

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ
SONUÇ RAPORU

PROJE ADI:

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkez Kampüsünde Güneş Takipli Fotovoltaik
Enerji Sistemi Uygulaması

PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ: Dr. Öğr. Üyesi Yasemin ÖNAL ,

PROJE NOSU: 2020-01.BŞEÜ.03-07

ARAŞTIRMACILAR:

1- Dr. Öğr. Üyesi Ümit Çiğdem TURHAL

Sonuç Rapor Tarihi:15-07-2021

BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
BİLECİK, 2021...

ÖZET

Güneş enerjisi uygulamaları esas olarak fotovoltaik (FV) ve termal sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Son çeyrek asırda ilk yatırım masraflarında sağlanan düşüştürmeler paralel olarak, FV sistemlerin hızla artan bir kullanımı söz konusudur. Günümüzde temiz enerji kullanımını hedefleyen birçok ülkede ve üniversite kampüslerinde FV sistemlerle yüksek oranda enerji tasarrufu yapılırken, çevreye zarar veren gaz emisyonunu azaltılmaktadır. FV sistemler; üniversite aydınlatması, bir fazlı eviriciler, sulama sistemleri, çiftlik evleri, şebekeden uzak binalar, uzay araçları, askeri uygulamalar gibi birçok alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. FV sistemler herhangi bir bölgeye kurulabilir, temiz bir enerji üretim şeklidir, çevre dostudur, bakımı kolaydır, panellerin kurulumu ucuzdur.

FV panellerden elde edilen DC elektrik enerjisinin AC elektrik enerjisine dönüştürülmesi için eviriciler kullanılmaktadır. FV sistemlerde kullanılan eviriciler şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı (şebeke etkileşimli) olan eviriciler olmak üzere ikiye ayrılır. Şebekeden bağımsız olan sistemlerde enerjinin devamlılığı için aküye ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkez kampüste FV panel sisteminden elde edilecek enerjinin yenilenebilir enerji sistemleri laboratuvarında AC yükün beslenmesinde kullanılması için şebekeden bağımsız FV enerji girişli bir fazlı eviricinin çıkışında sinüs şeklinde akım vermesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca güneş enerjisinin olmadığı AC yükün elektrik ihtiyacı akülerde depolanan enerjiden karşılanmıştır. Gerçekleştirilen proje ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Çalışma kapsamında, merkez kampüste bulunan yenilenebilir enerji sistemleri laboratuvarında AC yükün enerji ihtiyacı FV panel sisteminden elde edilmesi ile yüksek oranda enerji tasarrufuna geçilirken, çevreye zarar veren gaz emisyonunu azaltılmıştır. Merkez kampüs içinde bulunan binadaki AC yükte kullanılan elektrik güneş enerjisinin mevcut olduğu zamanlarda üretilen enerji kullanılarak karşılanmakta, üretilen enerjinin bir kısmı depolanmakta ve güneş enerjisinin kesintiye uğradığı zamanlarda akülerden enerji sağlanmaktadır. Böylece elektrik enerjisi tasarrufu da yapılmaktadır.

ABSTRACT

Solar energy applications are mainly divided into photovoltaic (PV) and thermal systems. Parallel to the reductions in initial investment costs in the last quarter century, there is a rapidly increasing use of PV systems. Today, in many countries aiming to use clean energy and in university campuses, while a high amount of energy is saved with PV systems, gas emissions that harm the environment is reduced. Photovoltaic systems; It is widely used in many fields such as university light systems, single-phase inverters, irrigation systems, farm houses, off-grid buildings, space vehicles, military applications. Photovoltaic systems can be installed in any region. They are a clean form of energy production and are environmentally friendly, easy to maintain, and the installation of panels is inexpensive.

Inverters are used to convert DC electrical energy obtained from PV panels to AC electrical energy. Inverters used in photovoltaic systems are divided into two as off-grid and on-grid inverters. In systems that are on-grid , batteries are needed for the continuity of energy.

In this study, sinusoidal current at the output of a phase off-grid inverter was obtained in order to using for AC load of the energy to be obtained from the photovoltaic panel system in the renewable energy laboratory in the central campus of Bilecik Şeyh Edebali University. In addition, when there is no solar irradiation, the AC electrical will be supplied from the energy stored in the batteries. The following results have been achieved with the realized project. Within the scope of the study, by obtaining the energy requirement of the AC load from the PV panel system in the renewable energy laboratory located in the central campus, while a high rate of energy savings was achieved, the gas emission harmful to the environment was reduced. The electricity used in the AC load is supplied by using the energy produced when solar energy is available, some of the energy produced is stored and energy is provided from the batteries when the solar energy is interrupted. Thus, electrical energy savings are also made.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	2
ABSTRACT	3
İÇİNDEKİLER	4
1. GİRİŞ	6
1.1. LİTERATÜRDE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	10
2.FV PANEL.....	15
3. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI ALGORİTMALARI.....	18
3.1. DEĞİŞTİR-GÖZLE ALGORİTMASI (D&G)	18
3.2. SABİT GERİLİM ALGORİTMASI	20
3.3. KISA DEVRE AKIM (KDA) ALGORİTMASI.....	21
3.4. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA) ALGORİTMASI.....	22
3.5. PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU (PSO) ALGORİTMASI.....	23
3.6. BULANIK MANTIK (BM) ALGORİTMASI.....	24
3.7. FAZ KİLİTLEMELİ DÖNGÜ (PLL).....	28
4. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR	29
4.1.FV PANELLERİN FARKLI DİRENÇ VE FARKLI İŞİNİM ALTINDA MODELLENMESİ	29
4.2.FV PANELLERİN FARKLI İŞİNİM VE FARKLI SICAKLIK ALTINDA MODELLENMESİ	31
4.3.FV GİRİŞLİ DA/DA YÜKSELTİCİNİN DEĞİŞTİR-GÖZLE ALGORİTMASI KULLANILARAK MODELLENMESİ	34
4.4.FV GİRİŞLİ DA/DA YÜKSELTİCİNİN YAPAY SİNİR AĞI ALGORİTMASI KULLANILARAK MODELLENMESİ	40

4.5.FV GİRİŞLİ DA/DA YÜKSELTİCİNİN BULANIK MANTIK ALGORİTMASI KULLANILARAK MODELLENMESİ.....	48
4.6.FV GİRİŞLİ BİR FAZLI EVİRİCİNİN DENEYSEL GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	51
SONUÇ.....	62
REFERANSLAR.....	63

1. GİRİŞ

Günümüzün teknolojisi, ısıtma, üretim, taşımacılık ve diğer tüm aktivitelerde büyük oranda enerji kaynağı olarak fosil kökenli yakıtlara bağımlıdır. Fakat fosil kökenli yakıtların kullanımı, sınırlı rezervlere sahip petrol ve doğal gaz gibi yakıtların azalmasına bağlı olarak maliyetlerin artmasına ve fosil kökenli yakıtların yakılması sonucu zararlı emisyonlara ve sera gazlarının çevre üzerindeki olumsuz etkilerine neden olmaktadır. Fosil yakıtların kullanılmasının sakıncalarından dolayı; rüzgar, güneş, jeotermal, biokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaya başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında; güneş enerjisi, hidrolik enerji, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, hidrojen enerjisi, dalga enerjisi gibi kaynaklar yaygın olarak kullanılan enerji kaynakları arasında gösterilebilir.

Hidrolik Enerji: Suyun akış gücünden elde edilen dünya üzerinde en geniş kaynağa sahip olan ucuz bir enerji kaynağıdır. Suyun potansiyel enerjisinin, kinetik enerjiye oradan da elektrik enerjisine bir çevrim söz konusudur. Dünya çapında elektrik enerjisi üretiminde yaklaşık %20'i paya sahip yenilenebilir bir enerji kaynağıdır [1].

Rüzgâr Enerjisi: Güneş enerjisinden doğan bir kaynaktır. Yeryüzüne düşen güneş ışınlarının dünyaya geliş açılarındaki farklılıklar sebebiyle oluşan basınç ve dünyanın dönüşü ile ortaya çıkan hava akımıdır. Dünya üzerinde oluşan güneş enerjisinin yaklaşık %2'si kadarı rüzgâr enerjisine çevrilmektedir [1].

Jeotermal Enerji: Jeotermal enerji, yerkabuğu içindeki kayalarda bulunan ısı enerjisidir. Isıtma, sıcak su üretme, kuru buz üretimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Biyokütle Enerjisi: Biyokütle, odun ve odun atıkları, zirai mahsul ve atık yan ürünleri, endüstriyel ya da belediye atık ürünleri, hayvan atıkları, gıda işleme proseslerinin atıkları gibi materyallerden üretilebilir. Bu materyallerin yakılarak veya farklı işlemlerden geçirilerek kullanılması sonucunda biyokütle enerjisi oluşmaktadır [2].

Hidrojen Enerjisi: Hidrojen elementi dünyada en çok bulunan elementtir. Doğada bileşikler halinde bulunmakta, işlenmesi ve dönüştürülmesi ile enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Hidrojen birincil bir yakıt olmadığı için, çeşitli kaynaklardan üretilmektedir. Doğal bir enerji kaynağı değildir fakat sürdürülebilir olarak kabul edilmektedir.

Elektrik enerjisinin temininde verim, maliyet ve kaynağın yaygın olarak bulunması gibi durumlar nedeniyle özellikle rüzgar ve güneş enerjisinin kullanımı, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha önde gelmektedir [3]. Enerjide dışa bağımlılığın ve çevresel etkilerin azaltılması hedefleri açısından, yenilenebilir enerji kaynaklarından azami ölçüde yararlanılmalıdır. Bu kapsamda, yerel ve mobil uygulamalarda güneş enerjisinden elektrik ve ısı enerjisi üretimi de teknolojik hedefler arasındadır.

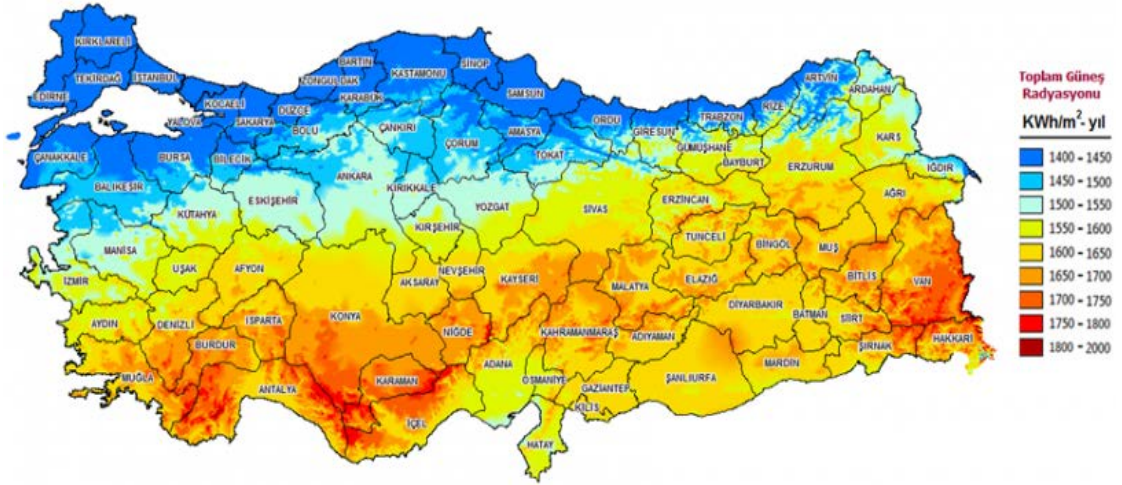
Güneş Enerjisi: Güneş 1,4 milyon km çapında, Dünya'dan 110 kat daha fazla büyüklüğünde ve Dünya'dan 1.496×10^8 km uzaklıkta bulunan yüksek basınçlı ve sıcaklıklı bir yıldızdır. Yüzey sıcaklığı yaklaşık 6000 K olarak bilinmektedir. İç bölgelerindeki sıcaklığı ise 8×10^6 K ile 40×10^6 K arasında değiştiği tahmin edilmektedir. Güneşte her saniyede 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşmekte ve bu sayede güneş enerjisi ortaya çıkmaktadır [4]. Dünya yüzeyindeki ortalama yıllık güneş radyasyonu miktarı ekvator ve çevresinde $2000-2500 \text{ KWh/m}^2$ ve daha üst enlemlerde ise $1000-1500 \text{ KWh/m}^2$ arasında değişmektedir. Dünyanın güneş enerjisi yönünden en elverişli sahası, Ekvator'un 40° Kuzey ve 40° güney paralelleri arasındaki yerlerdir.

