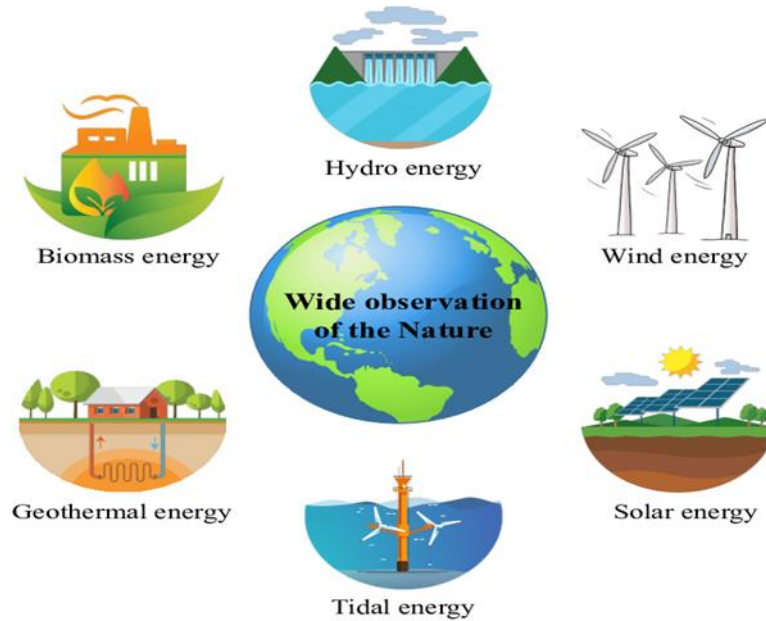
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Fosil yakıtların tüketilme şekli ve talebi son yirmi yılda artarak durumu daha da korkunç hale getirmiştir. Küresel petrol rezervleri azalmakta ve enerji üretimi büyük ölçüde sera gazı emisyonlarını artıran petrol ve fosil yakıtlara dayanmaktadır. Kirleticilerin atmosfere salınmasının, küresel ısınma da dahil olmak üzere yıkıcı etkileri vardır. Bu nedenle, yenilenebilir ve çevre dostu enerji kaynakları kullanarak çevrenin korunması zorunludur.

3.1.1. RES

"Yenilenebilir enerji kaynakları (RES)" kavramı, doğal yollarla yenilenen enerjiyi ifade eder. Güneş, rüzgar, yağmur, gelgit, biyokütle ve jeotermal enerji kaynakları birincil kaynaklardır. 2008'de yenilenebilir enerji, küresel nihai enerji tüketiminin %19'unu, geleneksel biyokütle %13'ünü ve hidroelektrik %3,2'sini oluşturuyordu. Yaygın RES, Şekil 3.1'de gösterilmektedir.

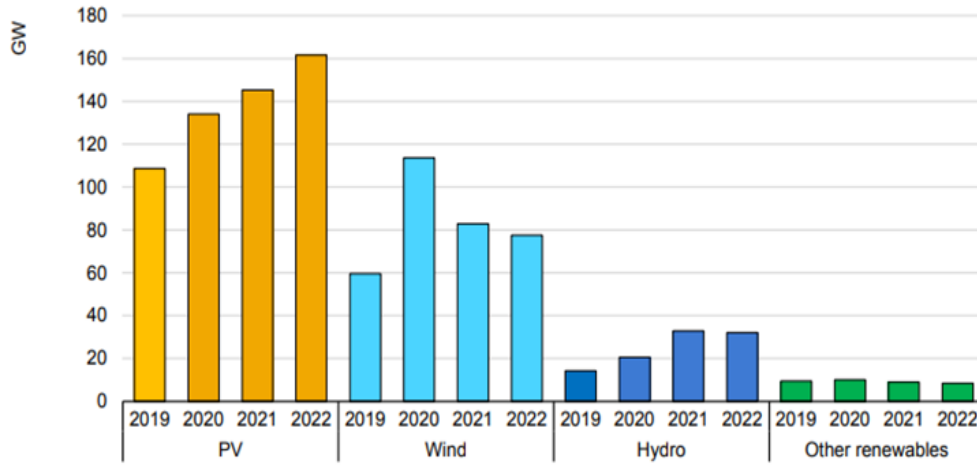


Şekil 3.1. Yaygın RES (Ghandriz ve ark., 2021)

Yenilenebilir enerjiden üretilen elektrik kapasitesi yaklaşık %18, hidroelektrik enerji %15 ve yeni yenilenebilir teknolojiler kalan %3'ü oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji, fosil yakıtların yerini almak için dört ana şekilde kullanılabilir. Bunlar: Elektrik üretimi, sıcak su kullanımı, araçlardaki yakıt tüketimi ve kırsal ya da şebeke dışı

alanlardaki elektrik hizmetleridir. Enerji üretimi seçiminin, karbondioksit emisyonları, su kaynaklarının dağılımı, maden kullanımı ve ekipman yapımı ve nakliyesi üzerinde küresel etkileri vardır.

RES, çoğu diğer enerji türlerinden daha kararlıdır. Yenilenebilir enerjinin sürdürülebilir olduğunun doğrulanması önemlidir ve kaynak kullanımı, teknik ve ekonomik fizibilitenin yanı sıra maliyet analizi, yaşam döngüsü değerlendirmesi, dış çevresel maliyet analizi, maliyet fayda analizi, üretim maliyeti analizi, geliştirme ve araştırma hedefleri, mevcut sorunlar, enerji kaynaklarının dağılımı tanımlama yoluyla yapılabilir. Yenilenebilir enerji, iki temel kavramdan dolayı her zaman herkes için kullanışlı olmayabilir. Bunlar: İnsanların nerede yaşadığına bağlı olarak çevresel varlıkların dağılımı ve kültürlerine bağlı olarak insanların enerjiyi kullanma şeklidir. 2022'de her yıl eklenen güneş enerjisi miktarı yeni bir rekor olan 162 GW'a ulaşmıştır. Bu, pandemiden önceki 2019 yılına göre %50'den daha yüksek bir değerdir (IEA, 2021). 2019'dan 2022'ye kadar Şekil 3.2'de gösterildiği gibi, her türdeki yenilenebilir enerjinin kapasitesi artmaktadır (IEA, 2021).



Şekil 3.2. RES'deki Değişim (2019-2022) (IEA, 2021)

Hem sistemin mevcut durumu hem de mevcut artış hızı, kaynakların daha fazla sınırlandırılmalarına neden olmaktadır. Yenilenebilir enerjinin uygulanması düşünüldüğünde, üç farklı ama birbiriyle ilişkili hususa dayanan bir sürdürülebilirlik analizi yapmak önemlidir. Bunlar: Çevre üzerindeki etkiler, herhangi bir dış faktörün maliyeti ve stratejiyi uygulama ve sürdürme maliyetidir. Topluları farklı RES'lere bağlamadan önce, hiçbir kültürel, çevresel veya ekonomik sorunun meydana

gelmediğinden veya tehlikeye girmediğinden emin olmak için kapsamlı bir çalışma yürütülmelidir. RES'lerden bu çalışmada enerji kaynağı olarak ele alınan güneş enerjisi ve TEG'lerin enerji kaynağı olan jeotermal enerji üretimi hakkında bilgi verilecektir.

a. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, Dünya'da en bol bulunan RES'dir. Bol miktarda güneş ışığı olmasına rağmen, PV paneller fosil yakıtlardan daha pahalıdır. Sonuç olarak, kullandığımız birincil enerjinin yalnızca yüzde 0,04'ü doğrudan güneşten elde edilir. Son yıllarda, PV uygulamalar için organik malzemelerin kullanımına ilişkin çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bunun nedeni, organik malzemelerin güneş enerjisini yakalamada daha iyi olmaları değil, organik PV malzemelerden enerji üretmenin diğer PV teknolojilerine göre çok daha ucuz olmasıdır. Güneşin ısısı, elektrik üretmek için bir generatöre güç sağlayan buhar üretmek için kullanılır. Termal depolamayı kullanan bu sistem düşük işletme maliyetlerine sahiptir, iyi performans gösterir ve güvenilir bir enerji kaynağıdır.

PV paneller ve enerji maliyeti hızla düşmektedir. PV endüstrisi büyümeye ve teknolojisini geliştirmeye devam ederse, PV enerji fiyatının geleneksel enerjinin fiyatı ile yakın bir gelecekte aynı ya da daha cazip olacağı ve PV kapasitesinin 2030'a kadar 5 TW'ye ulaşması beklenmektedir (Urbina, 2022). Dünya yüzeyinin çoğu güneşten enerji toplamak için kullanılabilir. Petrol bazlı ve nükleer enerjiden farklı olarak, güneş enerjisi çevreyi kirletmez ve depolanması gereken sera gazı veya atık üretmez. Ayrıca, enerjiyi kullanılabilir bir forma dönüştürmek için gereken gürültü kirliliği miktarı azdır, yapımı ve kullanımı daha sessizdir.

Rüzgar ve su gibi diğer RES'lerle karşılaştırıldığında, güneş ev sistemlerinin çevre üzerinde önemli bir etkisi yoktur. Güneş panellerinin hareketli parçaları yoktur ve düzenli olarak temizlenmeleri gerekir. Kırılabilir ve değiştirilmesi gereken hareketli parçalar olmadığı için ilk kurulum maliyetinden sonra bakım ve onarım maliyetleri çok yüksek değildir. Ayrıca, güneş PV panellerinin mevcut talebi karşılamamanın tek yolu olduğunu belirtmek önemlidir. Güneş enerjisi ile ilgili temel sorun, pahalı olmasıdır. Teknoloji gelişmesine rağmen, güneş panelleri çoğu yaygın kullanım için hala çok pahalı sayılabilir. Güneş panellerinin maliyeti hesaba katılmasa bile, kullanım için enerji depolamada gereken sistem çok pahalı olabilir. Bulutlu günlerde bile bir miktar

güneş enerjisi toplanabilir, ancak güneş enerjisini elde etmenin en iyi yolu güneş ışınlarının olduğu zamandır. Güneş enerjisi geceleri toplanamadığından birkaç bulutlu gün bile önemli bir etkiye sahiptir.

b. Jeotermal Enerji

Enerji elde edilmesi sürecinde jeotermal ısı, daha sonra ısı olarak yüzeye çıkan enerjiyi üretmek için kullanılır. Bu ısı doğal olarak sıcak su veya buhar ürettiğinde elektrik üretmek için bir buhar türbinini veya TEG'leri çalıştırmak için kullanılır. İtalya, 20. yüzyılın başlarında jeotermal enerjiyi ticari amaçlarla kullanan ilk ülke olmuştur. Jeotermal enerji çevreye faydalıdır. Minimum çevresel etki ile sabit ve verimli bir temiz enerji akışı sağlar. Yerkürenin iç ısisından elde edilen jeotermal enerji çeşitli şekillerde kullanılabilir.

Jeotermal enerji uygulamaları üç kategoriye ayrılabilir: Bunlar: Isıtma sistemleri, doğrudan kullanım, enerji üretimi ve jeotermal ısı pompası kullanımınıdır. Jeotermal enerji, yalnızca farklı şekillerde kullanılabilmesi nedeniyle değil, birçok nedenden dolayı son derece değerli bir enerji kaynağıdır. Jeotermal enerji güvenilir, bol ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Bunun nedeni, Dünya'nın çekirdeğindeki potasyum ve uranyum gibi malzemelerin radyoaktif bozunmasının ısı üretmeye devam etmesidir. Jeotermal tesisler yakıt gerektirmez; Bu nedenle çevre dostu ve dayanıklıdır. Jeotermal enerjinin kullanımı daha düşük kirlilik seviyelerine sahip olduğundan hava kirliliğine veya küresel ısınmaya katkı oldukça düşüktür.

Jeotermal enerji kurulu gücüne 2019 yılında toplam 759 MW eklenmiştir. Diğer ülkelerdeki kurulu jeotermal üretim kapasitesi 1.024 MW olup, 2030 yılı için sadece Türkiye'de 3055 MW kurulu kurulu jeotermal üretim kapasitesinin olması tahmin edilmektedir (Güllü ve Kartal, 2021). Yenilenebilir enerjiler aynı zamanda artan enerji talebini karşılamakta ve gezegenimizin, çevrenin veya atmosferin geleceğine zarar vermeden yeni teknolojilerin geliştirilmesini sağlamaktadır. Jeotermal enerji, gezegenin bazı bölgelerinde hayati önem taşıyan bu enerjilerden biridir. Örneğin Türkiye, jeotermal kaynakları açısından Çin, Japonya, Amerika Birleşik Devletleri ve İzlanda'dan sonra dünyada beşinci sırada yer almaktadır. Türk hükümetinin desteği ve yenilenebilir enerjiyi geliştirmesi jeotermal enerjiye büyük fayda sağlamıştır. Jeotermal santraller için uygun yer bulmak kolay değildir. Jeotermal santraller birkaç saha ile sınırlıdır. Bu

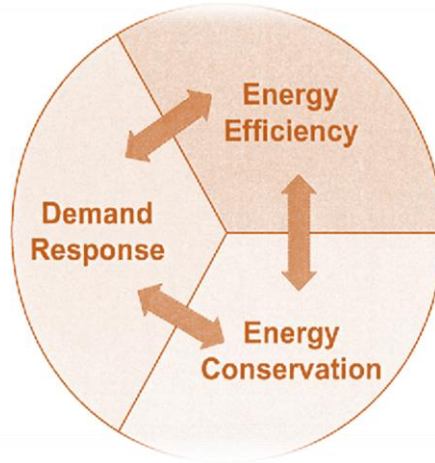
bölgede sıcak ve delinebilir kayalara ihtiyaç vardır. Jeotermal enerjinin çoğu, volkanların ve depremlerin de meydana geldiği tektonik levha sınırlarının yakınında bulunmaktadır. Bazen jeotermal sahalar birkaç ay kurur ve bu süre zarfında elektrik santrali elektrik üretemez. Diğer enerji türleri ile karşılaştırıldığında, jeotermal enerji daha az enerji üretir. Jeotermal enerjinin taşınması zordur. Bu nedenle, jeotermal tesisler yalnızca komşu topluluklara enerji sağlayabilir. Buharın kendisi temiz ve güvenli olsa da yer kabuğundan hidrojen sülfid, cıva, amonyak ve arsenik gibi tehlikeli maddeler getirebilir. Son olarak, jeotermal enerjinin deprem oluşturma potansiyeli vardır.

3.1.2. MG ve Talep Tarafı Yönetimi

Talep tarafı yönetimi, müşteriler tarafından kullanılan enerji miktarını ve tüketim modellerini kontrol etmek ve iyileştirmek için kullanılacak etkili bir araçtır. Talep yönetiminin ilk kez popülerlik kazandığı 1990'larda ciddi bir enerji kıtlığı yaşanmıştır. Gelişmiş talep tarafı yönetimi sorununa potansiyel çözümler ve talep tarafı yönetim sistemini daha akıllı ve güvenilir hale getirmenin yolları olarak birçok farklı teknoloji önerilmiştir. Bunlar: Akıllı şebeke evrimi, RES'in entegrasyonu, gelişmiş altyapı için akıllı anahtarlar, elektrikli araçlar (Electrical Vehicles (EV)) ve dinamik fiyatlandırmadır. Buna ek olarak, konut enerji yönetim sistemlerinin ve iletişim cihazlarının artan kullanımı, mevcut elektrik şebekesinin yapısını değiştirerek onu daha merkezi olmayan, sağlam ve akıllı hale getirmektedir. Enerji planlaması, enerji sektörünün genişletilmesi ve çevrenin korunması, talep tarafı yönetimi tarafından desteklenmektedir. MG 'lerin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Enerji üretimi ve dağıtımındaki verimsiz yatırımların azaltılması
- Şeffaf işlemlerin sağlanması
- Arz ve talep bilgilerinin anında değişimi
- Etkin pazar gücünün sınırlandırılması
- Pazar verimliliği operasyonunun teşvik edilmesi
- Enerji işlemlerinde fiyat mekanizmasının hızlandırılması ve optimizasyonu
- Enerji ağının gelişiminde yeni ufuklar açmak
- RES'e, enerji depolama sistemlerine ve EV'lerin şebekeye bağlı olarak gelişimleri

Bununla birlikte, bu bileşenlerin kombinasyonu, RES'in aralıklı çalışması ve elektrikli araçların henüz düzensiz davranışı nedeniyle yalnızca işleri daha sinir bozucu hale getirecektir. Bu, yük dengesizliğine ve sistem genelinde bir enerji dengesizliğine yol açabilir. Bununla birlikte, enerji depolama sistemleri ve EV'ler, yoğun saatlerde enerji depolayarak talep tarafı yönetim aracını geliştirebilir. EV'lerin şarj ve deşarjı, konutlarda enerji kullanımı ve yenilenebilir enerji üretimi işletme sırasında her zaman beklentileri karşılamamaktadır. Bu nedenle, yoğun saatlerde, enerji depolama sistemleri ve EV, depolanmış enerji rezervlerini kullanarak talep yönlü bir yönetim yaklaşımı uygulayabilir. Talep tarafı yönetimini uygularken, tasarruf çabasını azaltmak, dikkate alınması gereken başka bir seçenektir. Şebeke yük bara gerilimi güvenli seviyelere düşürüldüğünde, bazı yüklerde pik talep azalır. Tipik olarak talep tarafı yönetimi, en yüksek talebi ve genel güç tüketimini azaltmak için geleneksel hizmet ağlarında kullanılır. MG'lerin daha düşük gerilim kısıtlamalarında çalışmasını sağlamak için, aynı yöntem belirtilen yüklerde tepe talebini azaltmak için kullanılabilir. Bununla birlikte, gerilim kontrolörleri, süper kapasitörler ve dokunmatik transdüserler gibi ekipmanların sunduğu gecikme nedeniyle, gerilim düşümü ile enerji tasarrufu, ağa bağlı MG'lerde etkinliğinin bir kısmını kaybeder. Şekil 3.3'de talep tarafı entegrasyonuna ait akış verilmiştir.



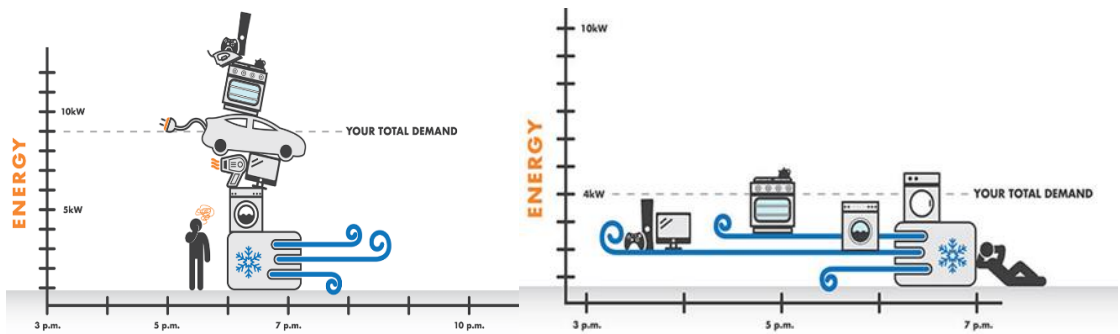
Şekil 3.3. DSM entegrasyonu kavramı

3.1.2.1. Talep Yanıt İhtimalleri

Bir MG'nin tüketici tarafı, talep yanıtının kullanılması yoluyla enerji tüketim kalıplarında esneklik kazanabilir. Talep yanıt kaynakları, MG'deki toplam veya periyodik ev tüketimi üzerinde etkisi olan son müşterinin enerji kullanımındaki değişiklikleri içerir. Bu sistemin odak noktası üretim değil, enerji tüketimidir. Talebe

yanıt yayılımı için kontrol edilebilir yükler sağlamak üzere uygun maliyetli yük kısıtlamaları veya fiyat esnekliği değişkenleri gereklidir. Farklı talep yanıtı ayarlarıyla denemeler yapılmalı ve yükün nasıl yanıt verdiğinin görülmesi deneyimlenmelidir. Acil duruma hazırlık söz konusu olduğunda, hava durumu ve diğer doğal faktörler, yoğun talebin sınırlı olup olmadığını belirleyebilir. Akıllı sayaçlar, açık talepler veya fiyat değişiklikleri sırasında ve yoğun olmayan saatlerde ölçüm, kamu hizmetleri tarafından müşteri siparişlerini tespit etmek ve iletmek için kullanılabilir. Çünkü günün belirli saatlerinde enerji fiyatı daha düşük olmaktadır. Sonuç olarak, insanlar bu talebi karşılamak için belirli faaliyetleri erteleme veya daha büyük elektrik taleplerini karşılamak için daha fazla ödemenin artılarını ve eksilerini tartmak zorunda kalacaklardır. Müşterilerden bazıları rakip bir sağlayıcıya geçmeye karar verebilir. Talep yanıtı, teknik gelişmelerle mümkün kılınan elektrik enerjisi dağıtımının birçok yönü için ekonomik bir oran mekanizması olarak görülebilir. Talebe yanıt olarak kullanılan dikkate değer bir teşvik, yoğun saatlerde elektrik maliyetini azaltmaktır. Müşteri enerji kullanımını azaltmazsa, takas daha yüksek bir aylık enerji maliyetidir. Bu yöntem bazen "gönüllü oranlama" denir. İsteğe bağlı olmayan oranlama, yüksek talep zamanlarında tamamen elektrik kesintileri şeklinde olabilir.

Talep yanıt programlarında, katılımcıların enerji kullanımlarını azaltmaları beklenir, ancak bireysel temel değerlerinin altına inmelerine izin verilmez. Tesisin esnek yük talebi zaman içinde yeniden tahsise tabi olsa da, bir yük yönetim planı, esnek olmayan müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak için herhangi bir anda mevcut olması gereken mutlak minimum güç miktarını belirtir. Şekil 3.4’de yanıt araçlarını ve tekniklerini gerektiren birçok olası formdan sadece birkaçı verilmektedir ve yoğun kullanım yanıtı ilkesinin bir örneğini oluşturmaktadır.



Şekil 3.4. Bir LMS’de talep yanıtı

3.1.2.2.Talep Yanıt Tabanlı LMS

Yük yönetimi teknikleri, tüketimi günün diğer zamanlarına kaydırarak veya enerji kullanımını geçici olarak azaltarak günün belirli, kısıtlı saatlerinde en yüksek talebi azaltmaya çalışır. Güçlü komut ve veri iletim ağları bu tür işlemler için sıklıkla kullanılmaktadır. Yük yönetiminde kullanılan birçok taktik süreç vardır, ancak yük atma ve yük kaydırma en önemli ikisidir.

Yük atma

Yük atma işlevi, elektriği düşük öncelikli tüketici beslemelerinden geçici olarak ayırarak, üretim ve tüketimi dengeleyerek bir enerji dengesi durumu oluşturur ve sürdürür. Büyük bir kesintiden sonra frekans çökmesini önlemenin tek yolu yükleri otomatik olarak düşürmektir. Bu programın parametreleri arasında derecelendirme miktarı, minimum bağlantı kesme süresi, minimum bağlantı kesme süresi ve maksimum bağlantı kesme süresi bulunmaktadır.

- Enerjiye bağlı yük atma: Kritik olaylar sırasında elektrik şebekesinde sağlanan ve tüketilen güç arasındaki dengeyi yeniden sağlamak için, düşük öncelikli tüketici gücünün çok hızlı bir şekilde boşaltılması gerekir. Aktif enerji dengesi, ne kadar enerjinin salınması gerektiğini belirlemek için periyodik olarak hesaplanmalıdır. Düşüş, mevcut güce, frekans düzenlemesine ve ağ topolojisine göre uygulanacaktır. 30 ms içinde, yük atma hızlı bir şekilde gerçekleşecektir. Yük atma, MG'lerin bağımsız çalışmasına yol açabilir.
- Enerjiye bağlı değişken yük atma: MG ada modunda çalışırken yükün periyodik olarak dengelenmesi önemlidir. Döndürme rezervi önceden belirlenmiş bir seviyenin altına düşerse, yeterli sıkma rezervi sağlanana kadar güç tüketimi azaltılmalıdır. Yük dengesi hesaplandıktan sonra, öncelik sırasına göre iptal edilecek tüketici besleyiciler listesine ayarlanmalıdır. Yüklerin normal güç tüketimi o andaki mevcut rezervi aşarsa, yüklerin çalışmasına izin verilmez.

Yük kaydırma

Enerji talebini karşılamak üzere yük kaydırma için, yüklerin ve süreçlerin kapsamlı bir şekilde incelenmesi gerekir. Analiz ve prosedürlerin amacına ulaşmak için gereksiz çalışan cihazların kapatılması, operasyonların yeniden çizelgelenmesi, yerinde üretime dönüştürülmesi gibi aksiyonlar alınır. Bu iki program bu strateji ile uyumludur.

- Enerjiye bağılı yük değişimi: Bu tür yazılımların yaygın bir örneği, EV'lerin şarj yönetimidir.
- Zamana dayalı yük değişimi: Bu program için yükleme düzeninin başlangıç ve bitiş süreleri değiştirilir, örneğin çamaşır makinesi ve bulaşık makinesi farklı zamanlarda kullanılır.

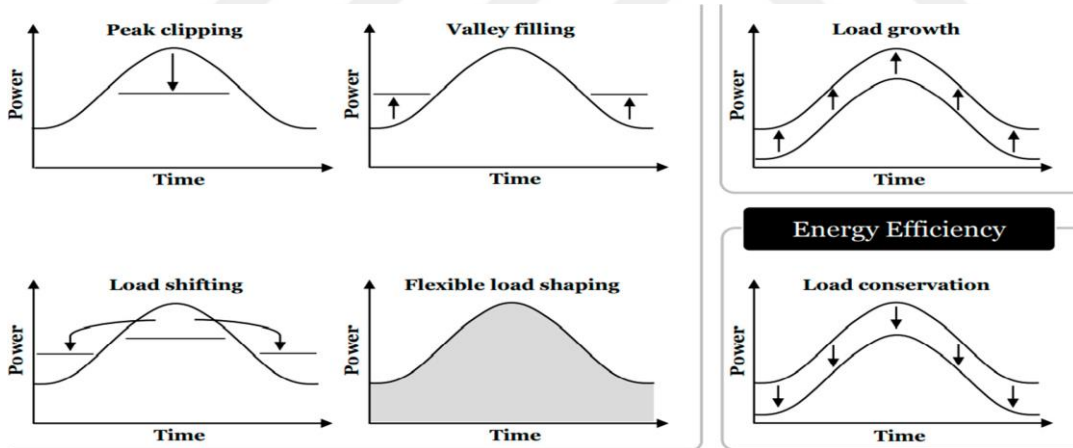
Adalı güç sistemleri ve MG'ler, uzak bölgelere elektrik sağlamak için iki alternatiftir (Üstün ve ark., 2011). Daha büyük elektrik şebekelerinden bağımsız olmaları nedeniyle MG'ler ve benzer boyuttaki diğer elektrik sistemleri etkileyici bir seçenektir. Bölgede ucuz RES tarafından desteklenen merkezi olmayan bir enerji şebekesinin geliştirilmesi hayati önem taşımaktadır. Yakın ve orta vadede ana şebekenin genişletilmesinin mümkün olmadığı alanlarda, MG'ler elektrik dağıtımını hızlandırabilir. Yalıtılmış modda çalışma yeteneği ve yük toplamayı dağıtma yeteneği, bir MG'nin birçok avantajından sadece ikisidir (Mulongoti ve ark., 2016).

Bununla birlikte, MG'ler kesinti, YEK'lerin eşit olmayan dağılımı ve güç yükleri için gereken öngörülemeyen güç davranışı nedeniyle çeşitli kararlılık ve güvenilirlik zorluklarına sahiptir. Üretilen enerjinin artan talebi karşılamak için yetersiz kaldığı, yenilenebilir üretimin azaldığı zamanlarda enerji eksikliklerini azaltmak için enerji depolama ve/veya yük atma benimsenir (Miřák ve ark., 2015). Yük atmada, kamu hizmetleri talebi azaltmak için müşterilere elektrik arzını geçici olarak kesebilirler (Calderaro ve ark., 2010; Heffner ve ark., 2010). Çoğu durumda, tüketiciler bu durumu istemezler çünkü bu onlara finansal ve zamanla ilgili zorluklara neden olur (Barton ve Infield, 2004). Bu ihtiyacı karşılamaya yönelik diğer alternatifler, pahalı büyük depolama cihazlarının kurulması ve özellikle Afrika kıtası olmak üzere gelişmekte olan ülkelerde yıllar alabilen üretim kapasitesinin artırılmasıdır (Cecati ve ark., 2011).

Talep tarafı yönetimi, kullanım faktörlerini ve yük dengesini iyileştirmek için tüketici talebinin ayarlanmasını sağladığından, arz ve talebi dengelemenin en etkili yoludur (Ma ve ark., 2015). Sisteme olan talep arttıkça talep tarafını yönetme girişimleri üretim, iletim ve dağıtım şebekeleri ile depolama yatırımlarını geciktirebilir (Panda ve ark., 2022).

Çeşitli talep tarafı yönetim sınıfları ve bunlara eşlik eden yükleme modelleri, talep tarafı yönetiminin kullanılabileceği esnekliği gösteren şekil 3.5'de

gösterilmektedir. Pik kesme, pik talebi azaltma yöntemidir. Kamu hizmetleri bunu, tüketicileri yoğun saatlerde enerji kullanımlarını azaltmaya teşvik ederek, yükleri fiziksel olarak azaltarak veya bu saatlerde daha fazla elektrik şarj ederek yapar. Daha fazla elektriğe ihtiyaç duyulduğunda, ancak yeni enerji santralleri inşa etmek için zaman veya araç olmadığında, bu teknik kullanılabilir (Moghimi ve ark., 2018). Arz ve talep arasında bir denge sağlamak ve generatörlerin çalıştırılmasıyla ilgili maliyetleri azaltmak için vadi doldurma yöntemi, çok düşük güç seviyesinin olduğu zamanlarda tüketimi artırır (Narimani ve ark., 2017). EV kullanılırken, müşterilerin şebekenin kararsız hale gelmemesi için tüketimlerini belirli bir düzeye [59] kadar artırmaları gerekmektedir (Kothari ve Nagrath, 2013). Tüketiciler, enerji kullanımlarını daha ucuz yoğun olmayan zamanlara çevirerek yüklerini değiştirerek paradan tasarruf edebilirler. Hem yük kesme hem de vadi doldurma bunun bir parçasıdır. Yüklerini düşük kullanımlı farklı yuvalara taşıyabilen kullanıcılar, esnek yük şekillendirmeye girer. Tüketicilerin katılma isteği genellikle ödüllendirilir ve tanınır (Maharjan ve ark., 2014). Enerji tasarruflu ekipman veya çevrim çalışmasıyla gün boyunca yük profilini azaltmak, enerji verimliliğine bir örnektir.



Şekil 3.5. Uyarlanan DSM teknikleri (Maharjan ve ark., 2014)

3.1.3. MG Sisteminde Yeşil Enerji Oluşumu

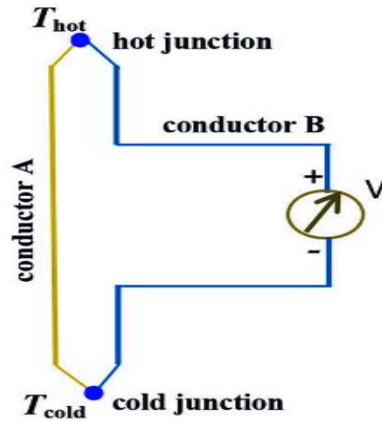
Yeşil enerji hasadının amacı, elektrikli veya elektronik cihazlara şebeke bağlantısı olmadan zaten mevcut olan çevresel kaynaklardan güç sağlamaktır. Bu enerji kaynakları arasında kinetik hareket, radyo dalgaları, ısı (termal) PV bulunur. Seebeck etkisi, ısıdan enerji elde etmek için kullanılan bir tekniktir. Bu fenomen, bir TEG'in iki termal elemanın birleşim noktasında bir sıcaklık farkını elektriğe nasıl dönüştürdüğünü açıklar. Genellikle ısının kaybolduğu durumlarda, güvenilir ve sağlam bir

dönüştürücünün işi, ısıyı elektriğe dönüştürmektir. Termal enerji toplama ihtiyacı büyüktür, bu nedenle yeni TEG cihazları ve termoelektrik malzemeler geliştirilmektedir. Ayrıca mikro uygulamalar, termoelektrik makineler kullanarak atık ısıdan enerji yakalar. Ev elektroniği, yapılar, sensörler ve tıbbi ekipmanlarda güç toplayıcıların yaygın kullanımı nedeniyle, TEG için birçok uygulama vardır.

Ayrıca, güneş kollektörleri fosil yakıt bazlı elektriğin yerini almaktadır. Güneş enerjisini toplamanın birçok yolu olsa da, her yöntem daha önce elektriklerle gerçekleştirilen görevleri gerçekleştirmek için farklı bir şekilde güneşe dayanır. Verimsizlikler ve süreç iyileştirmeleri, fosil yakıtlara olan ihtiyacı tamamen ortadan kaldıracak güneş enerjisi toplama faaliyetlerinin üretkenliğini ortaya çıkarmaya devam edecektir. Güneş enerjisinin toplanması, kademeli olarak fosil yakıtlardan üretilen elektriğin yerini alır. Güneş enerjisinden yararlanmanın birçok yolu vardır, ancak her biri benzersiz bir şekilde güneşe dayanır. Güneş kollektörleri, atıktaki iyileştirmeler ve operasyonlardaki ilerlemelerden yararlanmaya devam edecektir.

3.1.3.1.TEG'ler

Termal enerji, termoelektrik prosedürler adı verilen tersinir süreçlerle doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülür. Termoelektrik malzemelerin fiziksel transfer özellikleri üzerindeki enerji dönüşüm verimliliği, doğrudan enerji dönüşümünü (termal iletkenlik, elektrik iletkenliği ve Seebeck katsayısı) etkiler. Termal enerji, bu malzemeler kullanılarak elektrik enerjisine ve tersine dönüştürülebilir. Joule etkisi ve termoelektrik etkiler (Seebeck, Peltier ve Thomson), termoelektrik cihazlarda en önemli olaylar arasındadır. Şekil 3.6, bir açık devrede Seebeck etkisini göstermektedir.



Şekil 3.6. Açık devrede Seebeck etkisinin gösterimi

Bu nedenle Seebeck etkisi, termal enerji elektrik enerjisine dönüştürüldüğünde ortaya çıkan ve enerji üretiminde kullanımları olan bir olgudur.

Bir iletkenin iki ucu arasında sıcaklık farkı olduğunda Seebeck etkisi oluşur. Devre bağlantıları, Şekil 3.6'da gösterildiği gibi iki farklı iletkenin (A ve B'nin) bulunduğu yerdir. Bu iletkenler arasındaki hem termal hem de elektriksel bağlantılar seri halindedir. T sıcaklığına sahip bir noktada T, T'den daha sıcaktır, soğuktur, başka bir noktada ise T daha soğuktur. Seebeck etkisine neden olan, yük taşıyıcıların (elektronlar veya delikler) iletkenlerdeki sıcaklık değişimleri boyunca (veya bunlara karşı) hareket etmesine neden olan termal difüzyondur.

İki devrenin bulunduğu noktalarda, Seebeck gerilimi Denklem (3.1)'deki gibi hesaplanır:

$$V = \frac{(\alpha_A - \alpha_B)}{\alpha_{AB}} \cdot \frac{(T_h - T_c)}{\Delta T} \quad (3.1)$$

Burada: α_A, α_B , V.K-1'deki iletken a ve b Seebeck katsayılarıdır.