Şekil 1.1'de Dünya genelinde en fazla güneş enerji santrali bulunan 20 ülke listelenmiştir.

S.	Ülke	Güncelleme	Kurulu Güç (MW)
1	Çin	Aralık 2020	254.355
2	Amerika Birleşik Devletleri	Aralık 2020	75.572
3	Japonya	Aralık 2020	67.000
4	Almanya	Aralık 2020	53.783
5	Hindistan	Aralık 2020	39.211
6	İtalya	Aralık 2020	21.600
7	Avusturalya	Aralık 2020	17.627
8	Vietnam	Aralık 2020	16.504
9	Güney Kore	Aralık 2020	14.575
10	İspanya	Aralık 2020	14.089
11	Birleşik Krallık	Aralık 2020	13.563
12	Fransa	Aralık 2020	11.733
13	Hollanda	Aralık 2020	10.213
14	Brezilya	Aralık 2020	7.881
15	Türkiye	Mayıs 2021	7.065
16	Güney Afrika	Aralık 2020	5.990
17	Tayvan	Aralık 2020	5.817
18	Belçika	Aralık 2020	5.646
19	Meksika	Aralık 2020	5.644
20	Ukrayna	Aralık 2020	5.360

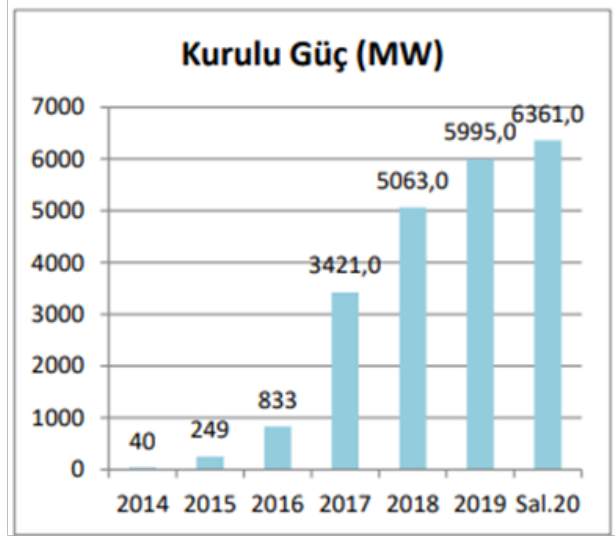
Şekil 1.1. Ülkelerin Güneş Santrali Kurulu Güç Miktarları [60lcay]

Türkiye, 783.562 km² yüzey ölçümüyle, 36°-42° kuzey paralelleri arasında yer almaktadır. Türkiye, coğrafi konumu itibariyle diğer ülkelere kıyasla oldukça yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip ülkedir. Şekil 1.2’de Enerji ve Tabii Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye’nin Güneş Radyasyon Haritası gösterilmiştir [5].



Şekil 1.2. Türkiye’nin Güneş Radyasyon Haritası [5]

Şekil 1.3'de 2014-2020 yılları arasında güneş enerjisinden yararlanmanın yıllara göre değişimi gösterilmiştir [6]. Özellikle 2017 yılından sonra hızlı bir artış olduğu gözlemlenmektedir. Eylül 2020 sonu itibariyle de güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücümüz 6361 MW'ı bulmuştur.



Şekil 1.3. Türkiye'nin Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Kurulu Gücü [6]

Güneş enerjisinden elektrik üretimi konusunda ikincil mevzuatın tamamlanmasıyla Fotovoltaik (FV) Santraller ile lisanssız ve lisanslı elektrik üretimine olan talep artmıştır. Bu gelişmeler FV panellerin öz tüketimi karşılama amaçlı olarak, binalarda ve sanayide kullanımı için önemli bir alan açmıştır. FV ve termal sistemlerinin üniversite kampüslerinde uygulanması konusunda son yıllarda büyük oranda bir artış söz konusudur [7].

FV sistemler; Şebekeden bağımsız (Ada) (off-grid) sistemler ve şebeke bağlantılı (on-grid) sistemler olmak üzere ikiye ayrılır . Şebeke bağlantılı sistemler temel olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Birinci sistem, kurulan Güneş panelleriyle tamamen elektrik enerjisi üreterek şebekeye destek sağlama ya da elektrik enerjisi satma amacıyla kurulan tiplerdir. Bu sistemlerde üretilen enerji büyük yükleri beslemediği ve doğrudan şebekeye iletilerek satıldığı için çeşitli ölçeklerde kurulabilir. Ayrıca üretilen enerji uzak noktalara taşınmadan en yakında bulunan dağıtım şebeke sistemine bağlandığı için iletim/dağıtım kayıpları en az oranda tutulabilmektedir. İkinci sistemler ise, kullanıcının hem elektrik ihtiyacını karşılamakta hem de kullanımın düşük olduğu durumlarda ya da

paneller ile üretilen enerji üretiminin yüksek olduğu zamanlarda şebekeye satılarak kullanıcının gelir elde etmesine dayanmaktadır.

Türkiye'deki güneş enerjisi santrallerinin gelişiminde dünyadaki gelişime paralel olarak son yıllarda büyük bir artış yaşanmaya başlamıştır. Türkiye'de büyük güçte FV santralleri bulunmamakla beraber, 2019 yılı Mayıs ayına kadar kurulmuş sistemlerin toplam kapasitesi 5.374,6 MW'tır ve bu sistemlerin büyük kısmı şebekeyle bağlantılı sistemlerdir [8]. Analizini yaptığımız on-grid sistemlerin şebekeye bağlanması için standartlar geliştirilmiş ve bu standartlar uygulanmaktadır. Ülkemizde de 1MW gücün altında FV sistemlerin lisans almadan şebekeye bağlanması kolaylaştırılmıştır. Fakat bu sistemler sürekli çalışma durumunda iken şebekenin enerji kalitesinde özellikle gerilim bakımından olumsuz etkileri olabilmekte ve bazı güvenlik problemlerini doğurabilmektedir. Kurulu gücüne bağlı olarak FV sistemler elektrik güç sistemlerine farklı gerilim seviyelerinden bağlanmaktadır. Kurulu gücü 11 kW'a kadar olan sistemler alçak gerilim (AG) seviyesinden ve 11 kW'tan büyük olanlar teknik incelemeler sonunda AG veya yüksek gerilim (YG) seviyesinden şebekeye bağlanırlar. Şebeke bağlantılı güneş enerji santrallerinin şebekeye bağlantılarında en önemli sorunlardan birisi de sistemden kaynaklanan harmoniklerdir. Şebeke bağlantısında kullanılan eviriciler harmonik üretimine neden olmaktadır. Oluşan harmonikler şebekenin güç kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır.

1.1. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Literatürde güneş enerjisinden elektrik ve ısı üretilmesine yönelik pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir:

Muhida vd. (2003) çalışmalarında, FV sistem için maksimum akım denetleyicileri kullanarak MPPT izleyici geliştirmişlerdir [9]. Arulmurugan ve Vanitha (2012) çalışmalarında, bağımsız FV yüksek gerilim uygulamaları için DC-DC yükseltici dönüştürücülerde kapalı döngü orantılı integral alıcı (PI) ve türev alıcı (D) kontrol kullanılan yeni bir kontrolcü önermişlerdir. Önerilen kontrolcüyü 410W çıkış gücü gerektiren bir prototipte uygulamışlardır [10]. Trubitsyn vd. (2010) çalışmalarında, 25-40V düşük gerilimli DC'den 240V yüksek gerilimli AC'ye dönüştürmeye uygun tek fazlı FV uygulaması için bir mikro evirici tasarlamışlardır. Çalışmada tam köprü bir seri rezonans evirici, yüksek frekanslı bir transformatör ve yeni bir yarım dalga Cyclo

dönüştürücü kullanılmıştır [11]. Öztürk ve Dursun (2011) çalışmalarında, 2, 10 ve 20 KVA'lık bir FV sistem tasarımı yapmış ve bunları kendi aralarında kıyaslamışlardır [12]. Khadmun ve Subsingha (2013) çalışmalarında, FV üretim sistemi uygulamaları için aralık teknikleri kullanılan DC bir yükseltici örneği önermişlerdir. Bu dönüştürücüde, 350W'lık bir sistemde 24V DC giriş gerilimi 130VDC çıkış gerilimine yükseltilmiştir [13]. Kavitha vd. (2014) çalışmalarında, FV güç üretim sistemleri için yükseltici ünitesine iki paralel elemandan oluşan yumuşak anahtarlama ve ayarlamalı bir DC-DC dönüştürücü önermişlerdir [14]. Venkatesan ve Saravanan (2016) çalışmalarında, FV uygulamaları için doğrudan denetim yöntemiyle yeni bir MPPT algoritması önermişler ve doğruluğunu deneysel ve simülasyon çalışmaları yaparak göstermişlerdir [15]. Siwakoti ve Blaabjerg (2018) çalışmalarında tek fazlı FV sistemler için yeni bir uçan kondansatörlü transformatörsüz evirici önermişlerdir. Önerilen topolojilerin her biri uçan bir kondansatör prensibine dayanmaktadır ve yalnızca dört güç anahtarı veya diyotu, bir kondansatör ve bir küçük bir çıkış filtresi kullanmışlardır. Önerilen evirici 1-kVA prototip kullanılarak gerçekleştirilmiştir [16].