Giriş sıcaklığındaki fark ile elektrik potansiyelindeki fark arasındaki ilişkiyi gösteren katsayı, bir termal maddenin veya termal enerjinin Seebeck katsayısı olarak adlandırılır. Malzemenin refrakter sıcaklığı, termal iletkenliği ve her malzemenin elektrik iletkenliği Seebeck katsayısını etkiler. Bir termoelektrik malzemenin performans seviyesini algılar. Büyüklüğü V.K-1 ile mV.K-1 arasında değişir ve işareti bağlantı sıcaklığı ve yarı iletken malzemeden etkilenir.

Seebeck katsayısı α_{AB} Denklem (3.2) olarak verilmiştir.

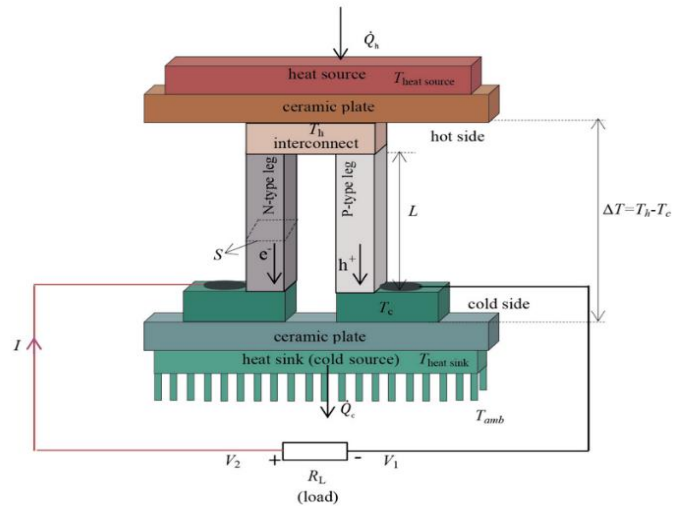
$$\alpha_{AB} = \frac{E}{\nabla T} \quad (3.2)$$

Burada: ∇T sıcaklık farkı, E elektrik alanıdır.

TEG'lerin termoelektrik etkileri termodinamik yasalarına dayanmaktadır. Termodinamik, küçük bir sıcaklık farkı yoluyla ısı transferinin yüksek entropiye yol açan geri döndürülemez bir süreç olduğunu gösterir. Hem Joule ısıtma hem de ısı iletimi, geri alınamayan tek yönlü süreçlerdir. Joule etkisi bir iletken veya yarı

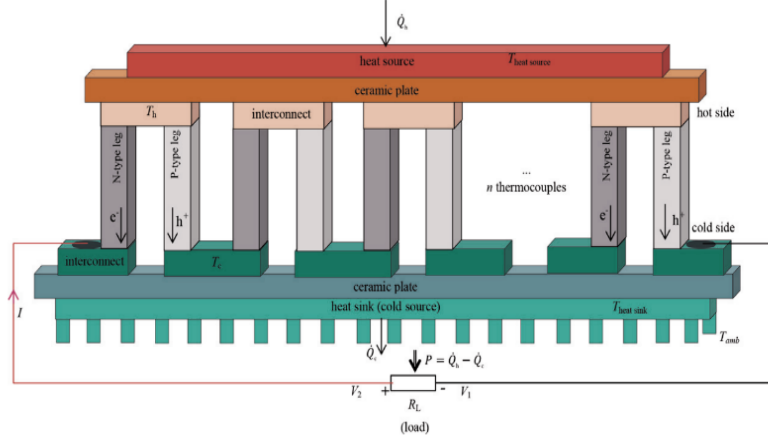
iletkenen bir elektrik akımı geçtiğinde, oluşan ısının iptal edilemez olduğunu söyler. Bu noktada, Joule etkisi, TEG'in bağlantılarının elektriksel temas direncinden veya termokuplun konumundan kaynaklanır. Daha fazla tersinmezlik, ısının TEG ve çevre ortamı arasında hareket etme şekliyle gösterilir.

TEG ünitesi birçok termokupl içerir. Seri olarak elektriksel bağlanmış ve termal olarak paralel iki P ve N tipi termokupl içeren bir termokupl, temel TEG türüdür. N ve P katkı maddeleri ile işlenen malzemeleri ayırt etmek önemlidir. h^+ ile gösterilen P-tipi uç, fazla deliğe ve pozitif bir Seebeck katsayısına sahiptir. Çok fazla serbest elektron vardır ve N-tipi gövdenin Seebeck katsayısı negatiftir. Bir tarafta, genellikle bir bakır şerit olan bir elektrik iletkeni ile iki bacağı birleştirerek bir bağlantı veya interkom oluşturulur. V_2 , TEG'in soğuk tarafındaki N tipi bacağına bağlı dış terminaldeki gerilimi ve elektrik generatörü V_1 'in soğuk tarafındaki P tipi bacağına bağlı dış terminaldeki gerilimi Şekil 3.7'deki gibi gösterilebilir. Şekil 3.7 çıkış terminalleri alternatöre bağlandığında direnci R_L olan bir elektrik yükü ile bir devre oluşturulur. Bu elektrik yükü, içinden bir elektrik akımı geçtiğinde uçlarında bir gerilim üretir. TEG, cihazın iki tarafı arasında sıcaklık farkı olduğu sürece sabit akım üretecektir. TEG ünitesinin iki tarafı arasındaki sıcaklık farkı ($T = T_h - T_c$) arttıkça daha fazla güç üretilenektir. Şekil 3.7, iki pinli ve tek bir termoelektrik kuplajlı bir TEG ünitesinin diyagramını göstermektedir.



Şekil 3.7. İki pinli ve bir eşleştirilmiş termoelektrik üniteye sahip bir TEG ünitesinin şematik diyagramı

TEG sisteminin çıkış gerilimini artırmak için, birkaç termoelektrik kuplaj elektriksel olarak seri olarak bağlanır ve Şekil 3.8'de gösterildiği gibi iki seramik plaka arasına yerleştirilir.



Şekil 3.8. Termoelektrik bağlantıları içeren TEG sistemi

Yüklenecek P , TEG'lerin çıkış gücü, Denklem 3.3'teki gibi ifade edilir:

$$P = n \cdot (\alpha_{PN} \cdot I \cdot \Delta T - R \cdot I^2) \quad (3.3)$$

Burada; n TEG sayısı, α_{PN} Seebeck katsayısı, I iç akım, ΔT sıcaklık farkıdır.

Denklem 3.4'teki yük empedansına göre TEG tarafından üretilen güç:

$$P_R = I^2 \cdot R_L = \left(\frac{n \cdot \alpha_{PN} \cdot \Delta T}{n \cdot R + R_L} \right)^2 \cdot R_L \quad (3.4)$$

Elektrik akımına göre elektrik çıkış gücü elde edildiğinde, TEG, Denklem 3.5 ve 3.6'daki gibi maksimum çıkış gücünü üretecektir.

$$P_{max} = n \cdot \frac{(\alpha_{PN} \cdot \Delta T)^2}{4R} \quad (3.5)$$

$$I_{max} = \frac{\alpha_{PN} \cdot \Delta T}{2R} \quad (3.6)$$

Yük direnci, seri bağlı termokuplların eşdeğer iç direncine eşit olduğunda, TEG tarafından üretilen maksimum elektrik çıkış gücüne ulaşılır.

TEG cihazının sıcak ve soğuk noktaları ya da tarafları arasında T sağlanıyorsa, çıkış gerilimi TEG'in çıkış terminallerinde harici bir devreyi beslemek ve harici elektrik yüküne güç sağlamak için kullanılabilir. Tek bir TEG'in güç çıkışı 1 ila 125 W arasında değişir. Modüler bir bağlantıda daha fazla TEG kullanıldığında güç 5 kW'a kadar çıkabilir ve T_{max} 100 °C'yi geçebilir.

Sıcak noktada, ısı generatörü için ücretsiz ve sınırsız bir doğal sıcak su kaynağı olabilir. Özellikle Irak'ta enerji üretmek için kullanılmayan birçok kaplıca bulunmaktadır. Jeotermal teknolojisi, yerden gelen ıyıyı kullanarak sıcak suyun sıcaklığını bir derece yükseltmek için de kullanılabilir.

Soğuk tarafta TEG'den ısı dağılımını artırmak ve TEG boyunca daha büyük bir sıcaklık farkı elde etmek için, ısı transfer sisteminde ısı eşanjörleri (ısı emiciler, serpantinler, soğutma blokları, radyatörler) kullanılır. TEG sistemleri için ıyıyı sıcak bir yüzeyden bir sıvıya (gazlar, çevreleyen hava veya sıvılar) aktaran bir cihaz olan metal ısı emici incelenmiş ve geliştirilmiştir. Isı dağılımını hızlandırmak için kanatçıkların boyutu, ısı transfer katsayısı ve termal iletkenliği yükseltilir. Bir TEG, sıcak noktaya yüksek bir ısı akış hızı uygulandığında ve soğuk taraf düşük bir sıcaklıkta tutulduğunda, yüksek dönüşüm verimliliğiyle sonuçlanan bir soğutucu gerektirir. Bu durumda TEG'in etkinliği, tasarımından büyük ölçüde etkilenir.

3.1.3.2. MPPT Boost, Buck, Boost-Buck and Cuk Dönüştürücüler

TEG gerilimini artırmak için bir DC-DC dönüştürücü kullanılmalıdır. Amaç TEG çıkış gerilimini seri bağlı TEG 'lerin sayısına ve özelliklerine bağlı olarak yükseltmektir. DC-DC dönüştürücüler için dikkatli bir şekilde kontrol edilmeleri gerekir. DC-DC dönüştürücü denetleyicisi tarafından MPPT kullanılmalıdır. Gerçek sistemin daha iyi çalışması için termoelektrik trafodan mümkün olduğu kadar çok güç alınması önemlidir. MPPT Kontrolü ve DC-DC dönüştürücünün nasıl çalıştığı izlenerek TEG'lerin ne kadar iyi çalıştığı tespit edilebilir.

3.1.3.3. PV Sistemi

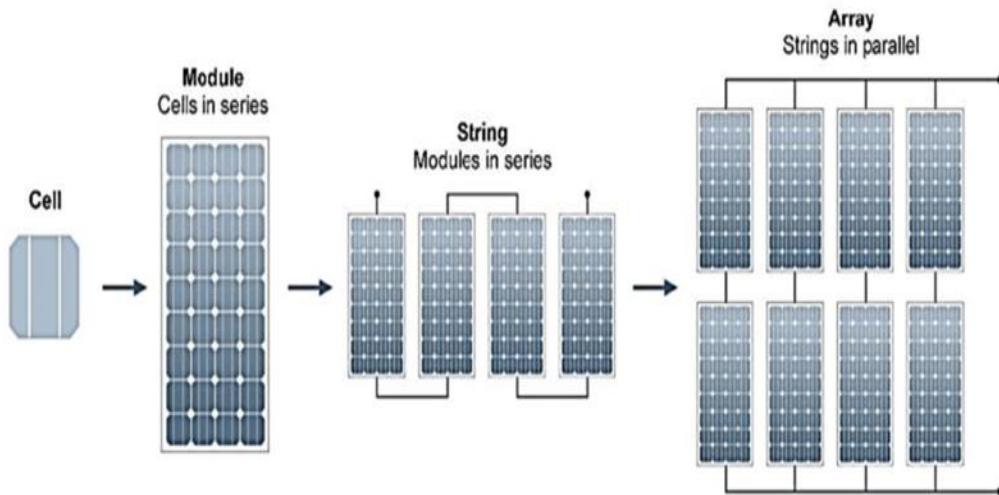
PV sistemi güneş hücreleri olmadan çalışamaz. Ancak elektrikli ekipmanlara büyük miktarda gerilim ve güç veremediği için nadiren tek başına kullanılır. Mümkün olan maksimum gerilim ve güç çıkışını elde etmek için çoklu güneş hücreleri paralel veya seri olarak bağlanır. Hücreler seri bağlandığında üretilen gerilim artar, paralel bağlandığında ise üretilen akım artar. Bir güneş paneli veya dizisi, gerekli akımı ve gerilimi ve dolayısıyla gücü üretmek için seri ve paralel olarak çalışan elektrikselsel olarak birbirine bağlı birkaç birimden oluşur.

PV etki gösteren yarı iletkenler, güneşten gelen enerjinin doğru akıma dönüştürüldüğü PV sistemlerde kullanılır. PV elektrik enerjisi, yarı iletken malzeme

içeren bir dizi hücreye sahip güneş panelleri tarafından üretilir. Güneş hücresi üzerinde ışık parladığı sürece enerji üretecek, ışık kaybolduğunda ise güç üretimi sonlanacaktır.

Yarıiletken endüstrisinde en yaygın kullanılan silikon şu anda PV hücre üretiminde kullanılmaktadır. Temel olarak yarı iletken bir malzeme, hücreye giren ışığın bir kısmını emer. Enerji elektronların yerini aldığı anda, yarıiletkene serbestçe akarlar. PV hücreler ışığı emdiğinde, bir veya daha fazla elektrik alanı serbest elektronların akışını yönlendirmeye yardımcı olur. Elektron akışı tarafından üretilen akımın harici olarak kullanılmasına izin vermek için PV hücrenin üstüne ve altına metal kontaklar takılabilir. Bu akımın ve hücre geriliminin toplamı, güneş hücresinin iç elektrik alanının veya alanlarının ne kadar güç üretebileceğini belirler (Ghandriz ve ark., 2021).

PV dizisi, birkaç PV modülünün seri veya paralel olarak bağlanmasından başka bir şey değildir. Şekil 3.9, modüllerin birimlerin yük talebini karşılamak için bir şebeke veya dizide nasıl sabitlendiğini göstermektedir. Modül bağlantıları ya da kapasiteleri bireysel birimlerin sağladığı güç ticaret uygulamalarının ihtiyaçlarını karşılamak için yeterli olmayabilir. Modül hücrelerinin bağlanmasına benzer şekilde, matris modülleri birlikte gruplandırılır. Bir PV dizi oluştururken, modüller genellikle gerektiğinde daha fazla akım sağlamak için paralel olarak birleştirilmeden önce başlangıçta gerekli gerilime ulaşmak için seri şekilde bağlanırlar.

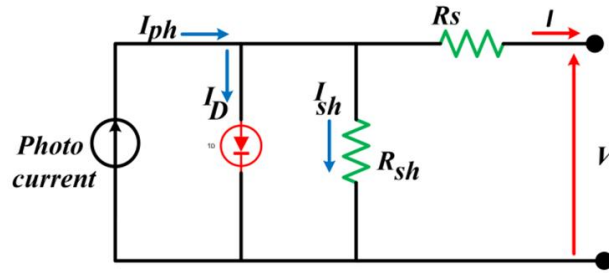


Şekil 3.9. Hücre, modül ve matris yapı tasarımı (IEA, 2021)

Bir PV dizi, güneş ışığını elektriğe dönüştürmek için belirli bir yere kurulabilen sabit bir teknoloji parçasıdır. PV dizi, güneş ona dik olduğunda maksimum ışınım alır.

Güneşin Dünya'ya göre konumu, günlerin ve mevsimlerin geçişi ile dalgalanır. Bu nedenle, PV dizinin en fazla ışığı aldığı bir yön yoktur. Güneşin konumu azimut ve yükseklik kullanılarak tahmin edilebilir. Güneş azimutu ufuk boyunca açığı ifade ederken, güneş yüksekliği dünyanın ufkuna göre güneşin açısını ifade eder, burada kuzey sıfır derecelik açığa karşılık gelir ve saat yönünün tersine artar (Urbina, 2022). Yılın mevsimi ve günü, belirli bir konumdaki azimutu ve rakımı etkiler. Ek olarak, güneş sabiti, güneş ışınımının Dünya'ya ulaştığı ortalama orandır. Yılın herhangi bir günü için güneş sabiti şu şekilde ifade edilebilir:

PV sistem, güneş ışığını çevreye zarar vermeden elektriğe dönüştürür. Temelde basit p-n kuplaj cihazları olan bir dizi PV içerir. Şekil 3.10, ilgili PV hücre devresini göstermektedir (Richter, 2020).



Şekil 3.10. PV sistemin eşdeğer devresi

Benzer bir devre, bir akım kaynağı (fotoakım), buna paralel bir diyot, akımın geçişine karşı bir iç direnci simüle etmek için bir seri direnç ve kaçak akımın direncini temsil eden bir şönt direnç içerir. Denklem 3.7'deki gibi yük akımını belirlemek mümkündür.

$$I = I_{PV} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + IR_S}{aV_T}\right) - 1 \right] - \left(\frac{V + IR_S}{R_P}\right) \quad (3.7)$$

Burada: R_S seri direnç, V_T termal gerilim, I₀ ters doyma akımı, I_{PV} fotoakım, V ideal durumdaki diyot gerilimi ve R_P baypas direncidir.

Denklem 3.8, ışınım ve sıcaklıktan etkilenen bir PV hücrenin fotoakımını ifade etmek için kullanılabilir.

$$I_{PV} = (I_{PV_STC} + K_i \Delta T) \frac{G}{G_{STC}} \quad (3.8)$$

Burada: K_i kısa devre akımı sıcaklık katsayısı, G W/m^2 olarak güneş ışınımı, T hücre sıcaklığı, G_{STC} W/m^2 cinsinden nominal güneş ışınım olarak standart test koşulları altında üretilen ışıktır.

Ters doyma akımı, sıcaklık bir kübik fonksiyonla gösterildiğinde Denklem 3.9'da gösterildiği gibi değişir.

$$I_O = I_{O_STC} \left(\frac{T_{STC}}{T} \right)^3 \exp \left[\frac{qE_g}{ak} \left(\frac{1}{T_{STC}} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (3.9)$$

Burada: I_{O_STC} nominal doyma akımı, E_g yarıiletkenin enerji aralığı, T_{STC} standart test koşulları sıcaklığı ve q elektron yüküdür. Denklem 3.10'da verildiği gibi, ters doyma akımı sıcaklığın bir fonksiyonu olarak arttırılabilir.

$$I_O = \frac{(I_{SC_STC} + K_i \Delta T)}{\exp \left[\frac{(V_{OC_STC} + K_V \Delta T)}{aV_T} \right] - 1} \quad (3.10)$$

Burada: K_V standart test koşulları altındaki açık devre gerilimi, I_{SC_STC} bu koşullar altındaki kısa devre akımı, V_{OC_STC} bu koşullar altındaki sıcaklık katsayısını belirten açık devre gerilimidir.

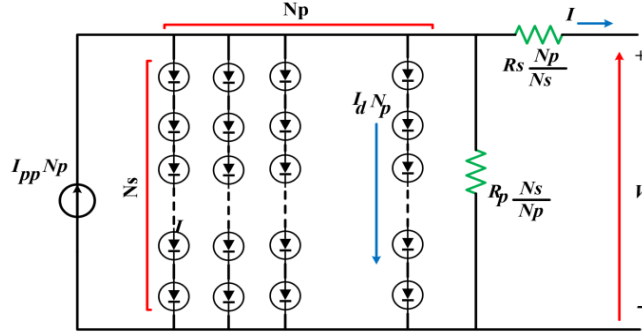
Doğruluğu artırmak ve diğer nedenler dolayısıyla, birçok yazar daha karmaşık modeller geliştirmiştir. Bazı şekillerde, taşıyıcı rekombinasyonunun sonuçlarını temsil etmek için ikinci bir diyot eklenir. Daha önce açıklanmayan çeşitli değişkenlerin etkilerini hesaba katan üç diyotlu modeller başka araştırmacılar tarafından da kullanılmıştır. Ancak daha basit ve yaygın olduğu için bu araştırmada tek diyotlu bir model seçilmiştir.

Seri direnç R_s 'deki değişikliklerin PV verimlilik üzerinde şönt direnç R_p 'deki değişikliklerden çok daha büyük bir etkisi vardır. R_p 'nin toprak değerine yüksek veya küçük bir kaçak akım olması beklenir, çünkü hücrenin R 'si düşüşte dönüştürülen kaçak akımla ters orantılıdır.

Bu çalışmada, planlanan ihtiyacı karşılamak için PV hücreleri birleştirilmiştir çünkü tek bir güneş hücresinin ürettiği toplam güç çok düşüktür. PV dizi, bu PV hücre ağını tanımlamak için kullanılan terimdir. Denklem 3.11, Şekil 3.11'deki PV dizi için hesaplanan akımı vermektedir.

$$I = I_{PV}N_P - I_0N_P \left[\exp \left(\frac{V + IR_S \left(\frac{N_S}{N_P} \right)}{aV_T N_S} \right) - 1 \right] - \left[\frac{V + IR_S \left(\frac{N_S}{N_P} \right)}{R_P \left(\frac{N_S}{N_P} \right)} \right] \quad (3.11)$$

Burada: N_S , seri hücrelerin, N_P , paralel hücrelerin sayısıdır.

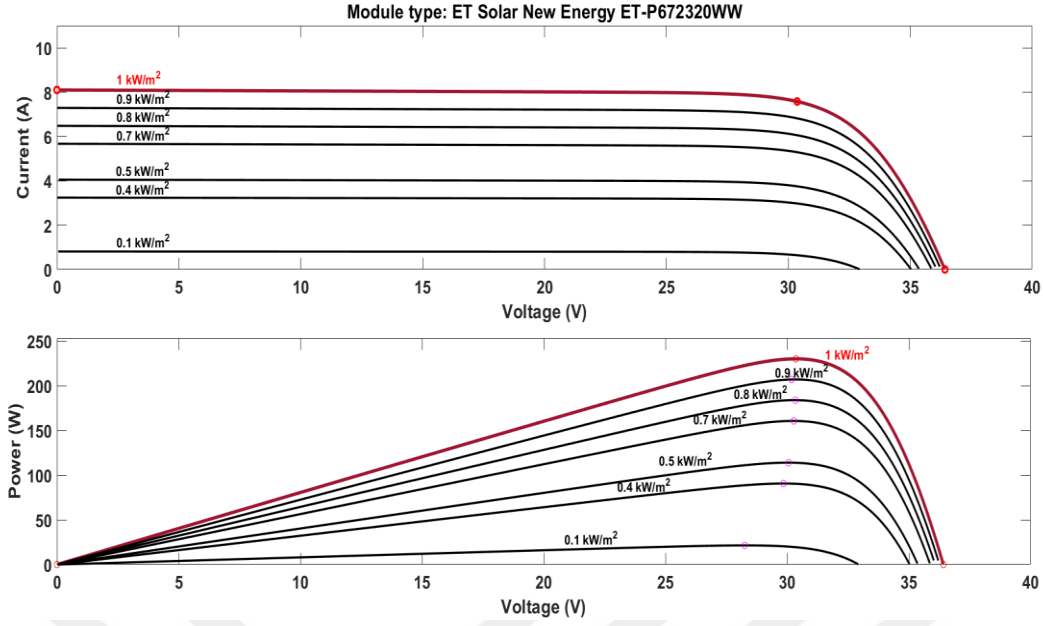


Şekil 3.11. PV dizisinin oluşumu

PV verim, seri dirençteki küçük bir değişiklikten, şönt direncindeki bir değişikliğe göre daha fazla etkilenebilir. Şönt direncinin sonsuz olduğuna kabul edilir ve şönt direnç çok küçük kaçak akımlara açıktır. Tüm temel değişkenleri göz önünde bulunduktan sonra, bypass gerilimine dayalı model Denklem 3.12 ile verilebilir.

$$I = I_{PV}N_P - I_0N_P \left[\exp \left(\frac{V + IR_S \left(\frac{N_S}{N_P} \right)}{aV_T N_S} \right) - 1 \right] \quad (3.12)$$

Şekil 3.12'de, her bir PV panelin akım-gerilim (IV) ve PV güç özelliği verilmiştir.



Şekil 3.12. ET-P672320WW akım gerilimi ve PV özellikleri

Bir hücrenin elektriksel performansını tanımlamak için kullanılan iki ana kriter, hücrenin açık devre gerilimi V ve hücrenin kısa devre akımı I_{SC} 'dir.

Maksimum kuvvet, Denklem 3.13'te verilmiştir.

$$P_{max} = V_{max}I_{max} \quad (3.13)$$

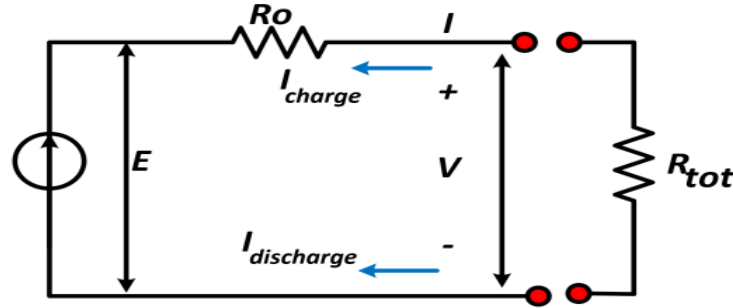
3.1.3.4. Batarya Depolama Sistemi

Önerilen MG sistemlerinin çoğu, gece veya gündüz elektrik üretmek için bir bataryaya ihtiyaç duyar. Hibrit PV-TEG sistemi geceleri yeterli güç sağlayamayabilir. Ayrıca, ürün üzerindeki yük ve mevcut batarya çeşitleri batarya boyutunu ve tipini etkiler. Batarya genellikle daha serin, iyi havalandırılan yerlerde tutulur. Yük ve ürün kullanılabilirliği, bataryanın tipini ve boyutunu belirler. Bataryalar, donma noktasının hemen üzerindeki kapalı yerlerde tutulur. Düşük güç senaryolarında veya ek 37 W'lık güç depolamak için bataryalar kullanılmalıdır. Bataryalar, farklı hava koşullarında kullanım için daha fazla enerji depolayabilir. MG gücü kesintili ise batarya kullanılması gerekebilir. "qmax" terimi, bataryanın belirli koşullar altında üretebileceği maksimum amper-saat (Ah) sayısını ifade eder. Boşalma sırasında kaybedilen şarjın, bir bataryayı yeniden şarj etmek için gereken şarj oranı, batarya şarj durumu (State of Charge (SOC)) ya da şarj durumu verimliliğidir. SOC, Denklem 3.14'te gösterildiği gibi şarj vedeşarj oranlarından etkilenir.

$$SOC = \frac{q}{q_{max}} \quad (3.14)$$

SOC, 0 ile 1 arasındadır. Şarj göstergesi 0'ı gösteriyorsa batarya kapanır. SOC değeri aynıysa batarya kapanır. Diğer önemli faktörler arasında batarya ömrü ve şarj/deşarj yöntemi yer alır. Şarj veyadeşarj sistemi, bataryanın nominal kapasitesi ile şarj veyadeşarj akımı arasındaki ilişkiyi tanımlar. Denklem 3.15 kullanılarak, bir bataryanın ortalama ömrü, örneğin 5 A ve 200 A'de 40 saat boşaldıktan sonra, başlangıç kapasitesinin %80'ini kaybetmeden önce kaç kez şarj edilip boşalabileceği Şekil 3.13'deki gibi sayılarak belirlenebilir.

$$V = E - I * R_o \quad (3.15)$$



Şekil 3.13. Batarya şarj etme ve boşaltma devresi

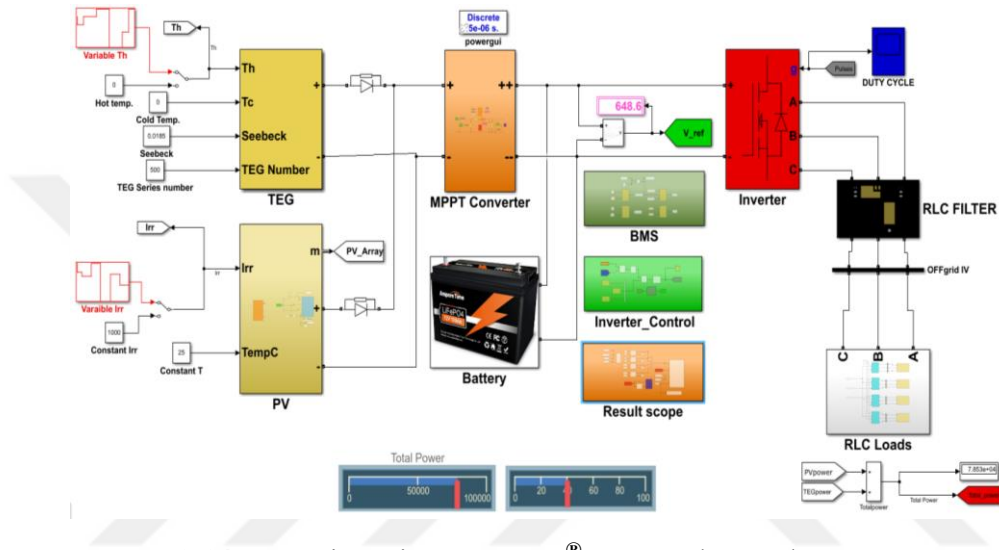
3.2. METOT

3.2.1. MG'lerin Uygulanması

Bu çalışmada, üretilen enerjiyi boşa harcamadan çoklu harmonik rezonans devre yüklerini ve batarya depolama sistemlerini beslemek için yeni bir MG'de PV sistemlere sahip yeni bir TEG ünitesi kaynağı içeren verimli tasarımı bir MG sunulmaktadır. Batarya depolama sistemi tarafından üretilen fazla güç şarj edilecektir. Bu nedenle, bu çalışma arz ve talep ile enerji depolama sistemi arasındaki esnekliği araştıracaktır. Önerilen algoritmaya dayalı kararlar verildikten sonra MG sistemindeki çalışma modunu optimize etmek için bir bulanık mantık denetleyicisi tasarlanmıştır. Ayrıca talep tarafı yönetimine göre, kullanılmasına gerek olmadığında yük kaydırılmıştır. Bu çalışmada, yeni MG enerji üretim teknolojileri elde etmek için bir TEG'in PV sistemle mekanik bileşenler olmaksızın sessiz modda kullanılması yapılmıştır. Çalışma, MG ağlarının işletme maliyetlerini azaltacaktır. Aynı zamanda, önerilen güç yönetim sistemi, MG ağının esnekliğini ve güvenilirliğini artıracaktır. Bu mikro şebeke sistemi uzak bölgelerde, küçük kasaba ve köylerde, özellikle kaplıcaların yakınında

tasarlanmıştır ve kayıpları azaltırken bedava elektrik sağlamak için kullanılabilir. Çalışma MATLAB/Simulink® kullanılarak tasarlanmış ve test edilmiştir.

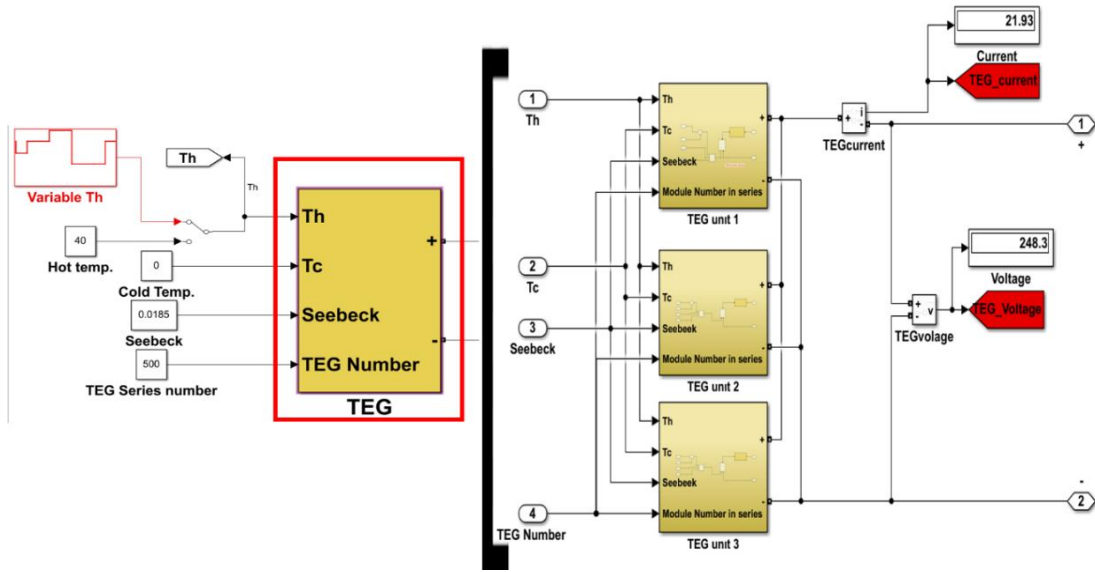
Sunulan MG yapısı, 40 kW PV dizili 45 kW'lık bir TEG'den oluşmaktadır. Bu RES, dönüştürülen DC invertöre kontrol noktası için daha yüksek güçlü bir DC dönüştürücüye ve şebekeden bağımsız kontrollü bir invertöre bağlanır. Beklenen güç kaynağına göre yükü okumak ve yönetmek için akıllı sayaçlar kullanılabilir. Şekil 3.14, MATLAB® ortamında MG'nin tüm sistem tasarımını göstermektedir.



Şekil 3.14. Tüm sistemin MATLAB® ortamında tasarlanması

3.2.2. TEG'lerin Tasarımı

Komple TEG ünitesi MATLAB® ortamı kullanılarak oluşturulmuştur. Şekil 3.15'de gösterilen TEG sistemi, her grupta 500 ünite TEG bulunan üç paralel TEG seti içerir.



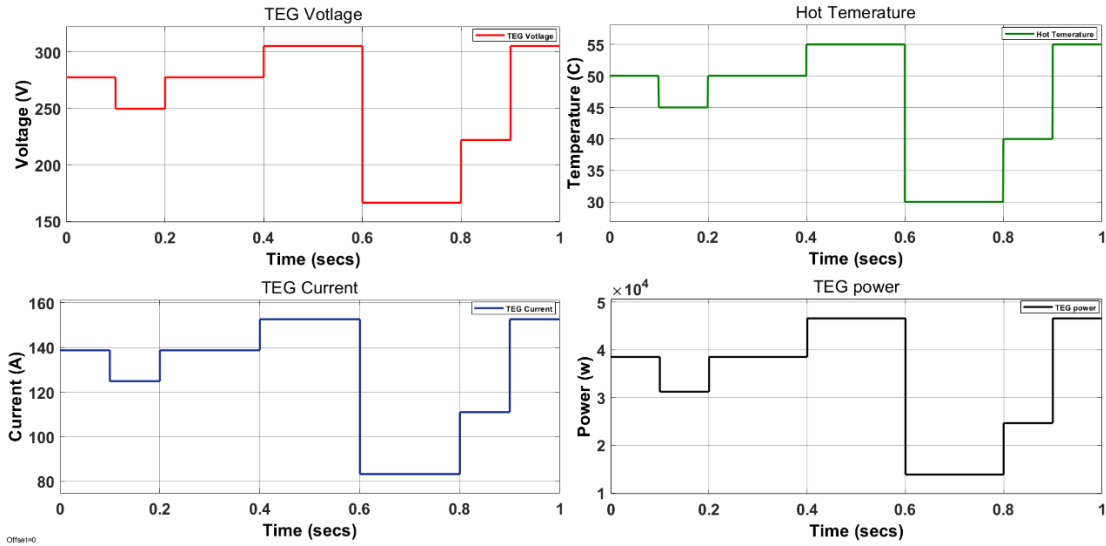
Şekil 3.15. MATLAB® ortamındaki termoelektrik üniteler

Tablo 3.1'de TEG'i etkileyen değişkenler ve bu değişkenlerin parametre bilgileri verilmiştir.