Grozdev (2010) çalışmasında, belirli bir ihtiyacı karşılamak için güneş enerjisi sistem tasarımı yaparak maliyet analizi sonuçlarını ortaya koymuştur [17]. Sulaiman vd. (2010) çalışmalarında, batarya destekli FV dönüşüm sistemine dayanan tipik bir güneş ev uygulaması için yüksek verimli, düşük gerilim dalgalanmalı düşürücü-yükseltici DC-DC dönüştürücü tasarlamışlardır. Giriş gerilimi başlangıçta 20V'dan 5V'a kadar değiştirilmiş ve bataryalarda 12V aralığında regüle edilmiştir [18]. Sayın ve Koç (2011) çalışmalarında, güneş enerjisinin yapılarda kullanımına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada FV sistemlerin yapılarda kullanılarak elektrik tüketimin azaltılabileceği rapor edilmiştir [19]. Shreelakshmi vd. (2013) çalışmalarında, yüksek kazanç ve yüksek verimli çift yönlü dönüştürücü önermişlerdir. Önerilen dönüştürücü bağımsız FV sistem batarya şarj uygulamaları için en iyi seçenek olarak sunulmuştur [20]. Dereli (2013) çalışmasında, düşük maliyetli FV sistem tasarımının olumsuz etkilerini en aza indirecek teknik tasarımını çatı monteli FV sistemleri baz alarak yapmışlardır [21]. Çiftçi vd. (2014) çalışmalarında, Burdur'da güneş pili kullanarak bir evin ortalama elektrik ihtiyacının karşılanması üzerine bir çalışma yapmışlar ve 4 kişilik bir ailenin aylık ortalama elektrik enerjisi tüketimleri ilgili kurumdan temin etmişlerdir. Bu değer baz alınarak bir sistem tasarımı ve ekonomik analizini yapmışlardır [22]. Ekici

ve Gulten (2015) çalışmalarında, 38.4° kuzey enleminde yer alan Elazığ ilinde olduğu varsayılan bir binanın teras çatısında kurulacak şebeke bağlantılı bir FV sistem ile elde edilebilecek elektrik enerjisi potansiyelini değerlendirmişlerdir [23]. Huang vd. (2019) çalışmalarında konut uygulamaları için yüksek verimli ve yüksek yoğunluklu çift modlu çok kademeli düşürücü-yükseltici transformatörsüz tek fazlı FV evirici önermişlerdir. Bu eviricide topolojisinde, regüle edilmiş kaskadlı H köprü çok kademeli evirici regüle edilmemiş bir GaN tabanlı AC yükseltici dönüştürücü ile birleştirilmiştir. Önerilen evirici 8 portlu bir 2 kW'lık FV prototip sistemine uygulanmıştır [24]. Barater vd. (2016) çalışmalarında, izolasyon olmadan şebekeye bağlı FV sistemlerin karşılaştığı ana zorlukları incelemişlerdir. Ayrıca tek fazlı sistemlerin son teknolojik incelemesi gerçekleştirilmiş ve farklı tür dönüştürücü ve farklı FV panel teknolojileri arasındaki eşleşmeye odaklanılmıştır. Yarı iletken cihazlar, FV paneller ve tek fazlı şebekeye bağlı ekipmanlar için uluslararası düzenlemeler incelenmiştir [25]. Manoj vd. (2019) çalışmalarında Malezya Pahang (UMP) Üniversitesinin iki farklı kampüsünde güneş enerjisi santrali geliştirme fizibilitesi analiz etmiş ve Pekan Kampüsünde (Kırsal Kampüsü) ve UMP'nin Gambang kampüsünde (Şehir Kampüsü) 1 MW'lık güneş enerjisi santrali önermişlerdir. Önerilen 1 MWp FV santrali yılda yaklaşık 1390 MWh elektrik üretebilmekte ve yılda 818.71 ton karbondioksit emisyonunu azaltabilmektedir [26]. 2015 yılında Fas'ta yapılan bir çalışmada FV modüllerin MATLAB simülasyonu üzerinde, ışınım ve sıcaklığın düzensiz dağılımı altındaki modül ve dizileri incelemiştir. Modelde, güneş simulatörü vasıtasıyla ölçülen değerler, deneysel olarak kontrol edilmiştir. 25°C sıcaklıkta, 800 W/m², 900 W/m², 1000 W/m², 1100 W/m² ışınım seviyelerinde ölçümler yapılmıştır. Elde edilen en yüksek güç, 1100 W/m² ışınımında 250W olarak ölçülmüştür [27]. Bu çalışmada, şebekeye bağlı ikinci dereceden genelleşmiş integrator (SOGI) tabanlı tek fazlı faz kilitlemeli döngü (PLL) kullanılan tek fazlı evirici sisteminin oransal rezonans (PR) ve histerezis akım kontrolcü (HCC) kullanılarak güç/akım kontrolü yapılmıştır [28].

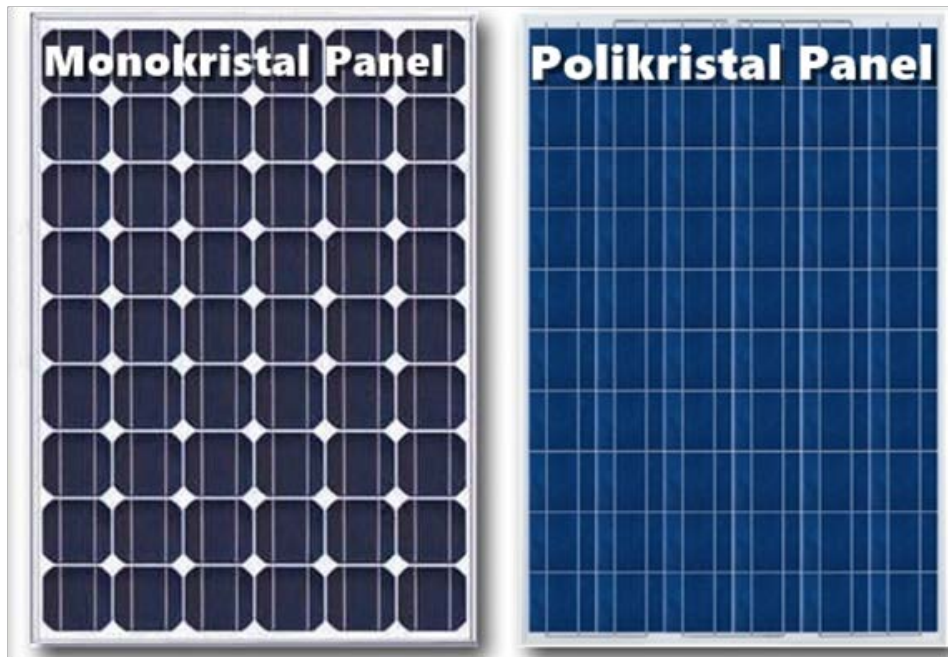
Armakan (2003)'in yaptığı bir çalışmada açık devre bilgisayar kontrollü iki eksenli güneş takip sistemi tasarlanmıştır. Gerçekleştirilen düzeneğin kontrolü için gün boyu güneş takibi yapacak astronomik matematiksel ifadelerle dayalı bir bilgisayar programı geliştirilmiştir [29]. Roth ve ark. (2004) tarafından yapılan bir çalışmada, güneşin yön tayinini yapıp konumunu izlemek için elektromekanik bir sistem

tasarlanmıştır. Bu sayede piranometre ile doğrudan gelen güneş ışınım şiddeti ölçülebilmıştır. Dört kadranlı, ışığa duyarlı sensör ile 2 tane küçük DC motor kullanılarak güneş konumu tespit edilmiştir [30]. Bakos (2006) iki eksenli bir güneş takip sisteminin enerji verimliliğini deneysel olarak incelemiştir. Çift eksenli sistem, güneşe bakarak konumlandırılmış 40° eğim açısına sahip sabit bir panele göre % 46.46 daha verimli çalıştığı sonucuna varmıştır [31]. Abu-Khader ve ark. (2008) yaptıkları bir çalışmada çok eksenli (kuzey-güney, doğu-batı, dikey) bir güneş takip sisteminin deneysel incelemesi yapılmıştır. Deneysel olarak hareketli sistem ile sabit sistem karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda hareketli sistemlerin sabit sistemlere göre % 30-45 oranında daha verimli olduğu tespit edilmiştir [32]. Chin ve ark. (2011) yaptıkları bir çalışmada tek eksenli bir güneş takip sisteminin tasarımı ve bilgisayar ortamında modellenmesi yer almaktadır. Paneli güneş ışınımına dik olarak yöneltmek için panel yüzeyine yerleştirilmiş iki adet LDR kullanılmıştır [33]. Seme ve Stumberger (2011) yaptıkları çalışmalarında güneş açılarına bağlı olarak hareket etme özelliğine sahip iki eksenli bir güneş takip sistemi geliştirmişlerdir. Güneş takibi yapan sistemin en az düzeyde enerji tüketmesi için eğim açısının ve azimut açısının bir optimizasyon tekniği ile kontrol edilmesi sağlanmıştır [34]. Rhif (2012) yaptığı çalışmada kayma kip kontrollü iki eksende sensörsüz, güneş takibi yapan bir sistem tasarlamıştır. Sistemin her yıl boyunca her saniye güneş takibi yapması sağlanarak FV panelin ürettiği enerji miktarı artırılmaya çalışılmıştır [35]. Yang vd. (2014) çalışmalarında, hibrit FV ve rüzgar enerji sistemleri için çok girişli tek fazlı şebekeye bağlı bir evirici önermişlerdir. Eviricide geliştirilmiş uzay vektörlü darbe genişlik modülasyonu tabanlı uyarlamalı akım kontrol algoritması kullanmışlardır [36]. 2013 yılında yapılan bir çalışmada farklı teknolojilerle üretilmiş sabit ve hareketli güneş takip sistemlerinin farklı algoritmalarla güneş takibi yapması üzerine detaylı bir çalışma yapılmıştır. Sistemde PLC tabanlı bir kontrol yapılmıştır [37]. Rizal ve ark. (2013) yaptıkları çalışmalarında güneş takip sistemi için güneş konumu algoritmalarını kullanmışlardır. Bu algoritmaların bilgisayar benzetim sonuçları ile güneşin zenith ve azimuth açısı hesaplanarak FV panellerin uzaktan tek bir bilgisayar tarafından kontrol edilmesine olanak sağlanmıştır [38]. Sohag ve ark. (2015) yaptıkları çalışmalarında hem LDR sensörlü hem de görüntü işlemeli hibrit bir güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Çalışma sonucunda, kamera ile görüntü işleme tekniği ve LDR sensörlü sistemin, sadece LDR sensörlü sisteme göre daha

verimli olduğu grafiklerle gösterilmiştir [39]. Fayhabadi (2016) yaptığı çalışmasında yeni bir yüksek hassasiyetli MPPT tabanlı kapalı çevrim sensörsüz bir çift eksenli güneş takip sistemi tasarlamıştır. MPPT, FV panelin maksimum güç çıkışını vermesini sağlar [40]. 2016 yılında yapılan bir çalışmada İzmir ili koşullarında, çift eksenli takip yapabilen 1 kW'lık FV bir güç sisteminin bilgisayarda benzetim ortamında modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu benzetim ortamında elde edilen veriler, kurulu bir gerçek sistemle karşılaştırılmış ve sonuçları incelenmiştir [41]. 2016 yılında M.A. Jones ve arkadaşları Amerika'da yaptıkları çalışmada, enerji depolama sistemi olmaksızın, tarımsal kullanım amacıyla FV sistemle çalışan su pompalama ve arıtma sisteminin ekonomik analizini incelemişlerdir. Sistemde 15 ile 250 kW arasında değişen FV dizi boyutları ile RO sistem ve orta ölçekli bir pompa üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada sistemin MATLAB programında simule edilmiştir. Modellemede Ürdün'ün güneş ışınım değerleri baz alınmış, 4 farklı evirici kullanarak inceleme yapılmıştır [42]. 2013 yılında Delhi'de yapılan çalışmada FV tabanlı dalgıç su pompasının performans analizini incelenmiştir. 28 Kasım 2012 de yaptıkları ölçümde en yüksek güneş radyasyon değerleri 691 W/m² olarak ölçülmüştür. Elde ettikleri verim ise %7'dir [43].