Tablo 3.1. Termoelektrik katsayılar ve değişkenler

TEG'i Etkileyen Değişkenler	Değişken Değerleri
TEG maksimum gücü	45 kW
Maksimum sıcaklık	55 °C
Soğuk nokta sıcaklığı	0 °C
SeeBeck	0.185
Toplam birim TEG	1500/3

TEG ünitesine farklı sıcaklıklar uygulayarak, Şekil 3.16'da gösterilen çıkış gerilimini, akımı ve gücü görülebilir. Sıcak nokta sıcaklığı ile gerilim ve akım arasındaki ilişki enerji değerindeki farkı artırır.

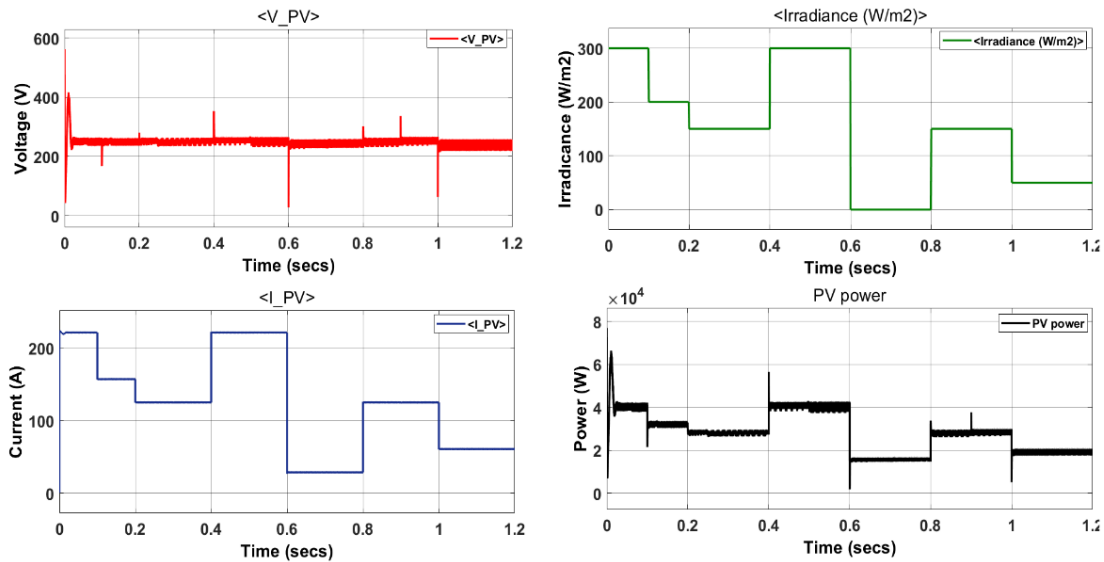


Şekil 3.16. TEG gerilim-akım-değişken sıcaklıklı güç

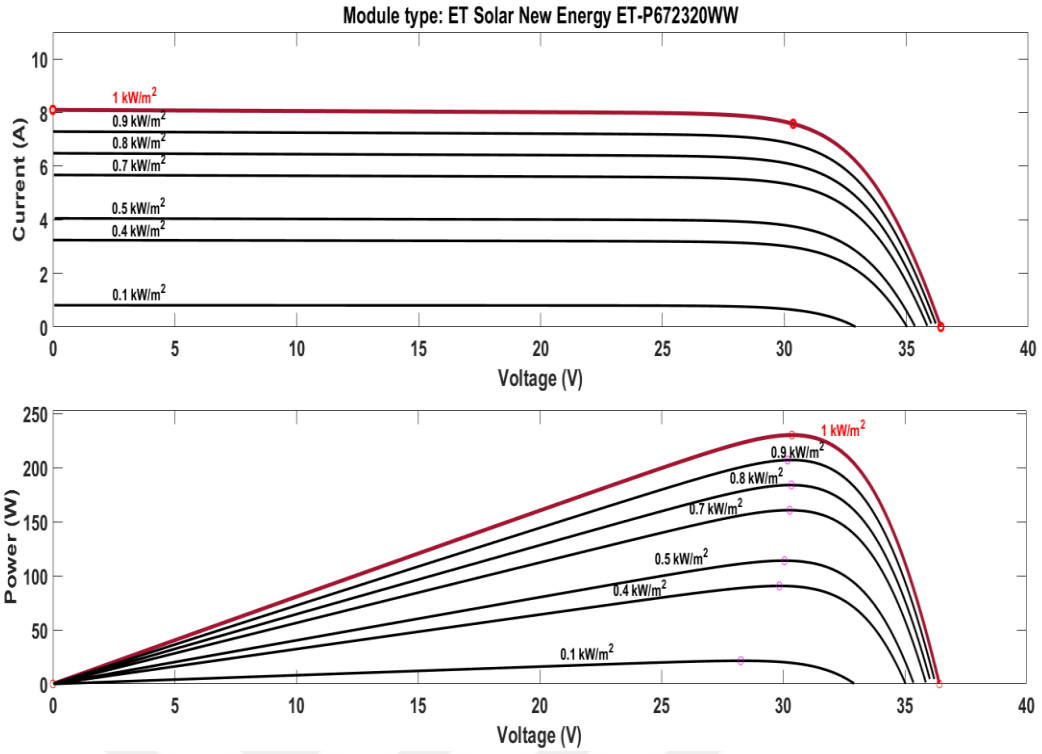
3.2.3. PV Tasarım ve Parametreleri

Bu sistemde dizi başına bağlı 20 paralel ve 16 seri birimin olduğu bir modül bulunmaktadır. Tüm sonuçlarda hücre sıcaklığının sabit olduğu varsayılmıştır. Maksimum güç, 37 V açık devre gerilimi ve 8 A kısa devre akımı ile panel başına 230 W'dır.

Şekil 3.17, farklı ışınımlardaki gerilim, akım ve gücü, Şekil 3.18, PV modülünün gerilim-akım (*IV*) ve güç-gerilim (*PV*) özelliklerini göstermektedir.

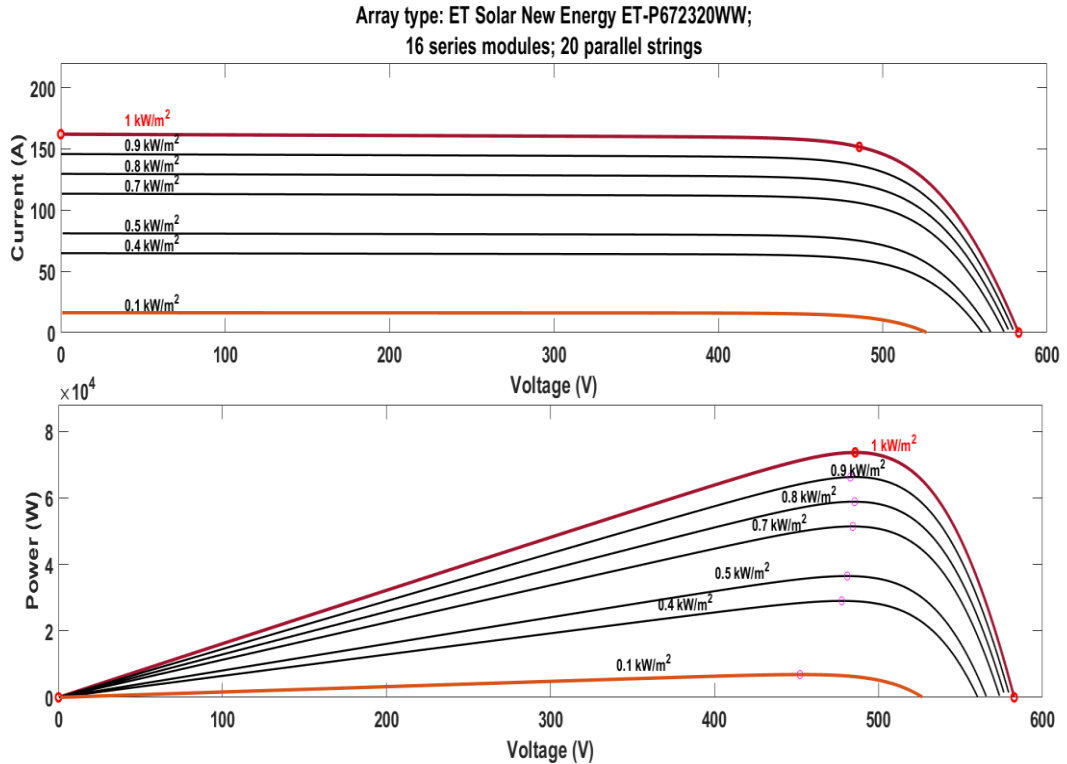


Şekil 3.17. Değişken ışınım durumunda PV gerilimi, akımı ve gücü



Şekil 3.18. PV modülünün gerilim-akım (I-V) ve güç-gerilim (P-V) özellikleri

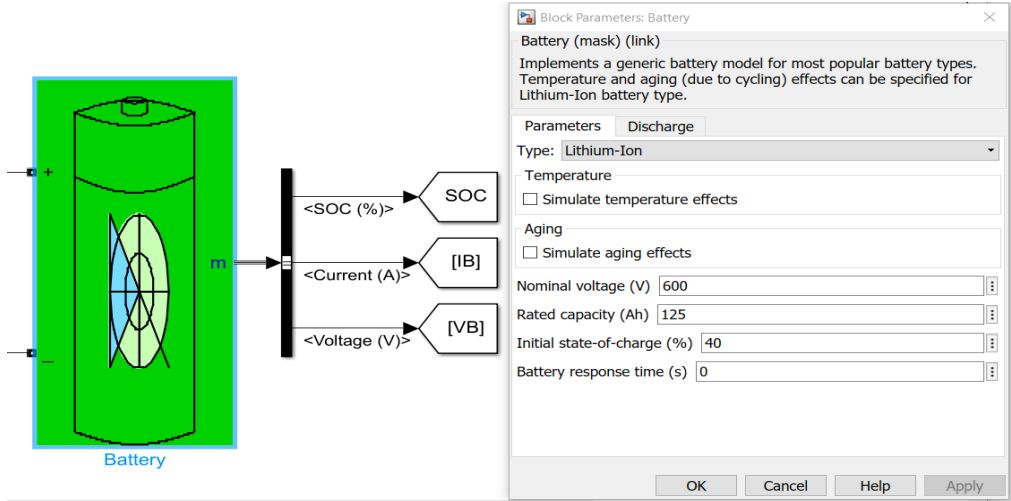
Şekil 3.19'da 20 paralel dizi ve 16 seri ünitenin I-V, P-V özellikleri gösterilmiştir. Dizi tipi olarak ET Yeni Güneş Enerjisi ET-P672320WW panel kullanılmıştır.



Şekil 3.19. 20 paralel, 16 seri ünitenin I-V, P-V özellikleri

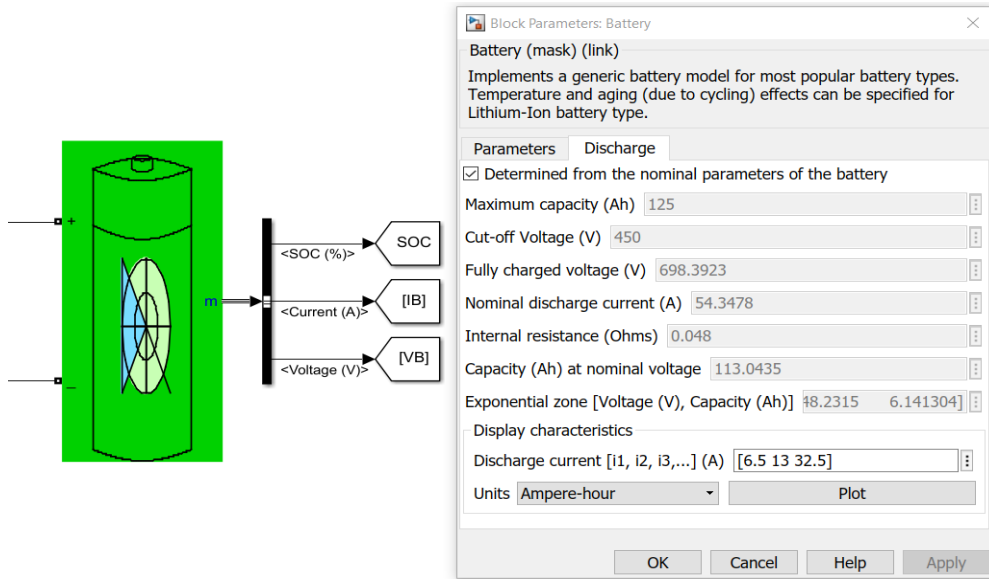
3.2.4. Batarya Depolama Sistemi Tasarımı ve SOC

Şekil 3.20'de gösterildiği gibi, bu çalışmada 125 A, 600 V'luk lityum-iyon batarya kullanılmıştır. Kullanılan batarya için ilk SOC değeri % 40'tır.



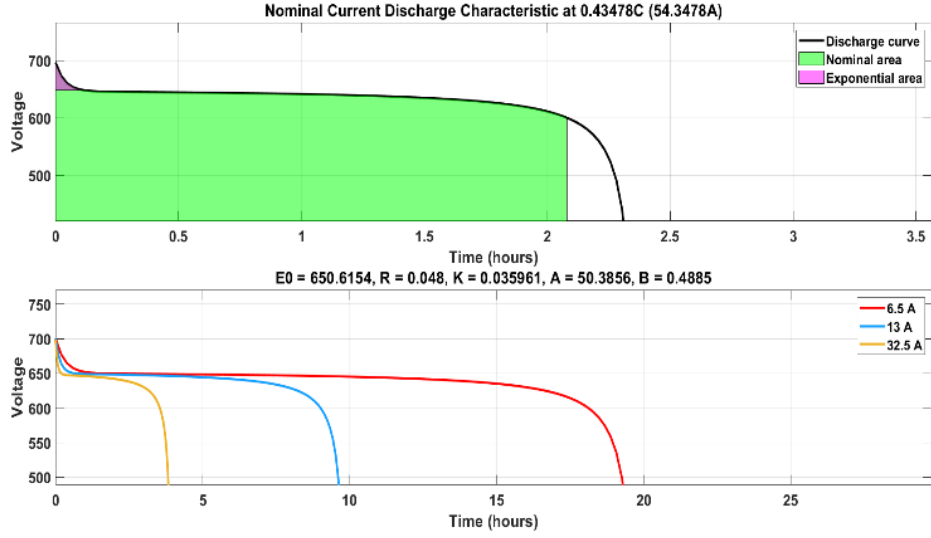
Şekil 3.20. Nominal akım ve ilk SOC ile nominal batarya gerilimi

Şekil 3.21'de bataryaya ait tam şarj ve deşarj parametreleri gösterilmiştir.



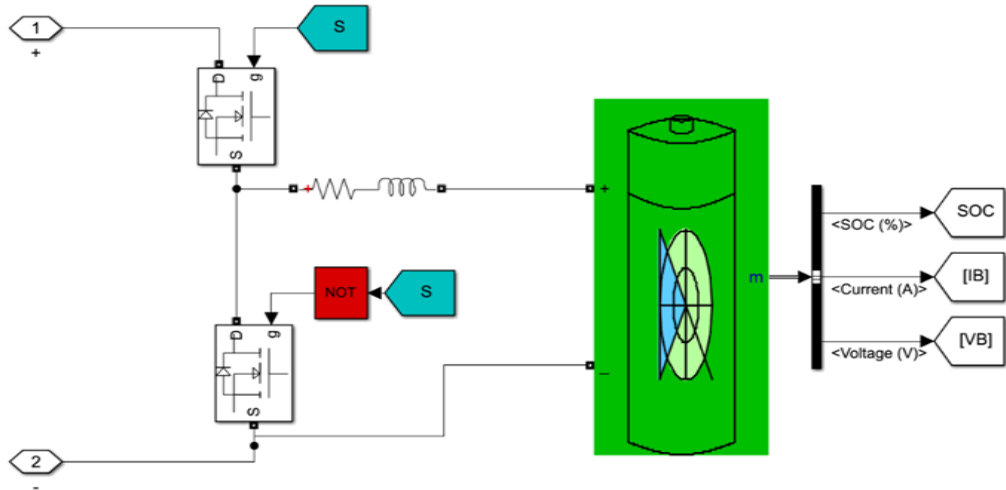
Şekil 3.21. Bataryanın tam deşarj ve şarj parametreleri

Şekil 3.22'de zamana göre batarya karakteristiği görülmektedir.



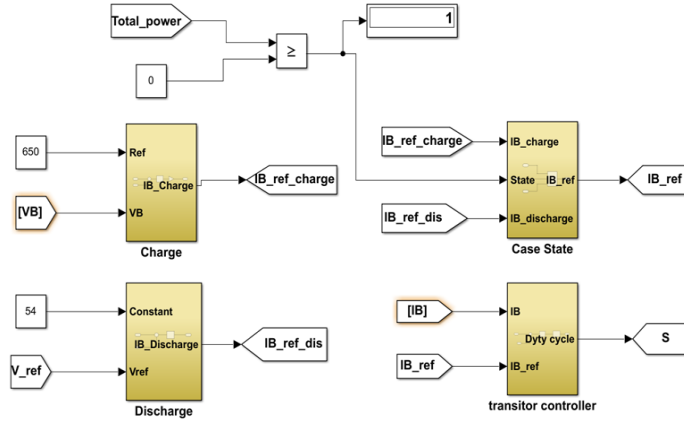
Şekil 3.22. Nominal akım deşarj karakteristiği

Bu alışmada, Şekil 3.23'da gösterildiği gibi batarya sistemi iki yönlü bir DC-DC dönüştürücüye bağlanmıştır. Ayrıca, iki adet MOSFET (metal-oksit-yarı iletken alan etkili transistör) anahtarları ile SOC kontrol edilmektedir.



Şekil 3.23. Bataryalı ift yönlü DC-DC dönüştürücü

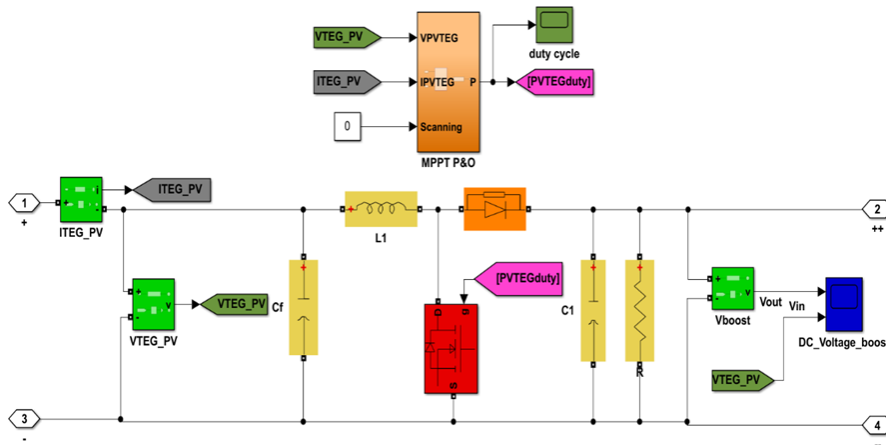
Batarya yönetim sisteminin çift yönlü DC-DC dönüştürücü kullanılarak şarj ve deşarj modu kontrolü Şekil 3.24'de verilmiştir.



Şekil 3.24. Batarya yönetim sistemi

3.2.5. DC-DC Boost Dönüştürücü için MPPT

Bir DC yükseltici dönüştürücü, TEG'i PV dizisinin bir tarafına ve AC-DC invertörü diğer tarafına bağlar. Standart test koşulları altında, RES ve bataryadan üretilen maksimum giriş gerilimi yaklaşık 250 V, maksimum çıkış gerilimidir yaklaşık 650 V'dur. Bir DC-DC yükseltici dönüştürücünün bileşenleri, bir anahtarlayıcı, bir diyot, bir bobin ve bir kapasitördür. Simülasyonda, tipik bir güç diyodu ve metal oksit yarı iletken alan etkili transistör güç anahtarlama cihazı seçilir, çünkü bunlar düşük ila orta güç uygulamalarında sıklıkla kullanılır. İnvörtör takviyesi, MPPT, P&O algoritması ile kontrol edilmiştir. Yükseltici transformatörün modülü, $L = 0,01$, $C=1,5$ mF'dır. Şekil 3.25, MPPT, P&O ve DC-DC boost dönüştürücü kontrolünün tasarımını göstermektedir.



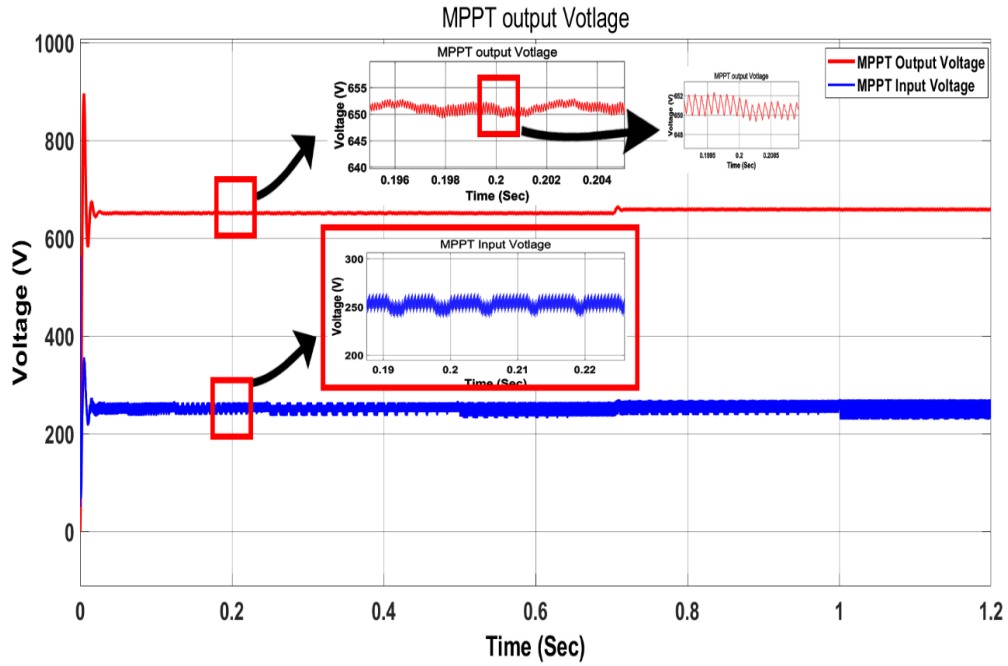
Şekil 3.25. DC-DC yükseltici dönüştürücüyü izleyen ve izleyen MPPT kesinti tasarımı

Tablo 3.2'de gösterilen MPPT P&O takibi ve izlenmesi için gerekli elektrotermel değişkenler ve katsayılar verilmiştir.

Tablo 3.2. Elektrotermal değişkenler ve katsayılar

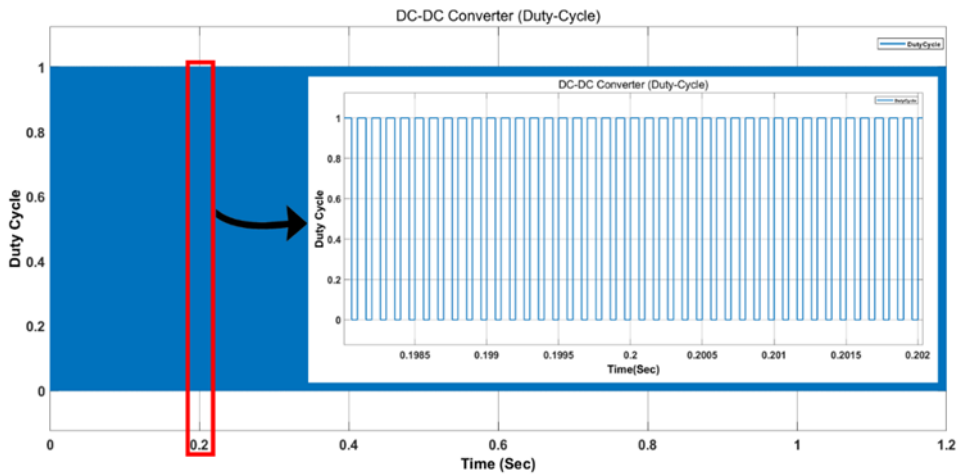
Elektrotermal Değişkenler ve Katsayılar	Değişken Değerleri
Görev Döngüsünün Başlangıç Değeri	0.6
D Sınırları [üst, alt]	0.9-0.7
P&O Algoritmasının Temel Değerinde	0.05
Ölçüm Filtresinin Kesme Frekansı	20000
Tarama Modu Süresi	0.0005

DC-DC MPPT boost dönüştürücü giriş ve çıkış gerilimi Şekil 3.26'da gösterilmektedir.



Şekil 3.26. Gerilim sinyalini izleyen MPPT çıkışı ve girişi

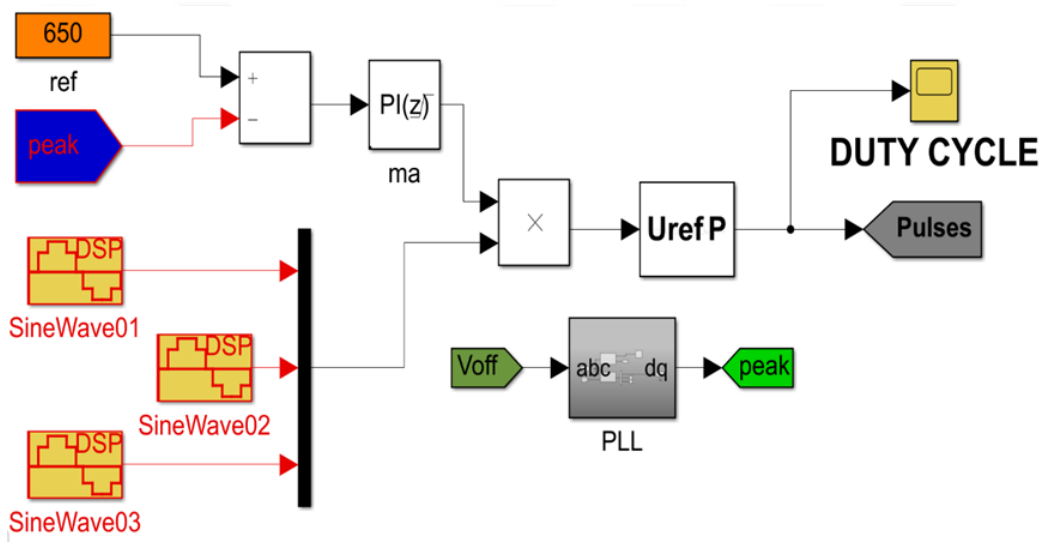
Ayrıca, yükseltici transformatörün görev döngüsü Şekil 3.27'de gösterilmiştir.



Şekil 3.27. DC-DC boost görev döngüsü

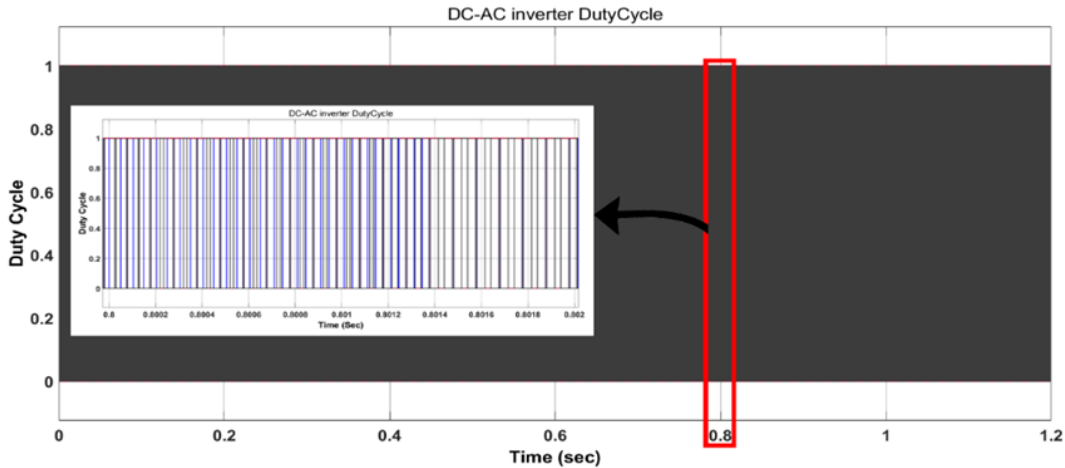
3.2.6. Ada Modunda AC-DC İnvörtör Kontrolü

Bu sistemde DC-AC invertör ada modunda kullanılmak üzere tasarlanmış ve kontrol edilmiştir. Önerilen yükleri beslemek için saf üç fazlı bir gerilim üretilmiştir. Şebekeden bağımsız eviricilerin bağımsız çalışması amaçlanmıştır ve şebekeye senkronize edilemez. Şebekeden bağımsız eviriciler, doğru akımı, güç cihazlarına alternatif akıma anında çevirmelidir. Hızla ve inverterin nominal kapasitesinde veya üzerinde tepki vermelidir. Evirici, yükseltici trafodan elektriği çeker ve alternatif akıma dönüştürür. Şekil 3.28, MATLAB-Simulink®'te şebekeden bağımsız bir invertörün kontrol edilmesini göstermektedir.



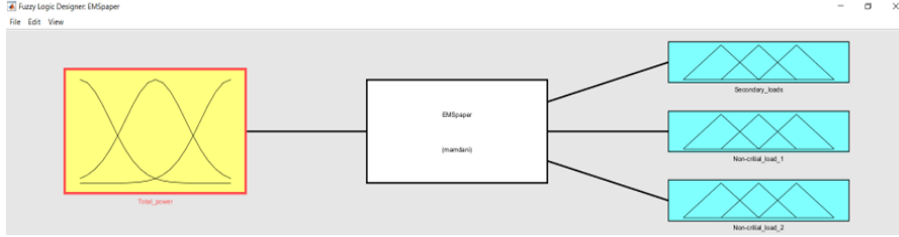
Şekil 3.28. Ada modunda evirici kontrolü

Önerilen invertörün görev döngüsü, Şekil 3.29'da gösterilmektedir.



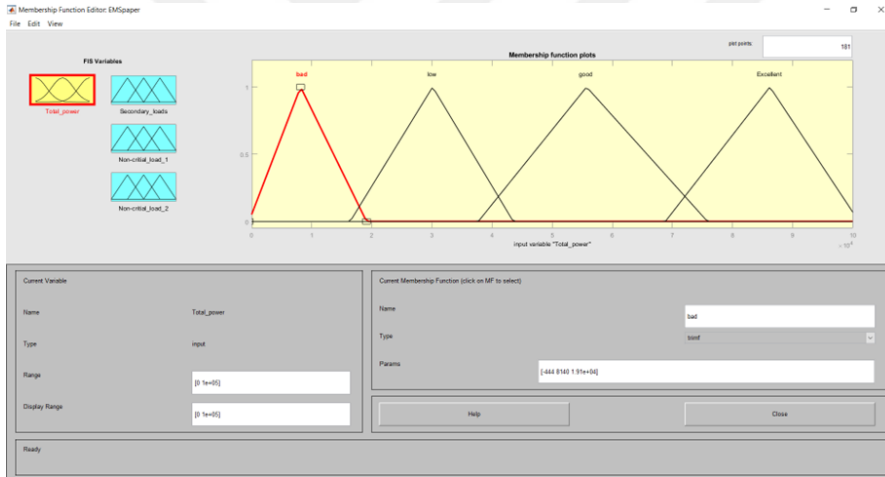
Şekil 3.29. DC-AC eviricinin görev döngüsü

Önerilen LMS'yi tasarlamak için bulanık mantık kontrolü kullanılmıştır. Bu sistemde, LMS için önerilen kurallar giriş ve çıkış arasında üç çıkış anahtarı (Yedek 1 - Yedek 2 - Yedek 3) ile bir giriş işlevi (toplam güç) vardır. Önerilen bulanık mantık yapısı Şekil 3.31'de gösterilmiştir.



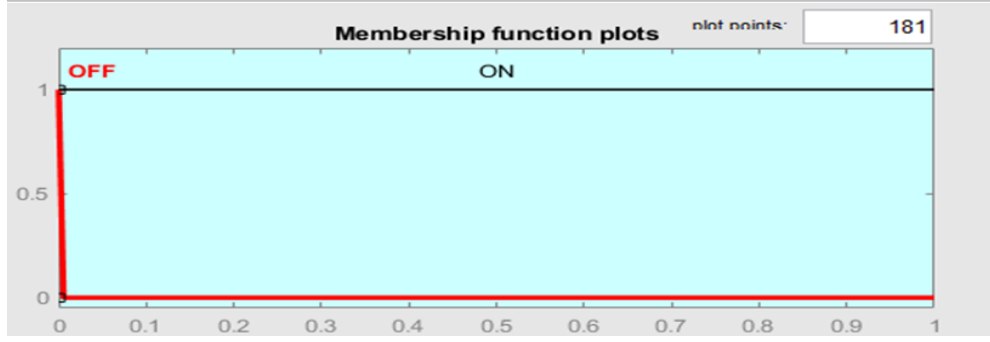
Şekil 3.31. Bulanık mantığın tüm yapısı

Şekil 3.32'de toplam enerji üyelik fonksiyonu verilmektedir. 4 fonksiyona bölünmüş toplam güç fonksiyonu (0-20 kW) kötü güç, (20kW-43 kW) düşük güç, (43 kW-75 kW) iyi güç ve (75 kW-100 kW) mükemmel güç şeklinde belirlenmiştir.



Şekil 3.32. Giriş fonksiyonu olarak toplam güç

Şekil 3.33, bulanık mantığın tüm yapısını göstermektedir. Çıkış fonksiyonu için, önerilen sistemin üçüncü çıkış anahtarındaki tüm anahtarlar, Şekil 3.33'deki üye fonksiyonda gösterildiği gibi bir açma-kapama modu olarak işlev görür.



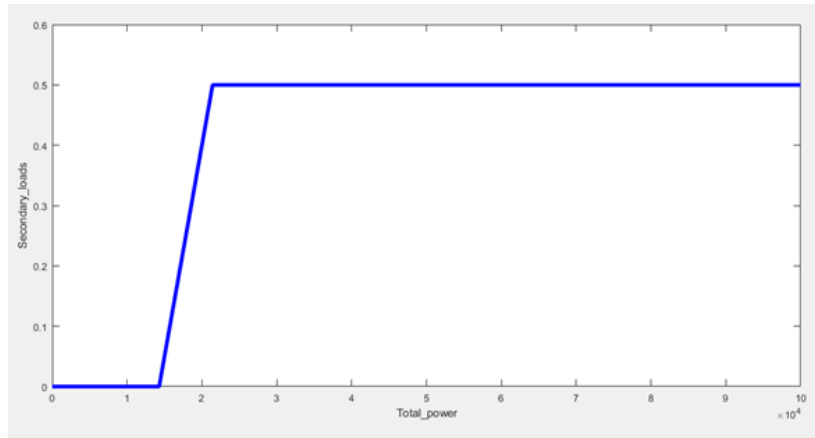
Şekil 3.33. Yedek 1 - Yedek 2 - Yedek 3 fonksiyon tuşları

3.2.7.2. Bulanık Mantık Kuralları

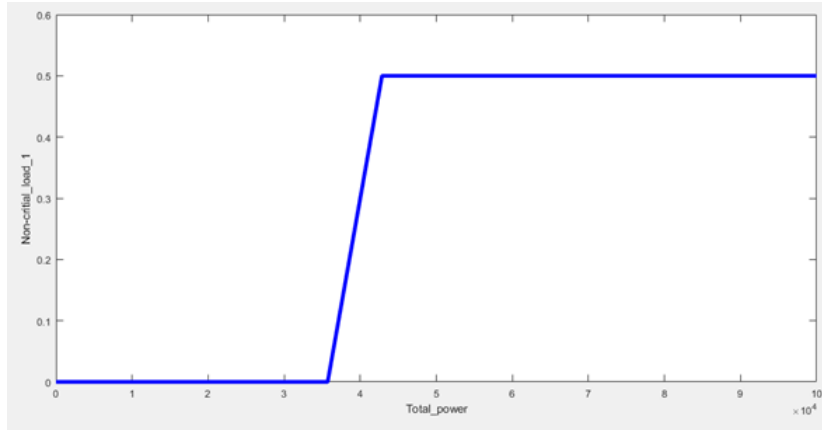
Şekil 3.34'de, LMS'deki güç miktarına göre kontrollü yükler bu sistemde aşağıdaki dört kural uygulanır. Ek olarak, Şekil 3.35, 3.36 ve 3.37, bulanık mantık kontrolünde kural tabanlarını göstermektedir.