2.FV PANEL

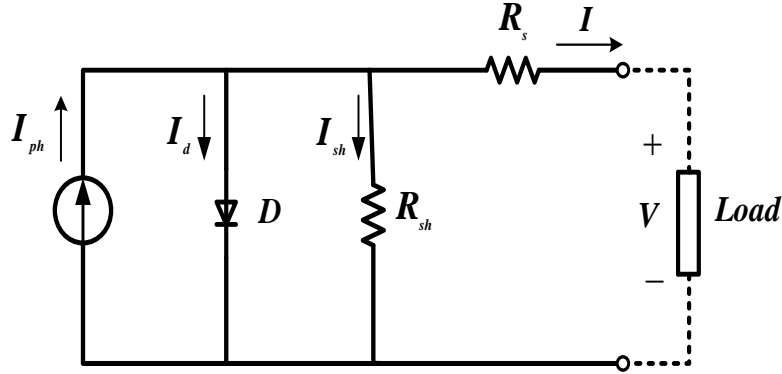
Güneş hücreleri monokristal ve polikristal gibi silisyum tabanlı güneş hücreleri, amorf silisyum, kadminyum tellür ve kadminyum sülfür gibi ince film güneş hücreleri, yığın heteroeklem ve hibrit peroskite gibi organik/inorganik tabanlı güneş hücreleri ve güneş ışığının yoğunlaştırıldığı teknolojide ve uzay uygulamalarında kullanılan GaAs, GaInAs ve GaInP gibi III-V tabanlı güneş hücreleri olmak üzere dört grupta incelenilebilir [44]. Bu hücre tiplerinden Monokristal ve polikristal yapıdaki hücreler pazar payının yaklaşık %93'ne sahiptirler. Monokristal hücrelerin verimi yaklaşık %18-20 arası iken Polikristal hücrelerin verimleri %14-17 arasındadır. Polikristal hücrelerin üretim maliyeti monokristal hücrelere göre daha uygundur. Şekil 2.1'de monokristal ve polikristal güneş pv panelleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Monokristal ve Polikristal FV Paneller

Bir FV panelinin I-V karakteristiğini yeniden üretmek için en yaygın kullanılanlardan biri, bir diyot veya iki diyot eşdeğer elektrik modelidir. Klasik tek diyotlu elektrik modeli genellikle FV hücresinin temel özelliklerini elde etmek için kullanılır. Bu modelde, bir FV paneli Şekil 2.2'de gösterildiği gibi elektriksel eşdeğer devre olarak gösterilmektedir. Bir FV panelindeki fiziksel olayların daha iyi bir modellemesini sunmak için başka modeller geliştirilmiştir [45]. Burada R_s çok küçük

seri dirençtir ve R_{sh} büyük şönt direncidir. D ideal diyottur, I_{ph} yüzey sıcaklığı ve güneşlenme ile orantılı olarak üretilen foto akım kaynağıdır. V ve I sırasıyla FV hücrenin çıkış voltajını ve çıkış akımını temsil eder [46].



Şekil 2.2. Bir FV hücrenin eşdeğer devresi

FV çıkış voltajının bir fonksiyonu olarak çıkış akımı Denklem 2.1 olarak ifade edilir.

$$I \left(1 + \frac{R_s}{R_{sh}} \right) = n_p I_{ph} - n_p I_{sat} \left(e^{\frac{q \left(\frac{V}{n_s} + R_s I \right)}{AKT}} - 1 \right) - \frac{V - n_s}{R_{sh}} \quad (2.1)$$

q temel yük olduğunda ($1.602176565 \times 10^{-19}$), K Boltzmann sabitidir (1.38×10^{-23} J / K), q elektron yükü anlamına gelir, T FV hücrenin sıcaklığıdır, n_s seri sayısıdır hücreler ve n_p , paralel hücrelerin sayısıdır. Hücre doygunluk akımı Denklem 2.2'de verilmiştir.

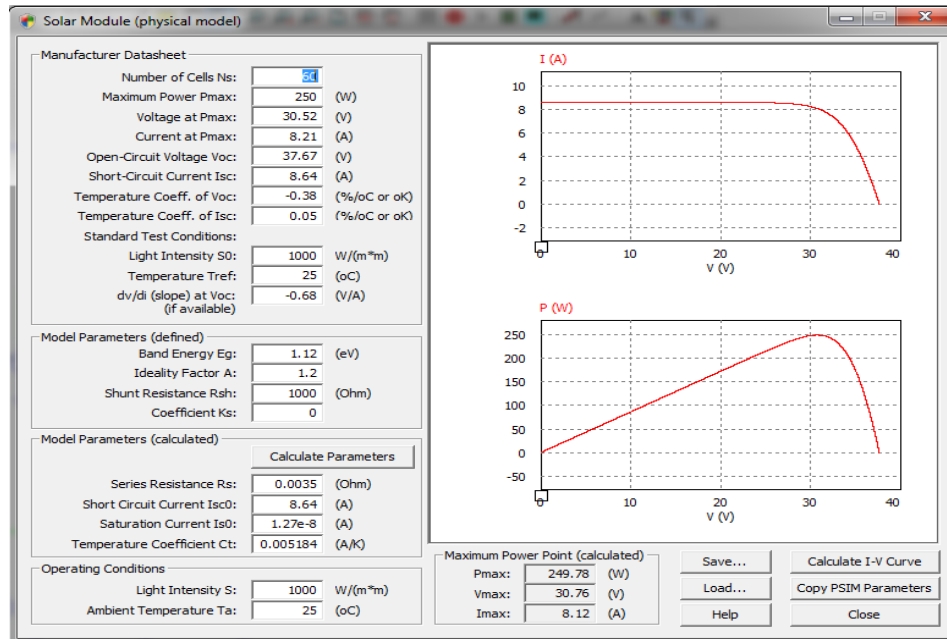
$$I_{sat} = I_{rr} \left(\frac{T}{T_r} \right)^3 e^{\frac{q E_g}{KA} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right)} \quad (2.2)$$

T sıcaklık olduğunda, E_g , her bir FV hücrenin bant enerjisidir (Örneğin, kristal silikon için 1.12 eV) ve T_r , FV hücrenin referans sıcaklığıdır. Denklem 2.3'de hesaplanan I_{ph} , foton akımını temsil eder.

$$I_{ph} = \{ I_{sso} + k_i (T - T_r) \} (S_i / 1000) \quad (2.3)$$

I_{SSO} 'nun kısa devre akımı veya kısa devre akım sıcaklık katsayısıdır ve S , W/m^2 cinsinden ışık yoğunluğu girişi güneş radyasyonu ve referans sıcaklık girişi $25\text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. PSIM paket programı, güç elektroniği ve motor kontrol devrelerinin tasarımında ve simülasyonunda kullanılmaktadır. Güç elektroniği devrelerinin simülasyonunda ve kontrolünde ve analog ve dijital motor kontrolünde hızlı ve doğru sonuçlar sağlamaktadır. FV panelinin fiziksel modeli, Şekil 2.3'de gösterildiği gibi PSIM devresini kullanmıştır.

Işık yoğunluğu ve ortam sıcaklığındaki değişiklikleri hesaba katabilir [47]. Ancak birçok parametre girişi gerektirir. Parametrelerin bazıları üretici veri sayfalarından elde edilebilirken, diğer parametrelerin deneme yanılma yoluyla elde edilmesi gerekir. Foton akımı, diyot doygunluk akımı, seri ve şönt dirençleri ve ideallik faktörü olarak FV panelinin diğer parametrelerini bulma alanı vardır. Şönt direnci R_{sh} , PSIM'e rastgele sağlanır ve ardından PSIM, seri direnci R_s 'yi otomatik olarak hesaplar. Bu model aynı zamanda ışık şiddeti seviyesi ve ortam sıcaklığındaki değişimi de hesaba katar.



Şekil 2.3. PSIM'deki FV panelinin fiziksel modeli

3. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI ALGORİTMALARI

FV sistemin çıkış gücü, güneş ışınlarının panel yüzeyiyle yaptığı açı ve panel sıcaklığı ile değişim göstermektedir. Düşük ışınım şiddetlerinde elektrik enerjisi çevrimi ve üretilen enerji miktarının değişen hava koşullarına bağlı olarak artış veya azalış göstermesi FV sistemlerin önemli problemlerindendir [48].

Güneş panellerinden maksimum enerji elde edilebilmesi için güneş ışınımının güneş paneli üzerine dik düşmesi gerekmektedir. Güneş panellerinden maksimum güç elde edebilmek için panellerin güneş yörüngesini takip etmesi gerekir. Bu yüzden güneş takip sistemleri geliştirilmiştir [48]. FV sistemler üzerine yapılan araştırmaların büyük bir çoğunluğu verimliliğinin artırılmasını kapsamaktadır. FV sistemden alınan gücün maksimum seviyede tutulması FV sistem verimini doğrudan etkilemekte ve yükseltmektedir [49]. Maksimum güç noktası (MPP) tekniği gerçekte, PWM yönteminin geliştirilmiş bir yapısıdır ve MPP algoritması yardımı ile PWM ile DC-DC çevirici kontrol edilmektedir [50].

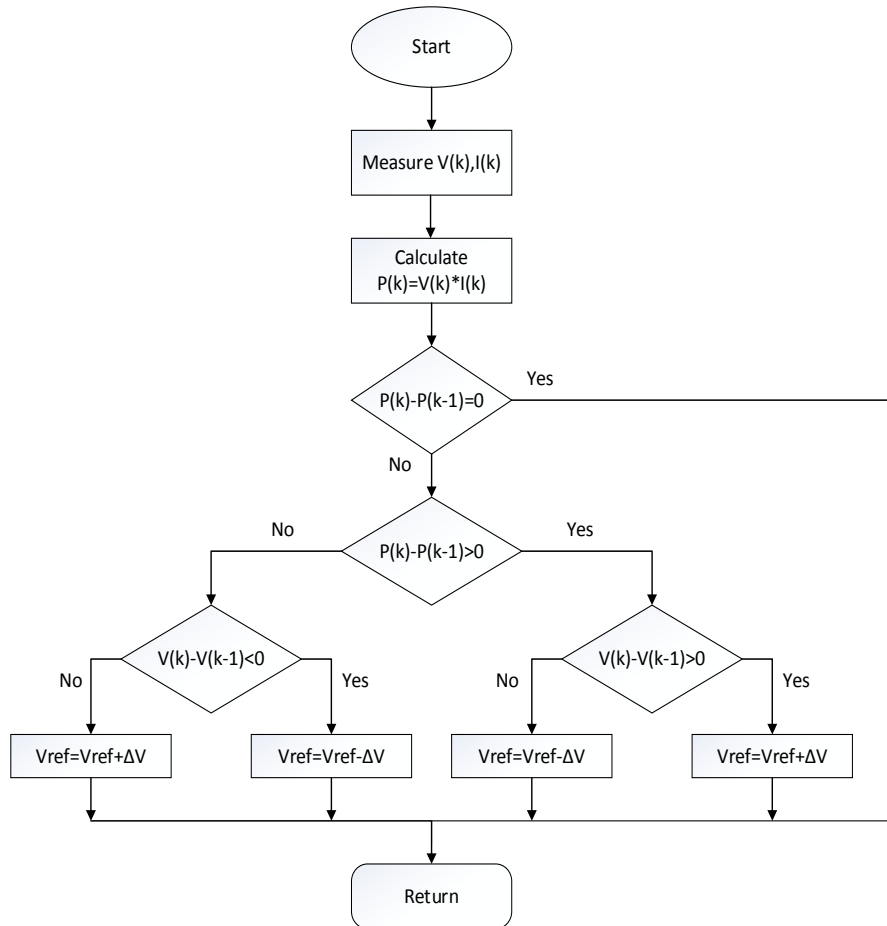
FV sistemlerde üretilen güç yük talebi ile uyuşmadığında verim kaybı ortaya çıkmaktadır. Bu sorunu önlemek için FV sistemin maksimum güç noktasında çalıştırılması gerekir. Panel sıcaklığı ve ışınım yoğunluğundaki değişiklikler maksimum güç noktasını etkilemektedir. FV sistemin çalışma noktasından kaynaklanan kayıpları önlemek için bir maksimum güç noktası izleyicisinin kullanılması önem arz etmektedir.

FV sistemlerde maksimum güç noktası takibi için literatürde farklı algoritmalar kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan algoritmalar sabit gerilim algoritması (SG), kısa devre akım algoritması (KDA), açık devre gerilim algoritması (ADG), değiştir-gözle algoritması (D&G) ve artan iletkenlik (Aİ) algoritmasıdır [51]. Bu klasik algoritmalara alternatif olarak bazı akıllı algoritmalar da literatürde kullanılmaktadır. Bu algoritmalar yapay sinir ağları (YSA), bulanık mantık (BM), parçacık sürü optimizasyonu (PSO), karınca koloni (KK) algoritmasıdır [52].

3.1. Değiştir-Gözle Algoritması (D&G)

Değiştir-Gözle algoritması en çok kullanılan algoritmalarından birisidir. Değiştir-Gözle algoritması dalgalanan (artan veya azalan) FV panel gerilimi veya akımını aralıklarla değiştirir ve FV çıkış gücünü bir önceki güç değeri ile karşılaştırarak çalışır. FV panel çalışma gerilimi değişir ve eğer güç yükselirse kontrol sistemi FV çalışma

noktası bu yönde değişir aksi takdirde çalışma noktası ters yönde hareket eder. Sonraki çevrimde algoritma aynı şekilde devam eder. Bu algortmada, FV çıkış gücü sürekli olarak izlenir ve kontrol değişkeninin hareketi ile gücün hareketi arasında bir bağlantı kurulur ve referansın azaltılmasına veya arttırılmasına karar verilir. Atmosfer koşullarındaki hızlı değişimlere yavaş tepki vermesi, ani değişimler meydana geldiğinde maksimum güç noktasını yanlış yönde bulması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Sistem sürekli göz değiştirdiği için MPP'ye ulaştığında burada sabitlenmez. MPP çevresinde salınım yapmaya devam eder ve sistemde bir miktar güç kaybı meydana gelir [51]. D&G algoritmasının amacı FV sistemin maksimum güç ürettiği V_{mpp} ve I_{mpp} noktalarını tespit ederek sistemin bu noktada çalışmasını sağlamaktır. Şekil 3.1'de D&G algoritması gösterilmektedir.



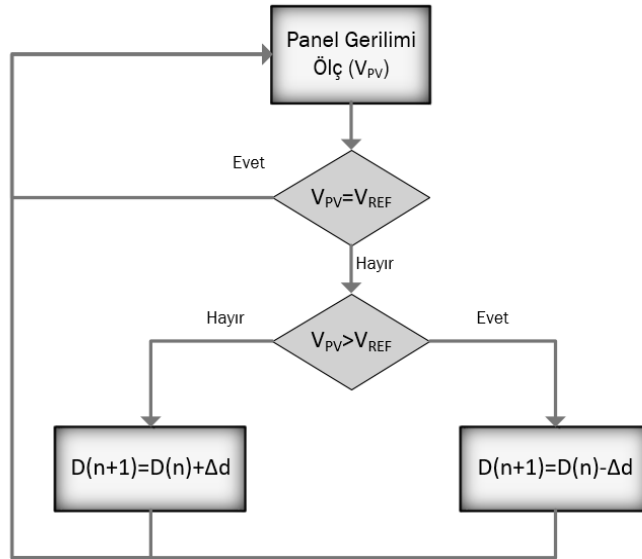
Şekil 3.1. D&G algoritması blok şeması

3.2. Sabit Gerilim Algoritması

Sabit gerilim (SG) algoritması, maksimum güç noktasındaki gerilim ile açık devre gerilimini arasındaki oranın yaklaşık sabit olduğu esasına dayanmaktadır.

$$\frac{V_{max}}{V_{AD}} \cong K < 1 \quad (3.1)$$

SG algoritmasında FV paneli geçici olarak MPP noktasından ayrılarak açık devre gerilimi ölçülür ve Denklem 3.1'den MPP gerilimi hesaplanır. Hesaplanan bu değere panel gerilimi ayarlanarak MPP' de çalışma sağlanmış olur. Bu işlem periyodik olarak tekrarlanarak MPP'nin pozisyonu sürekli takip edilmektedir. Bu yöntem oldukça basit olmasına rağmen, K sabitinin optimal değerini belirlemek zordur. Literatürde K değerinin %73-80 arasında değiştiği ortaya konulmuştur [53]. Şekil 3.2'de SG algoritması gösterilmektedir.



Şekil 3.2. SG algoritması blok şeması

3.3. Kısa Devre Akım (KDA) Algoritması

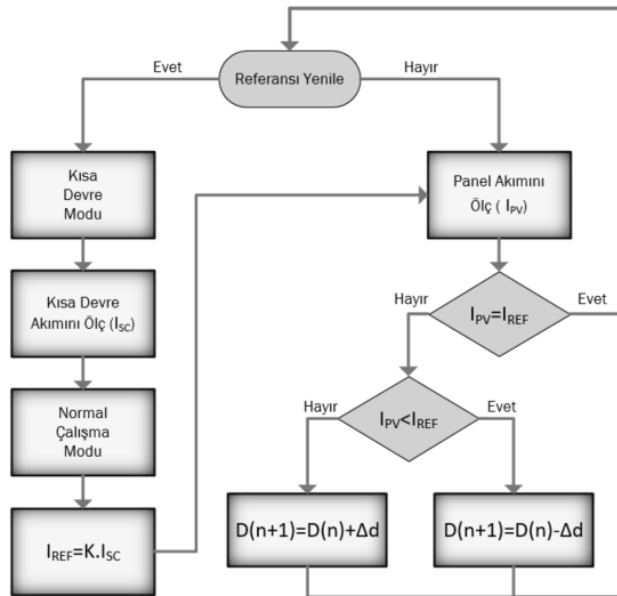
Kısa devre akım algoritmasında, FV panel kısa devre akımı akım kontrollü güç dönüştürücüsü ile MPP akımına yükseltilir. Maksimum çıkış gücü için optimum çalışma akımı, çeşitli ışınım seviyesi koşullarında kısa devre akımı ile orantılıdır.

$$I_{MPP}(E) = k \cdot I_{SC}(E) \quad (3.1)$$

Denklem 3.2 kullanılarak MPP akımı kısa devre akımının ölçülmesi ile elde edilmekte ve akım denetimli dönüştürücünün referans değeri bulunmaktadır.

$$I_{REF} = I_{MPPT} \quad (3.2)$$

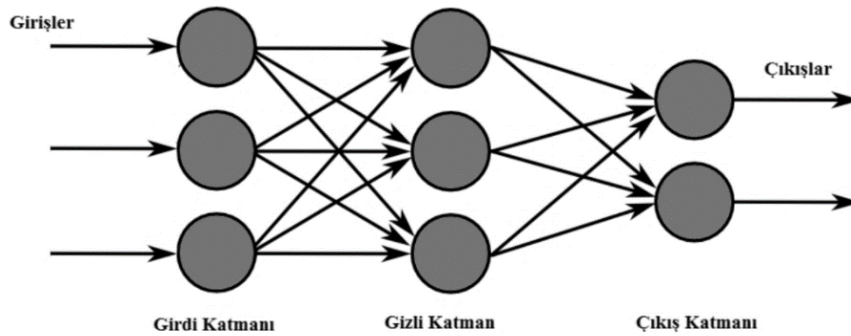
Kısa devre akım algoritması basit ve karmaşık devreler gerektirmeyen yapıda olmasına rağmen kısa devre akımının ölçülmesi gerekmektedir. Bu esnada enerji kaybı olmakta, k sabiti FV panel yüzeyinde meydana gelebilecek kirlilik nedeniyle doğru belirlenmemektedir [54].



Şekil 3.3. KDA algoritması blok şeması

3.4. Yapay Sinir Ağları (YSA) Algoritması

YSA, insan beyninin yani insan beyninin çalışma sisteminin düşünme, karar verme, öğrenme, tanıma ve diğer işlevlerinin yapay olarak modellenmesinin sonucudur. Bu modeller, beyindeki nöronların birbirine bağlanması ve farklı seviyelerde etkileşime girmesiyle oluşan karmaşık sistemlerin modelleri olarak düşünülebilmektedir [54]. Basit bir sinir ağı, bir giriş katmanı, bir gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşmaktadır. Girdi katmanındaki veriler, ağırlıklar çarpılarak ve bias düğümleri eklenerek toplanır. Daha sonra belirlenen aktivasyon fonksiyonu ile eğitilmekte ve çıkış değeri elde edilmektedir.



Şekil 3.4: Yapay sinir ağlarının temel yapısı

Gizli katmanların ve nöronların sayısı, problemin karmaşıklığına göre belirlenmektedir. Gizli katmanın yapısı ve sinir ağının eğitimi, yapay sinir ağının performansını belirlemektedir [55]. İlk aşamada problemin giriş ve çıkışı belirlenmeye çalışılır. Problem çözme sürecinde ne kadar girdi ve çıktı verisinin kullanılacağına karar verilir. İkinci aşamada eğitim için kullanılan yapay sinir ağının türü, gizli katmanların olup olmadığı, kaç nöronun kullanılacağı, aktivasyon fonksiyonu olarak hangi fonksiyonun kullanılacağı gibi tasarım parametreleri belirlenmektedir. Üçüncü adımda, girdi verilerine karşılık gelen çıktı verilerini içeren eğitim ve test verileri hazırlanmaktadır. Veriler ile YSA eğitilir. Gerçek değer ile YSA verisi karşılaştırılarak tahmin hatası belirlenmektedir. Sonrasında, eğitilen ağın genelleştirilmiş özelliklere sahip olup olmadığını test edilir ve ağın hafızaya alınıp alınmadığını kontrol etmek için ikinci test verileri kullanılır. Bu aşamaları başarıyla geçen ağ tahmin hatası da belirli bir noktada iyileştirilir ve ardından gerekli sorunu çözmeye hazır hale gelir. Bir FV

sistemde MPP'nin giriş verileri ışınım ve sıcaklık gibi veriler olabilirken çıkış verileri dönüştürücünün görev döngüsü, FV çıkış akımı veya gerilimi olabilir. MPP takibi, eğitime işlemi ile doğru bir şekilde gerçekleştirilebilir. Yapay sinir ağlarının dezavantajı, ayrı bir veri seti ve eğitim süreci gerektirmesidir [56].