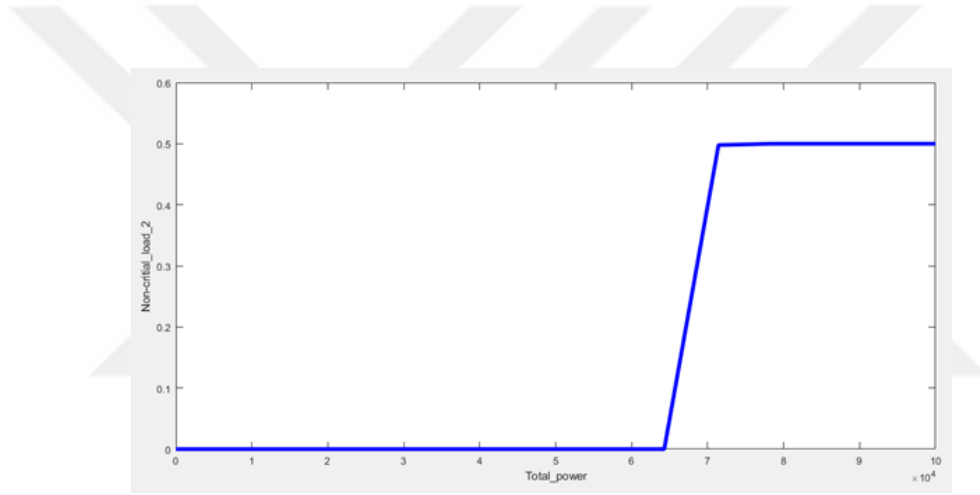
Şekil 3.34. Önerilen RLC LMS için bulanık mantık



Şekil 3.35. Toplam güç, zaman ve ikincil yükler arasındaki bulanık mantık kural tabanı

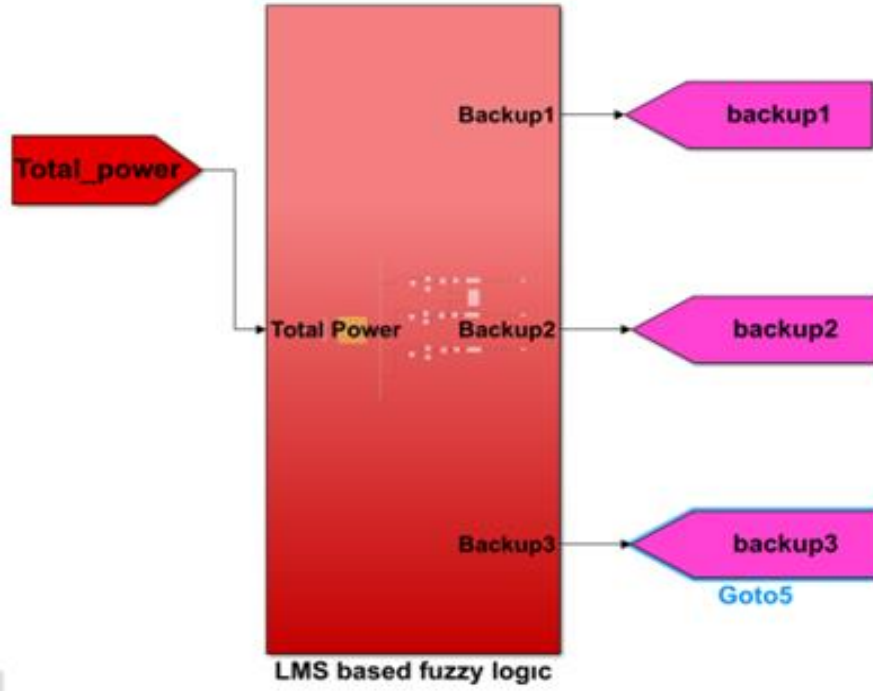


Şekil 3.36. Kritik_olmayan yük_1, toplam kapasite arasındaki bulanık mantık kural tabanı



Şekil 3.37. Kritik_olmayan yük_2, toplam kapasite arasındaki bulanık mantık kural tabanı

Şekil 3.38, MATLAB® ortamında önerilen bir bulanık mantık diyagramını göstermektedir. Toplam enerji ve zaman olmak üzere iki giriş fonksiyonu vardır. Birincisi enerji miktarını tahmin etmek, ikincisi ise gün durumuna göre planlanmış yüküdür. Böylece, harmonik rezonans devre yüklerini kontrol etmek için dört çıkış önerilmektedir.



Şekil 3.38. MATLAB® ortamında bulanık mantık tabanlı LMS

3.2.8. Tekno-ekonomik Analiz

Tekno-ekonomik analiz, bir teknolojinin veya projenin ekonomik fizibilitesini değerlendirmek için kullanılan bir metodolojidir. Günlük enerji üretimi bağlamında, tekno-ekonomik analiz, bir enerji üretim sisteminin kurulumu ve işletilmesi ile ilgili maliyet ve faydaların değerlendirilmesini içerir. Bu analiz tipik olarak başlangıç maliyeti, yıllık işletme ve bakım maliyeti, kullanım ömrü boyunca toplam maliyet, kullanım ömrü boyunca üretilen toplam enerji ve seviyelendirilmiş enerji maliyeti (LCOE) [27], [28] gibi hususlardan oluşur.

Günlük enerji üretimi, sistem tarafından günlük olarak üretilen enerji miktarını ifade eder ve Denklem 3.16 kullanılarak hesaplanabilir.

$$E = P \times H \quad (3.16)$$

Burada: E günlük enerji üretimi, P sistemin güç çıkışı ve H günlük çalışma saati sayısıdır. İlk maliyet, enerji üretim sistemini kurmak ve işletmeye almak için gereken ön yatırımı temsil eder. Ekipman, kurulum, izinler ve mühendislik maliyetleri gibi giderleri içerir. Başlangıç maliyeti Denklem 3.17 ile ifade edilebilir.

$$IC = C + I \quad (3.17)$$

Burada: IC başlangıç maliyeti, C sistemin sermaye maliyeti ve I herhangi bir ek kurulum veya işletmeye alma maliyetidir.

Yıllık işletme ve bakım maliyetleri, enerji üretim sisteminin bir yıl boyunca işletilmesi ve bakımı için yapılan harcamaları ifade eder. Düzenli bakım, onarım, izleme ve idari genel giderler için maliyetleri içerir. Yıllık işletme ve bakım maliyeti Denklem 3.18 ile hesaplanabilir.

$$OMC = M \times Y \quad (3.18)$$

Burada: OMC yıllık işletme ve bakım maliyeti, M yıllık bakım maliyeti, Y işletme yıllarının sayısıdır.

Kullanım ömrü boyunca toplam maliyet, enerji üretim sisteminin tüm kullanım ömrü boyunca başlangıç maliyeti ile kümülatif yıllık işletme ve bakım maliyetlerinin toplamını temsil eder ve Denklem 3.19 kullanılarak hesaplanabilir.

$$TC = IC + (OMC \times L) \quad (3.19)$$

Burada: TC kullanım ömrü boyunca toplam maliyet, IC başlangıç maliyeti, OMC yıllık işletme ve bakım maliyeti ve L sistemin yıl cinsinden kullanım ömrüdür.

Kullanım ömrü boyunca üretilen toplam enerji, sistemin çalışma ömrü boyunca kümülatif enerji üretimini ifade eder. Denklem 3.20 kullanılarak hesaplanabilir.

$$TE = E \times L \quad (3.20)$$

Burada: TE kullanım ömrü boyunca üretilen toplam enerji, E günlük enerji üretimi ve L sistemin yıl cinsinden kullanım ömrüdür.

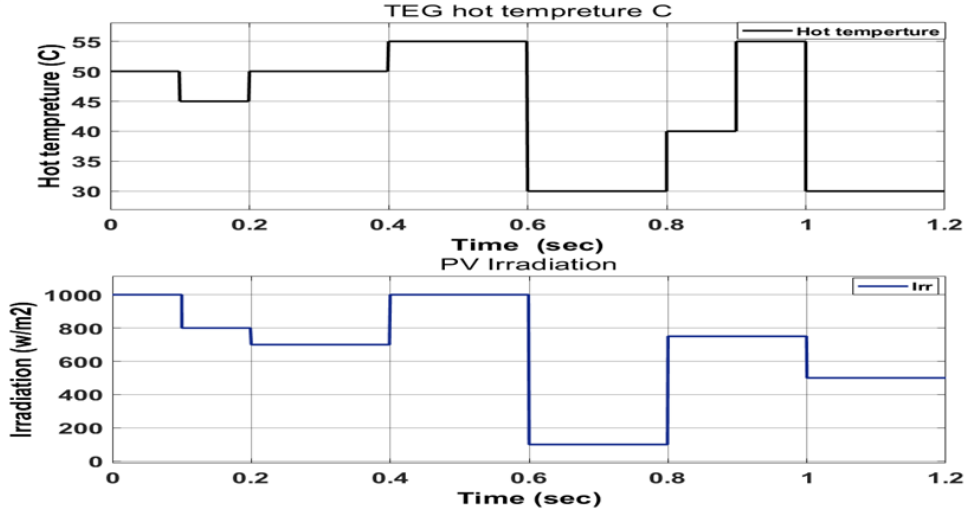
Seviyelendirilmiş enerji maliyeti, sistemin ömrü boyunca bir birim enerji üretmenin ortalama maliyetini temsil eder. Ömür boyunca toplam maliyetin, ömür boyunca üretilen toplam enerjiye bölünmesiyle hesaplanır. LCOE hesaplaması Denklem 3.21 ile verilir.

$$LCOE = TC / TE \quad (3.21)$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bulanık mantık yük yönetimi sisteminin uygulanmasından önceki ve sonraki MG sonuçları gösterilmiştir. Bu nedenle yük durumu, toplam üretilen güç ve batarya depolama sisteminin performansı ile açıklanmıştır. Ayrıca sistem, LMS'yi uygulamadan önce ve sonra ve önerilen TEG'in ve hibrit PV MG'nin çalışmasını optimize ettikten sonra karşılaştırılmıştır.

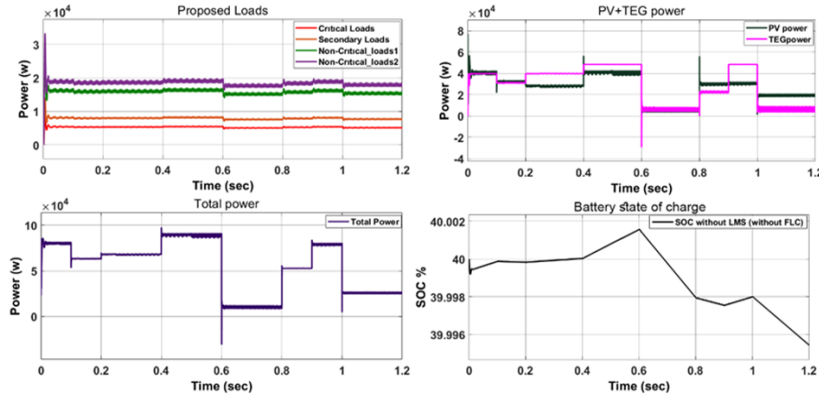
Önerilen MG, MATLAB/Simulink® kullanılarak RES ve yüklerle oluşturulmuştur. Gün boyunca farklı hava ve saat koşulları sistem üzerinde test edilmiştir. Şekil 4.1, gün boyunca ve farklı hava koşullarında TEG ve PV üretiminin ana etkisini göstermektedir. Tüm senaryolarda TEG sıcak nokta sıcaklığının ve uygulanan fotoelektrik ışınımın beklenen değeri uygulanmıştır.



Şekil 4.1. MATLAB® ortamında TEG'in sıcak nokta sıcaklığı ve PV ışınımı

4.1. Yük Yönetimi Uygulamadan Önce MG Çalışmasının Durumu

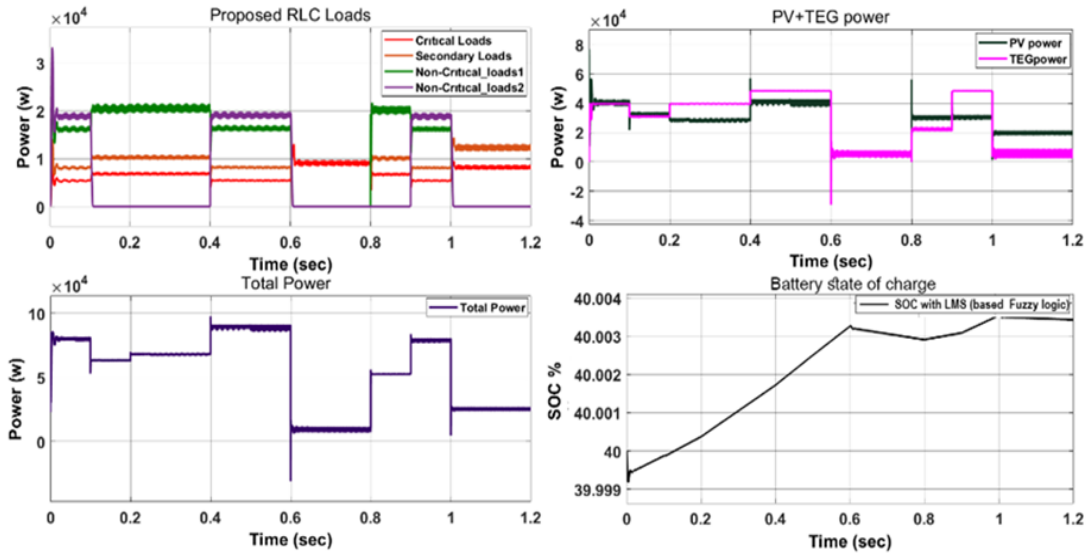
Şekil 4.2, SOC ile birlikte beklenen yük ve toplam güç arasındaki sonuçları göstermektedir. Bu senaryodaki tüm yükler, bir LMS olmaksızın RES (termo-PV generatör) tarafından desteklenmektedir. Batarya şarj modunda yalnızca 60 ila 95 kW güç üretmektedir. Güç yetersiz ise, sistem boşaltma moduna geçecek ve tüm talep yüklerini kapatacaktır. Bu senaryoda batarya tamamen boş olabilir ve MG bazen çalışmayabilir.



Şekil 4.2. Mikroşebekelerin LMS olmadan çalıştırılması

4.2. Yük Yönetimi Uygulandıktan Sonra MG Çalışmasının Durumu

Hassas olmayan, ikincil 1 ve 2 yükleri yönetmek için bulanık mantık üzerine kurulu bir LMS kullanılmıştır. Şekil 4.3, elektrik miktarına ve SOC'a bağlı olarak farklı hava koşullarında şarj modunda önerilen harmonik rezonans devresi yük anahtarlamasını göstermektedir. Hassas yük, yalnızca güç 0 ile 20 kW arasında olduğunda tetiklenecektir. Sekonder yük hassas yükler olduğunda 21 kW ile 40 kW arasındaki güç seviyelerinde çalışır. Ayrıca gücün 40 kW ile 75 kW arasında olması durumunda ikincil ve hassas yüklerle ek olarak 1. hassas olmayan yük kullanılacaktır. Üretilen güç 75 ile 95 kW arasında mükemmel bir seviyede çalışırken tüm yükler çalışacaktır. Bu çalışmada, güçten ödün vermeden MG'nin etkinliğini ve uyarlanabilirliğini artıran SOC optimize edilmiştir.



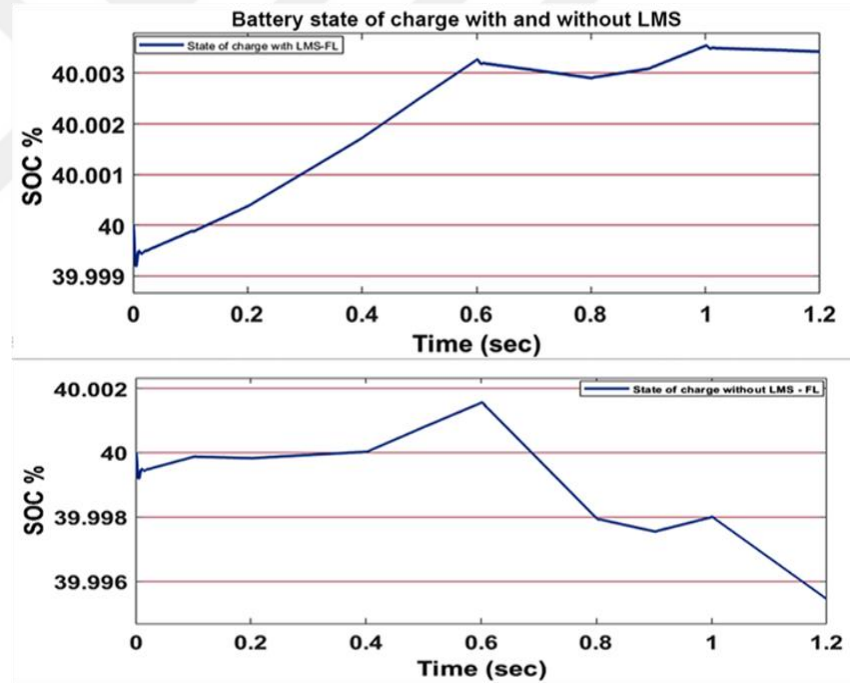
Şekil 4.3. MG ağlarının LMS ile çalışması

Tablo 4.1, ikinci senaryoyu, yük sürecini ve LMS ile SOC'ü göstermektedir.