3.5. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) Algoritması

PSO, çok parametrelili doğrusal olmayan problemleri çözmek için kuş sürüsünün yiyecek arama davranışından ilham alan bir optimizasyon tekniğidir. PSO'da bir soruna çözüm bulmakla, en yakındaki kuşu referans alarak bilmediği yiyecekleri elde etmeye çalışmak arasında benzerlikler bulunmaktadır. Her kuşa parçacık adı verilmekte ve her parçacığın konumu bir fonksiyonda saklanmakta ve parçacığın yiyeceğin konumuna göre uygunluğu ölçülmektedir. Aynı zamanda her parçacığın hafızasında o konuma gelmeden önce kendi hızını, konumunu ve durumunu koruması gerekmektedir. Çünkü bir sonraki en iyi çözüm, parçacık bilgisi gerektirir. Rastgele bir çözümle başlanır ve en iyi çözüme ulaşmaya çalışılarak güncellenmeye devam edilir. Parçacık konumu, her yinelemede "pbest" ve "gbest" içindeki en iyi değere göre güncellenmektedir. "gbest", popülasyonda o ana kadar elde edilen en iyi değerdir ve "pbest", parçacığın o anda ulaştığı en iyi çözümü temsil etmektedir. "pbest" ve "gbest" için en iyi değerler bulunduktan sonra, Denklem 3.4 ve Denklem 3.5 kullanılarak konumu ve hızı güncellenir.

$$V_i^{k+1} = V_i^k + c_1 \cdot rand_1^k \cdot (pbest_i^k - x_i^k) + c_2 \cdot rand_2^k \cdot (gbest^k - x_i^k) \quad (3.4)$$

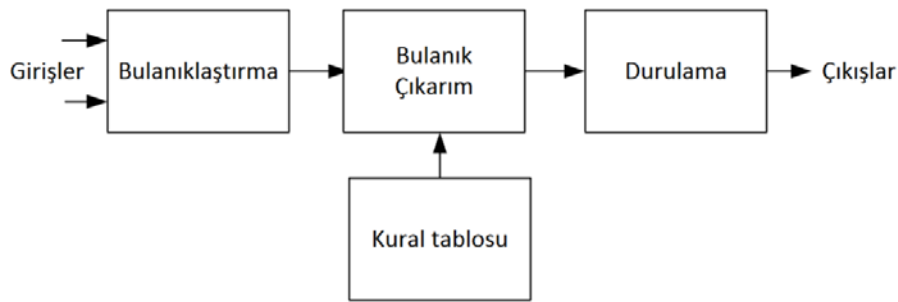
$$x_i^{k+1} = x_i^k + V_i^{k+1} \quad (3.5)$$

Bunlardan c_1 , kendi deneyimlerine göre hareket eden parçacıkların öğrenme faktörü, c_2 ise gruptaki diğer parçacıklara göre hareket etmenin öğrenme faktörüdür [56]. MPP takibinde, dönüştürücünün görev döngüsü vektörde tanımlanır ve ilk iterasyon için başlangıç parçacığı olarak seçilir. "pbest" ve "gbest" hesaplandıktan sonra parçacıkların yeni konumlarını güncellenip, dönüştürücünün yeni görev döngüsü

belirlenir ve maksimum güç noktasına ulaşılır. Görev döngüsü sürekli tekrarlanarak maksimum güç noktasında kalınmaktadır [57].

3.6. Bulanık Mantık (BM) Algoritması

Belirsizliğin varlığının kesin ve doğrusal olmayan ifadesi, bulanık mantığın (BM) başlangıç noktasını oluşturmaktadır. Sayısal sensörlerden alınan veriler ya da veya sistem uzmanlarının dil komut ve talimatlarına doğrultusunda matematiksel model gerektirmeksizin, düşünme ve karar verme mekanizmasının modellenmesidir. Şekil 3.5'den görüldüğü gibi BM kontrolün genel çalışma yapısı bulanıklaştırma, veri tabanı ve kural tablosunun oluşturulması, bulanık çıkarım ve durulama aşamalarından oluşmaktadır.



Şekil 3.5. Bulanık mantık kontrolün temel yapısı

Bulanıklaştırma aşamasında gerçek giriş veri setleri dilsel değerlere dönüştürülmektedir. Uzmanların deneyimlerinden yararlanılarak içinde denetim kurallarını barındıran “Eğer $A=x$ ve $B=y$ ise O halde $C=z$ ” formunda mevcut kontrol parametrelerine göre kural tabanı oluşturulmaktadır. Giriş ve çıkışlar arasında ki bağlantıların sonuçları, kural tabanına dayanan bir mantıksal karar verme mekanizması ile formüle edilerek yaklaşık çıkarım sağlanmaktadır. Ardından bulanık çıkarım biriminden gelen bulanık veriler sistemin tanıyabileceği gerçek çıkış değerlerine dönüştürülerek sistemin kontrol ve denetimi sağlanmaktadır.

Sürekli değişen atmosfer koşullarında iyi sonuçlar verdiği için literatürde birçok FV uygulamasında bulanık mantığa dayalı maksimum güç noktası izleme uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık kontrolün çıkışı kural tabanı tablosuna göre dönüştürücünün görev oranına bağlı olarak değişmektedir. Durulama aşamasında dilsel

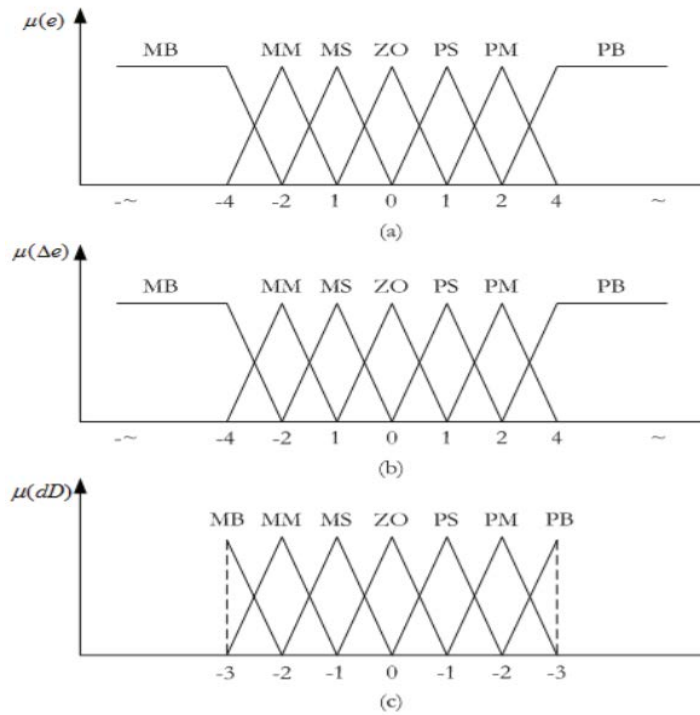
değişkenler üyelik fonksiyonundan yararlanılarak nümerik değişkenlere dönüştürülmektedir. Bu ise MPP takibi yapılabilmesi için analog sinyallerle dönüştürücünün MPP'de kontrolü anlamına gelmektedir [58].

BM kontrolün matematiksel model gerektirmemesi, lineer veya lineer olmayan sistemlerin kontrolüne ve paralel işlemlerine kontrolüne uygun olması, kontrol mekanizmasının insanları taklit etmesiyle anlaşılmasının kolay olması bu algoritmanın avantajlarıdır. Bu avantajlarından dolayı literatürde BM ile birçok maksimum güç noktası takibi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık sistemine (BMS) dayalı olarak, bulanık mantık kontrolüyle MPP yöntemi dört ayrı bölümden oluşmaktadır: Bu bölümler bulanıklaştırma, kural tablosu, bulanık çıkarım ve durulamadır. Giriş sinyali, FV çıkışından ölçülmekte ve ardından BMS' de sinyal kontrolü oluşturmak için işlenmektedir. İşlemden giriş sinyali ve çıkış sinyalinin her biri, bir veya daha fazla değişkenlerle tanımlanmaktadır. Genel olarak BMS kullanılan MPP algoritmasında iki giriş değişkeni, hata(e) ve hata değişimi (Δe) ve bir çıkış değişkeni bulunmaktadır. Bu iki giriş değişkeni Denklem 3.6 ve Denklem 3.7'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$e(k) = \frac{P_p(k) - P_p(k-1)}{I_p(k) - I_p(k-1)} \quad (3.6)$$

$$\Delta e(k) = e(k) - e(k-1) \quad (3.7)$$

$P_{pk}(k)$ ve $I_{pk}(k)$ sırasıyla FV modülün gücü ve akımıdır. Bu nedenle küçük bir salınım ile hızlı ve karalı bir yakınsama elde edilebilmektedir. Çıkış değişkeni, görev döngüsü adımı çıktısı dD ile ifade edilmektedir.



Şekil 3.6. (a) e girişi, (b) $e\Delta$ girişi ve (c) dD çıkışı

Bu iki girdi ve çıktı değişkeni bulanık alt küme olarak temsil edilebilir. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi her bulanık küme için PB (plus big), PM (plus medium), PS (plus small), ZO (zero), MS (minus small), MM (minus medium), MB (minus big) gibi dilsel değerleri açıklayan giriş ve çıkış değerleri için yedi adet basit bulanık altküme bulunmaktadır. Bulanık kurallar MPP'nin kararlı durumunda sıfır hataya ulaşmak için tasarlanmıştır. Tablo 3.1'de görüldüğü gibi amaç çalışma noktasını azaltarak ya da arttırarak MPP'ye ulaşmaktır. Eğer çalışma noktası MPP'den uzak olursa çalışma oranı büyük oranda arttırıl veya azaltılır. Kurallar tablosunda hata(e) ve hata değişikliği (Δe)'nin yedişer değişkene sahip olması nedeniyle bulanık sistem aşağıdaki gibi 49 kurala sahiptir.

Kural¹: e MB ve Δe ML olduğunda $dD = MB$

Kural²: e MM ve Δe ML olduğunda $dD = MB$

Kural³: e MS ve Δe ML olduğunda $dD = MB$

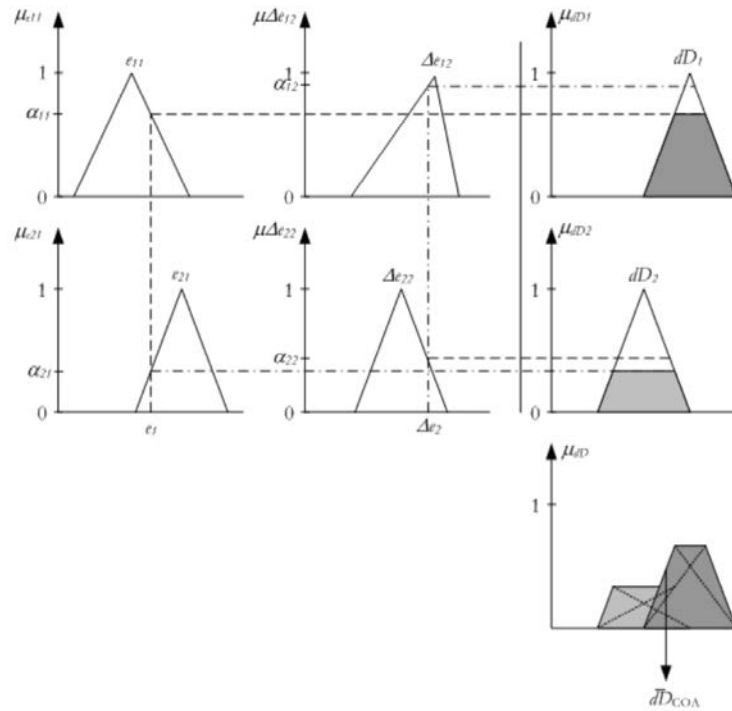
...

Kural⁴⁹: e PB ve Δe PB olduğunda $dD = PB$

Tablo 1: Bulanık Kurallar

$\begin{matrix} e \\ \Delta e \end{matrix}$	ML	MM	MS	ZO	PS	PM	PB
MB	MB	MB	MB	MB	MM	MS	ZO
MM	MB	MB	MB	NM	MS	ZO	PS
MS	MB	MB	MM	MS	ZO	PS	PM
ZO	MB	MM	MS	ZO	PS	PM	PB
PS	MM	MS	ZO	PS	PM	PB	PB
PM	MS	ZO	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB

Çıkarımın çıktısını elde etmek için birçok yöntem araştırmacılar tarafından önerilmiştir. Bilinen bazı yöntemler Mandani, Sugeno, Larsen'dir. Mandani aralarından en yaygın kullanılan yöntemdir ve Şekil 3.7'de gösterilmektedir.

**Şekil 3.7.**Mandani'nin COA bulanıklaştırma ile çıkarım yöntemi

Bulanık mantığın çıktısı, bulanık bir kontrol alt kümesidir ve net değere dönüştürülmelidir. Çıkış sinyali dD aşağıdaki denklem 3.8 kullanılarak hesaplanmaktadır. dD değeri PWM sinyallerinin döngüsünde bir öncekine eklenen görev döngüsüdür [59].

$$dD = \frac{\sum_{k=1}^I dD_k \mu_{dD}(dD_k)}{\sum_{k=1}^I \mu_{dD}(dD_k)} \quad (3.8)$$

3.7. Faz Kilitlemeli Döngü (PLL)

Eviricide kontrol sisteminin şebeke senkronizasyonu için şebeke gerilimini izleyen faz kilitlemeli döngü (PLL) kullanılabilir. İdeal tek faz kilitlemeli döngünün (PLL); harmonik, gerilim düşmesi-yükselmesi, dengesizlik ve giriş işareti bozulmalarının diğer türlerinde hızlı ve doğru senkronize bilgi vermesi beklenir. Sistemdeki alçak geçiren filtre PLL de zaman gecikmesi yapabilmektedir. Bunun için filtre değerleri küçük seçilmelidir.

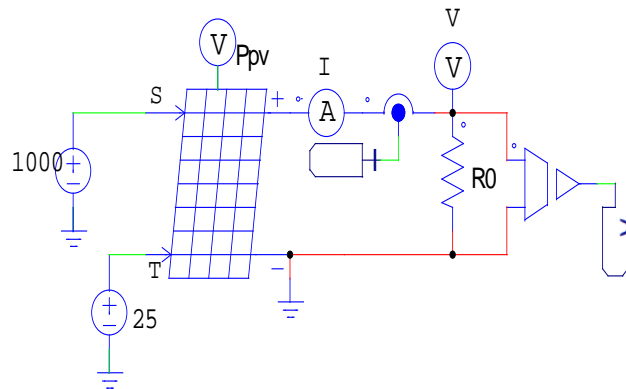
Şebeke bağlantısında karşılaşılan sorunlardan birisi de mevcut şebekenin faz açısıyla üretilen enerjinin faz açısıdır. Eviricilerde üretilen enerjinin şebekeye uygun hale getirilerek minimum THD ve faz kayması ile AC şebekeye aktarılması amaçlanmaktadır. Şebekenin faz açısı ve frekans eşitliği kısmı ise tasarlanan PLL kontrolcüsü yardımıyla yapılmıştır. Eviricilerde kullanılan SDGM yönteminde bir sinüs-kare dalga oluşturulmak için, sinüs ve üçgen işaretleri karşılaştırılmaktadır. Burada üçgen sinyalin frekansı eviricinin anahtarlama frekansını belirlemekte, sinüs sinyalinin frekansı ve faz açısı ise evirici çıkış geriliminin frekansını ve faz açısını belirlemektedir. Buradan yola çıkılarak tasarlanan PLL kontrolcüsünde sinüs işareti yerine şebeke referans alınarak evirici çıkış geriliminin frekansı ve faz açısı şebeke geriliminin frekansına ve faz açısına eşitlenmiştir. Sistemde hem PI kontrolcü hem de PLL kontrolcü devrededir. PI kontrolcü sistemin hem 220 V şebeke değerine eşitlenmesinde hem de faz açısı ve frekans eşitliğinin tepki sürelerini kontrol etmektedir. PLL kontrolcü ise sistemin faz açısı ve frekans eşitliğini kontrol etmektedir [54]. PLL kontroldeki PI kazancı 1, zaman sabiti 0.01'dir. Eviricilerde kullanılan Trial-Error algoritmasındaki PI değerinde integral kazancı 120, zaman sabiti 0.1'dir. Referans sinyali 30000 Hz, maksimum 1 V'dir.

4. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

FV güneş enerjisi santrallerinin ve şebekenin çeşitli işletme koşulları altında şebekeye etkilerinin belirlenmesi amacıyla santral modellemeleri ve benzetimleri yapmak son derece önemli olmaktadır.

4.1.FV Panellerin Farklı Direnç ve Farklı Işınım Altında Modellenmesi

Şekil 4.1, farklı seri direnç bozulma modu ve sağlıklı durum modu için kullanılan PSIM simülasyon devresini göstermektedir. Kullanılan FV panelin parametreleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Simülasyon devresinde standart test koşulları STC altında ışık yoğunluğu 1000 W/m_2 , referans sıcaklık 25°C 'dir. Simülasyon dört seri direnç değeri için yapılmıştır ($R_s = 0.0035\Omega$, $R_s + 50\%R_s = 1.5R_s = 0.00525\Omega$, $R_s + R_s = 2R_s = 0.007\Omega$ and $R_s + 2R_s = 3R_s = 0.0105 \Omega$).

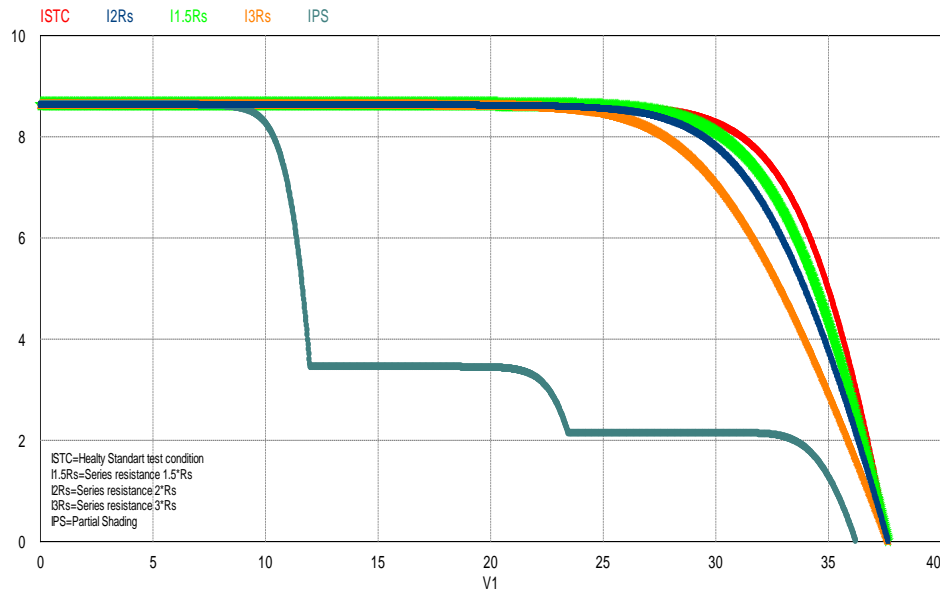


Şekil 4.1. Farklı seri direnç ve sağlıklı durum için kullanılan PSIM simülasyon devresi

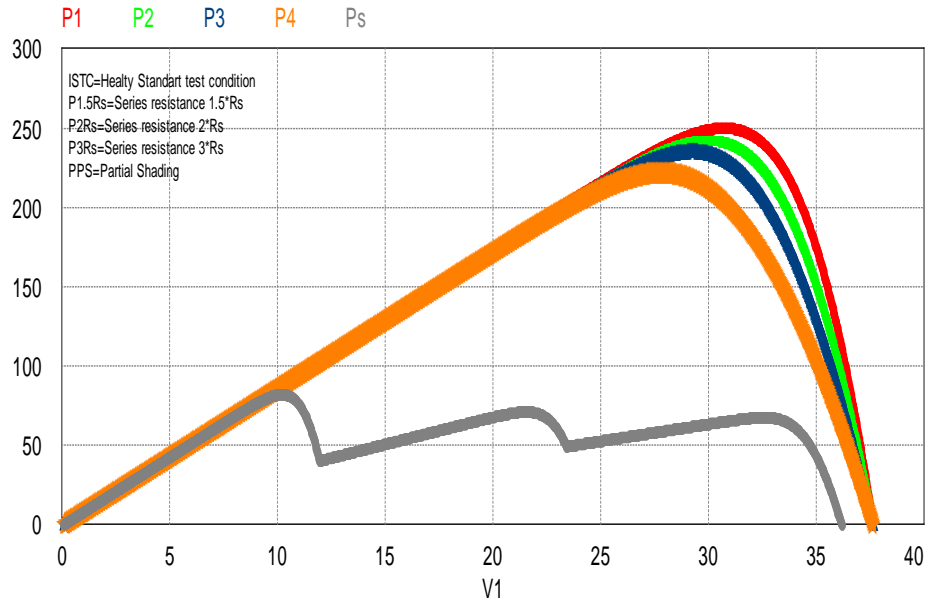
FV'ler de farklı direnç değerlerinin I-V eğrisi üzerindeki etkilerini göstermek için, FV panele farklı direnç ve farklı ışınım uygulanmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 4.2'de verilmiştir. Seri direnç değeri çok küçük olduğu için bazı durumlarda ihmal edilebilir. Ancak FV panelin çıkış gücü ve açık devre gerilimine etkisi olduğu için direnç arızalarının belirlenmesi önemlidir. Seri dirençteki azalmalar, I-V eğrisinde açık devre voltajı V_{oc} düşüşüne neden olur.