Tablo 4.1. Bulanık mantık kontrolü tarafından üretilen güç miktarı ile yükleme işlemi

Zaman (s)	Güç Miktarı (kW)	Primer Yükler	İkincil Yükler	Kritik_olmayan yük_1	Kritik_olmayan yük_2	SOC
0	80	★	★	★	★	Şarj
0.1	60	★	★	★		Şarj
0.2	70	★	★	★		Şarj
0.4	85	★	★	★	★	Şarj
0.6	15	★				Deşarj
0.8	50	★	★	★		Şarj
1	80	★	★	★	★	Şarj
1.2	30	★	★			Deşarj

Şekil 4.4'de LMS olan ve olmayan batarya için önerilen LMS üzerinde bulanık mantık kontrolü uygulamadan önce ve sonraki SOC gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Bulanık mantık kontrol uygulamasından önce ve sonra SOC

4.3. Sistemin Tekno-ekonomik Analizi

PV ve TEG sistemleri için tekno-ekonomik analizler, yerel güneş ışınımı veya sıcaklık gradyanı, bileşenlerin maliyeti, kurulum ve çalıştırma, bakım, sistemin verimliliği, sistemin beklenen ömrü ve finansman koşulları gibi faktörler hakkında belirli ayrıntılara sahiptir. Bu çalışmada, 85 kW (40 kW PV ve 45 kW TEG) için günlük enerji üretimi, başlangıç maliyeti,

yıllık işletme ve bakım maliyeti ve kullanım ömrü boyunca birim enerji başına seviyelendirilmiş maliyet esas alınarak tekno-ekonomik analizler hesaplanmıştır.

Yerel ortalama güneş ışınımı $4 \text{ kWh/m}^2/\text{gün}$ 'dür. PV sisteminin verimliliği %15 ve TEG sisteminin verimliliği % 5'tir. PV sisteminin maliyeti 2 $\$/\text{W}$ 'tır ve TEG sisteminin kurulumu 3 $\$/\text{W}$ 'tır. Her iki sistemin de tahmini ömrü 25 yıldır. İşletme ve bakım maliyetleri, yıllık ilk maliyetin % 1'dir.

Tablo 4.2. Tasarlanan hibrit PV-TEG sistemi tekno-ekonomik analiz sonuçları

Tekno-ekonomik Parametreler	PV	TEG
Günlük enerji üretimi	24 kWh/gün	54 kWh/gün
Başlangıç maliyeti	80.000 \$	135.000 \$
Yıllık çalışma ve bakım maliyeti	800 $\$/\text{yıl}$	1,350 $\$/\text{yıl}$
Ömür boyunca üretilen toplam enerji	100.000 \$	168.750 \$
Seviyelendirilmiş enerji maliyeti	219.000 kWh	493.650 kWh

Dolayısıyla, bu varsayımlar altında, TEG sistemi, daha yüksek enerji üretimi nedeniyle başlangıçta daha pahalı olmasına rağmen, kullanım ömrü boyunca daha uygun maliyetli olacaktır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, %100 RES olarak kabul edilen PV ve TEG elektrik enerjisi kaynağı batarya yönetim sistemleri ve ada MG için ilk kez kullanılmıştır. Araştırma, MATLAB-Simulink 2020b® ortamında modellenmiş ve tasarlanmıştır. Belirli koşullar yerine getirildiğinde tüm gün ve gece elektrik üretmek için TEG uygulaması yapılmıştır. Tasarlanan MG yapısı, TEG'leri çalıştırmak için kullanılacak doğal sıcak su içermesinden dolayı sıcak suyun temiz, doğal bir kaynaktan elektrik üretmek için kullanılacağı kaplıcaların yoğun olduğu ve nüfus yoğunluğu az olan uzak bölgelerde ada şeklinde verimli olarak uygulanabilir. Tasarlanan sistemin kaplıcaların yoğun olduğu Irak gibi ülkelerde uygulanması önerilmiştir. Bu çalışmada, tüm gün güç sağlamak ve batarya yönetim sisteminin SOC'u optimize etmek ve üretilen güç miktarına göre yükleri ayarlamak için bulanık mantık sistemi de tasarlanmıştır. Önerilen MG'nin çalıştırılması ile olumlu sonuçlar elde edilmiş ve bu araştırma, gelişmiş yük dengeleme ve MG kararlılığı ve verimliliğinin korunmasıyla sonuçlanmıştır. Ek olarak elde edilen sonuçlar, yük yönetiminin bir MG ağının kararlılığı ve etkinliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, özellikle ada MG'lerde akıllı yük yönetimi yazılımı MG sisteminin bir parçası olarak mutlaka bulunmalıdır. Bu kontrol yazılımı ayrıca farklı kontrol algoritmaları kullanılarak ve çıkış sinyalleri optimize edilerek geliştirilebilir ve genişletilebilir.

6. KAYNAKÇA

- Agdam, M., Asbayou, A., Elyaqouti, M., Ihlal, A., & Assalaou, K. (2021). MPPT of PV System Under Partial Shading Conditions Based on Bio-inspired Swarm Intelligence Technique. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 297, p. 01051). EDP Sciences., doi: 10.1051/e3sconf/202129701051.
- Ali, S., Zheng, Z., Aillerie, M., Sawicki, J. P., Pera, M. C., & Hissel, D. (2021). A review of DC Microgrid energy management systems dedicated to residential applications. *Energies*, 14(14), 4308., doi: 10.3390/en14144308.
- Azurza, O., Arranbide, I., & Zubia, I. (2012, March). Rural electrification based on renewable energies. A Review. In *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*, Santiago de Compostela, Spain.
- Barton, J. P., & Infield, D. G. (2004). Energy storage and its use with intermittent renewable energy. *IEEE transactions on energy conversion*, 19(2), 441-448.
- Bist, N., Sircar, A., & Yadav, K. (2020). Holistic review of hybrid renewable energy in circular economy for valorization and management. *Environmental Technology & Innovation*, 20, 101054. doi: 10.1016/j.eti.2020.101054]
- Blimpo, M.P., Cosgrove-Davies, M. (2020). *Accès à l'Électricité En Afrique Subsaharienne*; World Bank Publications: Washington, DC, USA; ISBN 9781464814884.
- Calderaro, V., Galdi, V., Lattarulo, V., & Siano, P. (2010, May). A new algorithm for steady state load-shedding strategy. In *2010 12th international conference on optimization of electrical and electronic equipment* (pp. 48-53). IEEE.
- Cecati, C., Citro, C., & Siano, P. (2011). Combined operations of renewable energy systems and responsive demand in a smart grid. *IEEE transactions on sustainable energy*, 2(4), 468-476.
- Chaib, A., Achour, D., & Kesraoui, M. (2016). Control of a solar PV/wind hybrid energy system. *Energy Procedia*, 95, 89-97. doi: 10.1016/j.egypro.2016.09.028.
- Champier, D. (2017). Thermoelectric generators: A review of applications. *Energy Conversion and Management*, 140, 167-181. doi: 10.1016/j.enconman.2017.02.070.
- De Souza, A. Z., da Silva Neto, J. A., de Carvalho Costa, J. G., Portelinha, F. M., & Marujo, D. (2019, September). An offline fuzzy-based decision-Making to load shedding in microgrids. In *2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference-Latin America (ISGT Latin America)* (pp. 1-6). IEEE, doi: 10.1109/isgt-la.2019.8895409.
- Dell'Era, A., Bocci, E., Sbordone, D., Villarini, M., Boeri, F., Di Carlo, A., & Zuccari, F. (2015). Experimental tests to recover the photovoltaic power by battery system. *Energy Procedia*, 81, 548-557.

- Gambino, V., Micangeli, A., Naso, V., Michelangeli, E., & Di Mario, L. (2014). A Sustainable and resilient housing model for indigenous populations of the Mosquitia Region (Honduras). *Sustainability*, 6(8), 4931-4948.
- Ghandriz, Y., Noorbakhsh, S. M. Z., Gavagsaz-Ghoachani, R., & Phattanasak, M. (2021, September). Effect of wide observation of nature in renewable energy engineering education. In *2021 Research, Invention, and Innovation Congress: Innovation Electricals and Electronics (RI2C)* (pp. 193-198). IEEE, doi: 10.1109/ri2c51727.2021.9559741.
- Güllü, M., Kartal, Z. (2021). Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının 2030 Yılına Kadar Tahmini. *19 Mayıs Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(2), 288-313.
- Heffner, G., Maurer, L., Sarkar, A., & Wang, X. (2010). Minding the gap: World Bank's assistance to power shortage mitigation in the developing world. *Energy*, 35(4), 1584-1591.
- Hossen, M. D., Islam, M. F., Ishraque, M. F., Shezan, S. A., & Arifuzzaman, S. M. (2022). Design and implementation of a hybrid solar-wind-biomass renewable energy system considering meteorological conditions with the power system performances. *International journal of photoenergy*, 2022., doi: 10.1155/2022/8792732.
- IEA. (2021) "Renewable electricity – Renewable Energy Market Update 2021 – Analysis," IEA. <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-2021/renewable-electricity>
- Jha, N., Prashar, D., Rashid, M., Khanam, Z., Nagpal, A., Al Ghamdi, A. S., & Alshamrani, S. S. (2022). Energy-efficient hybrid power system model based on solar and wind energy for integrated grids. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, doi: 10.1155/2022/4877422.
- Kavadias, K. A., & Triantafyllou, P. (2021). Hybrid Renewable Energy Systems' Optimisation. A Review and Extended Comparison of the Most-Used Software Tools. *Energies*, 14(24), 8268., doi: 10.3390/en14248268.
- Kennedy, J., Ciufu, P., & Agalgaonkar, A. (2012, July). Intelligent load management in microgrids. In *2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting* (pp. 1-8). IEEE.
- Khandker, S. R., Barnes, D. F., & Samad, H. A. (2013). Welfare impacts of rural electrification: A panel data analysis from Vietnam. *Economic Development and Cultural Change*, 61(3), 659-692.
- Kothari, D.P., Nagrath, I.J. (2013). *Scilab Textbook Companion for Modern Power System Analysis* Book Description; Tata McGraw—Hill Education: New Delhi, India, ISBN 0070494894.
- Lagorse, J., Paire, D., & Miraoui, A. (2009). Sizing optimization of a stand-alone street lighting system powered by a hybrid system using fuel cell, PV and battery. *Renewable Energy*, 34(3), 683-691.

- Ma, J., Chen, H. H., Song, L., & Li, Y. (2015). Residential load scheduling in smart grid: A cost efficiency perspective. *IEEE transactions on smart grid*, 7(2), 771-784.
- Maharjan, S., Zhang, Y., Gjessing, S., & Tsang, D. H. (2014). User-centric demand response management in the smart grid with multiple providers. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, 5(4), 494-505.
- Mamur, H., & Ahiska, R. (2015). Application of a DC–DC boost converter with maximum power point tracking for low power thermoelectric generators. *Energy conversion and management*, 97, 265-272.
- Mamur, H., & Coban, Y. (2020). Detailed modeling of a thermoelectric generator for maximum power point tracking. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 28(1), 124-139., doi: 10.3906/elk-1907-166.
- Micangeli, A., Del Citto, R., Checchi, F., Viganò, D., Nouboundieu, S., & Cestari, G. (2018). Rural Electrification in Central America and East Africa, two case studies of sustainable microgrids. *Revista Iberoamericana de Estudios de Desarrollo=Iberoamerican Journal of Development Studies*, 7(2), 82-113.
- Mišák, S., Stuchlý, J., Platoš, J., & Krömer, P. (2015). A heuristic approach to active demand side management in off-grid systems operated in a smart-grid environment. *Energy and buildings*, 96, 272-284.
- Moghimi, M., Leskarac, D., Panchal, C., Lu, J., & Stegen, S. (2018). Energy management system for peak shaving in an experimental microgrid employing MILP optimization. *Int. J. Eng. Inov. Technol*, 7(7), 28-33.
- Moran, B. (2016, May). Microgrid load management and control strategies. In 2016 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D) (pp. 1-4). IEEE. (accessed Jul. 08, 2022).
- Mulongoti, D., Mugala, G., Kumwenda, B., & Louie, H. (2016, October). Determining the effects of load-shedding on residential electricity consumption using meter data—A case study of Kitwe, Zambia. In 2016 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC) (pp. 488-494). IEEE.
- Narimani, M. R., Maigha, Joo, J. Y., & Crow, M. (2017). Multi-objective dynamic economic dispatch with demand side management of residential loads and electric vehicles. *Energies*, 10(5), 624.
- Panda, S., Mohanty, S., Rout, P. K., Sahu, B. K., Bajaj, M., Zawbaa, H. M., & Kamel, S. (2022). Residential Demand Side Management model, optimization and future perspective: A review. *Energy Reports*, 8, 3727-3766.
- Pasha, A. M., Ibrahim, H. M., Hasan, S. R., Belkacemi, R., Awwad, F., & Hasan, O. (2018, October). A utility maximized demand-side management for autonomous microgrid. In 2018 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC) (pp. 1-5). IEEE. doi: 10.1109/epec.2018.8598451.
- Philipo, G. H., Chande Jande, Y. A., & Kivevele, T. (2021). Clustering and fuzzy logic-based demand-side management for solar microgrid operation: case study of

- Ngurudoto microgrid, Arusha, Tanzania. *Advances in Fuzzy Systems*, 2021, 1-13., doi: 10.1155/2021/6614129.
- Philipo, G. H., Chande Jande, Y. A., & Kivevele, T. (2020). Demand-side management of solar microgrid operation: Effect of time-of-use pricing and incentives. *Journal of Renewable Energy*, 2020.
- Richter, A. (2020) “The Top 10 Geothermal Countries 2019 – based on installed generation capacity (MWe),” *Think GeoEnergy - Geothermal Energy News*. <https://www.thinkgeoenergy.com/the-top-10-geothermal-countries-2019-based-on-installed-generation-capacity-mwe>
- Schnitzer, D., Lounsbury, D. S., Carvallo, J. P., Deshmukh, R., Apt, J., & Kammen, D. M. (2014). *Microgrids for Rural Electrification: A critical review of best practices based on seven case studies*. United Nations Foundation.
- Takalani, R., & Bekker, B. (2020, January). Load and load growth models for rural microgrids, and how to future-proof designs. In *2020 International SAUPEC/RobMech/PRASA Conference* (pp. 1-6). IEEE.
- Topa Gavilema, Á. O., Álvarez, J. D., Torres Moreno, J. L., & García, M. P. (2021). Towards optimal management in Microgrids: An overview. *Energies*, 14(16), 5202., doi: 10.3390/en14165202.
- Urbina, A. (2022). Sustainability of photovoltaic technologies in future net-zero emissions scenarios. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, doi: 10.1002/pip.3642.
- Üstün, T. S., Ozansoy, C., & Zayegh, A. (2011). Recent developments in microgrids and example cases around the world—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 4030-4041.
- Villarini, M., Bocci, E., Moneti, M., Di Carlo, A., & Micangeli, A. (2014). State of art of small scale solar powered ORC systems: a review of the different typologies and technology perspectives. *Energy Procedia*, 45, 257-267.
- Williams, N. J., Jaramillo, P., Cornell, B., Lyons-Galante, I., & Wynn, E. (2017, June). Load characteristics of East African microgrids. In *2017 IEEE PES PowerAfrica* (pp. 236-241). IEEE.
- Yadoo, A., & Cruickshank, H. (2012). The role for low carbon electrification technologies in poverty reduction and climate change strategies: A focus on renewable energy mini-grids with case studies in Nepal, Peru and Kenya. *Energy Policy*, 42, 591-602.
- Zoui, M. A., Bentouba, S., Stocholm, J. G., & Bourouis, M. (2020). A review on thermoelectric generators: Progress and applications. *Energies*, 13(14), 3606., doi: 10.3390/en13143606.
- Zulkepli, N., Yunas, J., Mohamed, M. A., & Hamzah, A. A. (2021). Review of Thermoelectric Generators at Low Operating Temperatures: Working Principles and Materials. *Micromachines*, 12(7), 734., doi: 10.3390/mi12070734.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER	
Adı Soyadı:	Firas Hasan Muhi MUHI
Uyruğu:	IRAK
Orcid Numarası:	0009-0005-8529-6000

EĞİTİM BİLGİLERİ	
Lisans	
Üniversite:	AL-Mamoun University
Fakülte:	
Bölümü:	Electrical Power Technology Engineering
Mezuniyet Yılı:	2010
Yüksek Lisans	
Üniversite:	
Enstitü:	
Anabilim Dalı:	
Mezuniyet Yılı:	
Doktora	
Üniversite:	
Enstitü:	
Anabilim Dalı:	
Mezuniyet Yılı:	

Tezden Üretilen Makaleler ve Bildiriler
Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayınlanan Makaleler
Uluslararası Konferans ve Sempozyumlarda Sunulan Bildiriler Firas Hasan Muhi MUHI, Mehmet GÜÇYETMEZ, Termoelektrik Jeneratörler ve Elektrik Endüstrisindeki Uygulamaları, 5. International Palandöken Scientific Studies Congress 18-19 March 2023/ Erzurum (Tam Metin)
Ulusal Hakemli Dergilerde Yayınlanan makaleler
Ulusal Konferans ve Sempozyumlarda Sunulan Bildiriler