Tablo 4.1. FV panel parametreleri

FV Panel		
Hücre sayısı	N_s	60
Işınım miktarı	S	1000W/m ²
Referans sıcaklık	T_{ref}	25°C
Seri direnç	R_s	0.00335Ω
Paralel direnç	R_{sh}	1000 Ω
Kısa devre akımı	I_{sc0}	8.64*4 A
Doyum akımı	I_{s0}	1.27e ⁻⁸ A
Band enerjisi	E_g	1.12
İdeal faktör	A	1.2
Sıcaklık katsayısı	C_t	0.005184
Katsayı	K_s	0
Maksimum güç	P_{max}	250W
P_{max} noktasındaki akım	I_{mpp}	8.21A
P_{max} noktasındaki gerilim	V_{mpp}	30.52
Kısa devre akımı	I_{sc}	8.64 A
Açık devre gerilimi	V_{oc}	37.67 V

**Şekil 4.2.** Farklı direnç ve farklı ışınım altında I-V eğrileri

Şekil 4.3, farklı R_s değerleri için P-V eğrilerini göstermektedir. Şekil 4.3'de gösterildiği gibi, seri direncin değişimi, maksimum güç noktasının sapmasına neden olmaktadır.



Şekil 4.3. Farklı direnç ve farklı ışınım altında P-V eğrileri.

4.2.FV Panellerin Farklı Işınım ve Farklı Sıcaklık Altında Modellenmesi

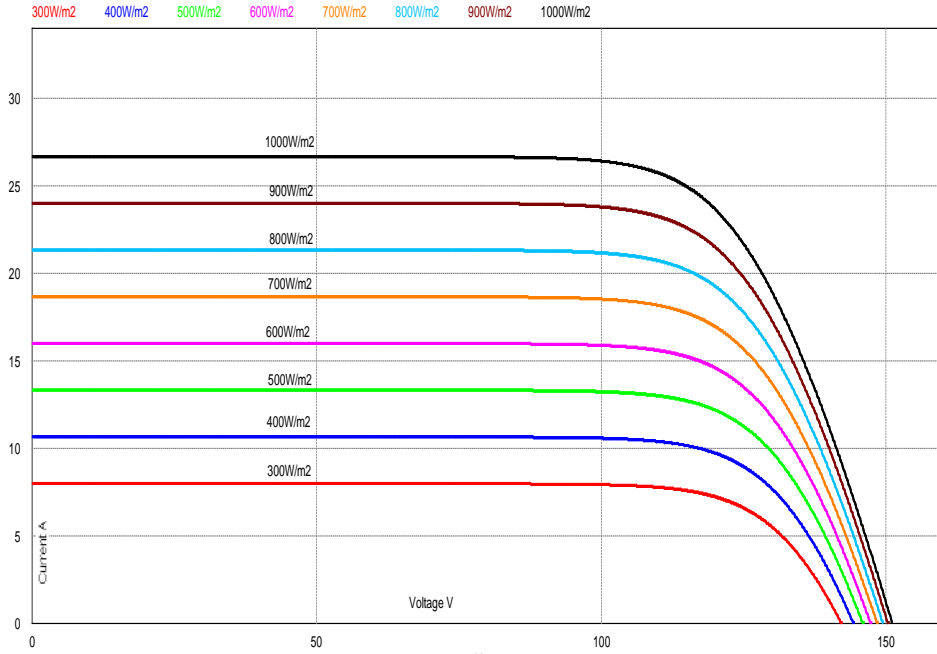
Yapılan çalışmada 4 panelin seri ve 3 panelin paralel bağlanmasıyla 3×4 FV güç sistemi oluşturulmuştur. Sistemden elde edilen çıkış gücü 3060 W, açık devre voltajı 151,2 V ve kısa devre akımı 26,85A'dır. Çalışmada kullanılan FV sistem parametreleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. 3.06 kW'lık FV sistem parametreleri

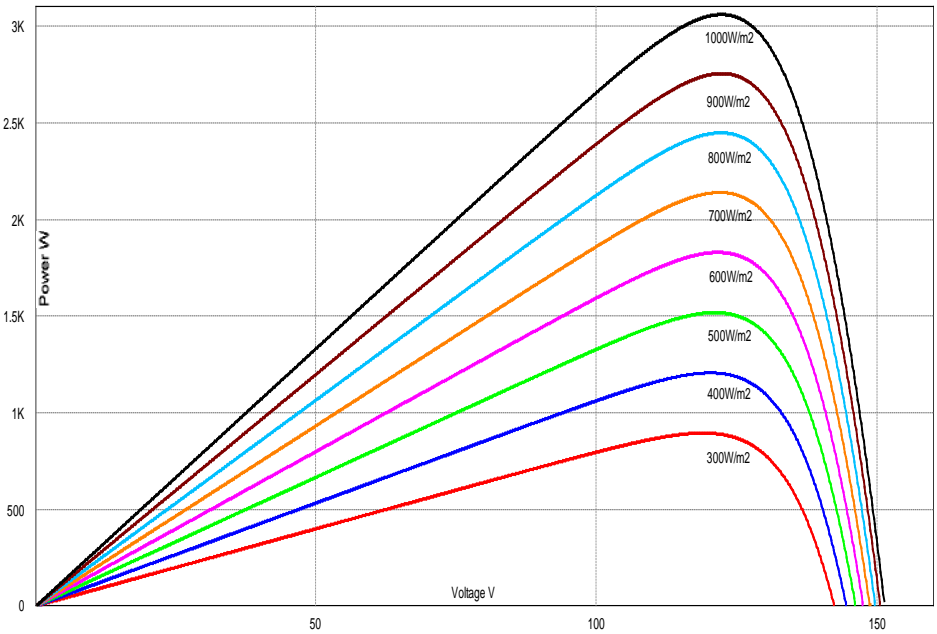
Parametreler	Değeri
Maksimum güç, P_{max}	3060W
P_{max} noktasındaki akım I_{mpp}	24.96A
P_{max} noktasındaki gerilim V_{mpp}	122.6V
Kısa devre akımı, I_{sc}	26.85 A
Açık devre gerilimi, V_{oc}	151.2 V

Farklı ışınım değerleri için I-V Şekil 4.4'de ve P-V eğrileri Şekil 4.5'de gösterilmektedir. Şekilden görülebileceği gibi, ışınım değeri azaldığında ve sıcaklık değeri 25 °C'de sabitlendiğinde, FV panel kısa devre akımının değiştiği görülmektedir.

Bununla birlikte, ışınım 300'den 1000'e çıktığında, gerilim yalnızca 1V artar. Bu nedenle, ışınımdaki azalma, FV panelinin kısa devre akımını büyük ölçüde değiştirir.



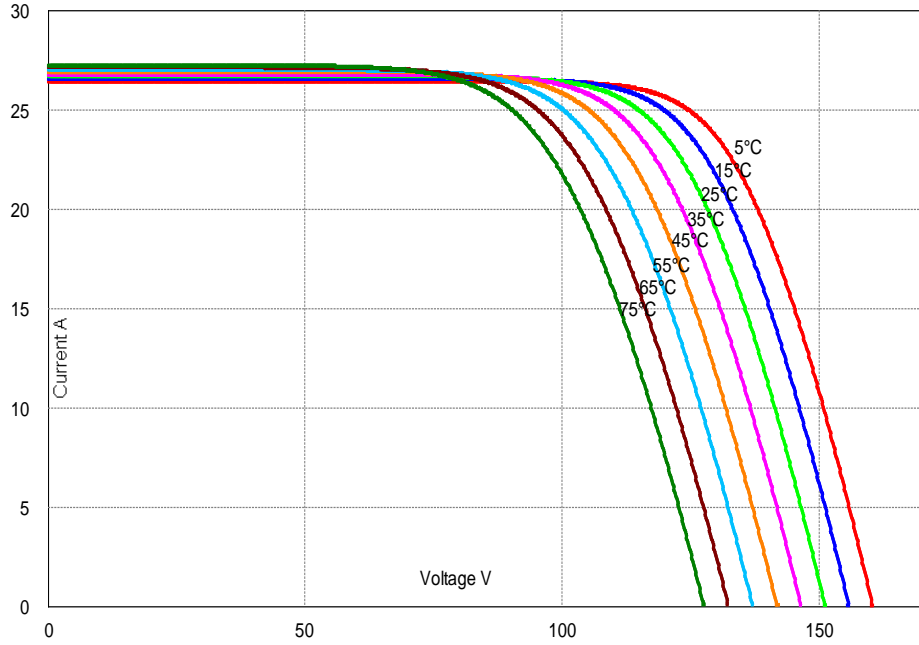
Şekil 4.4. FV panelin ışınım değişiminden elde edilen I-V eğrileri



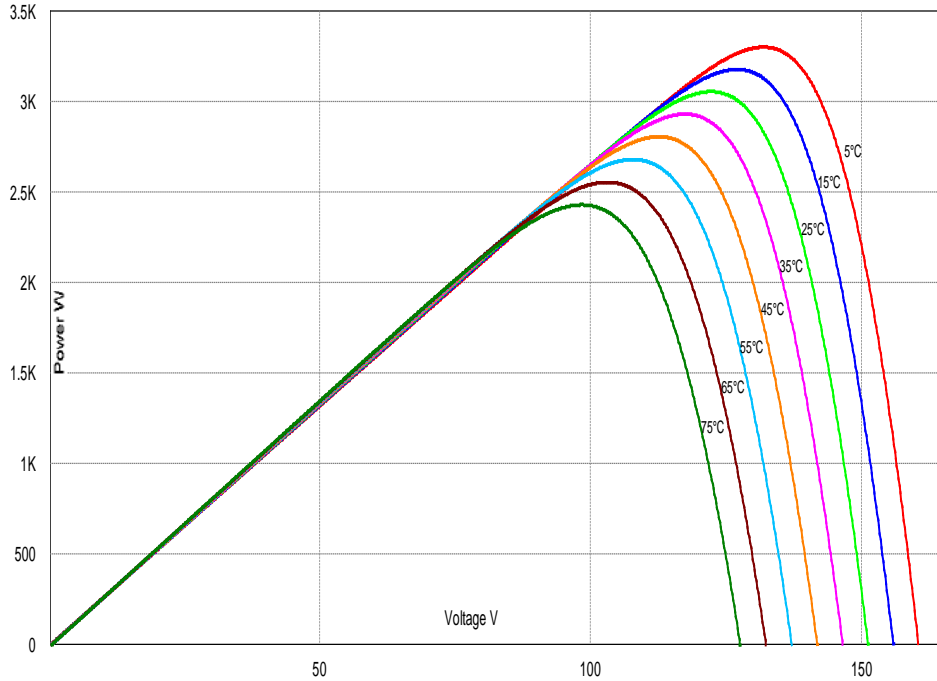
Şekil 4.5. FV panelin ışınım değişiminden elde edilen P-V eğrileri

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7, sıcaklık değeri değiştiğinde elde edilen I-V ve P-V eğrilerini göstermektedir. Şekilde gösterildiği gibi, genel olarak, güneş ışınımı 1000'de

sabit olduğunda, FV panel sıcaklığı yükselirse, açık devre gerilimi azalır ve kısa devre akımı çok az artar. Bu nedenle, FV panelinin açık devre gerilimi, sıcaklık değiştiğinde çok fazla değişmektedir.



Şekil 4.6. FV panelindeki sıcaklık değişiminden elde edilen I–V eğrileri



(b)

Şekil 4.7. FV panelindeki sıcaklık değişiminden elde edilen P–V eğrileri

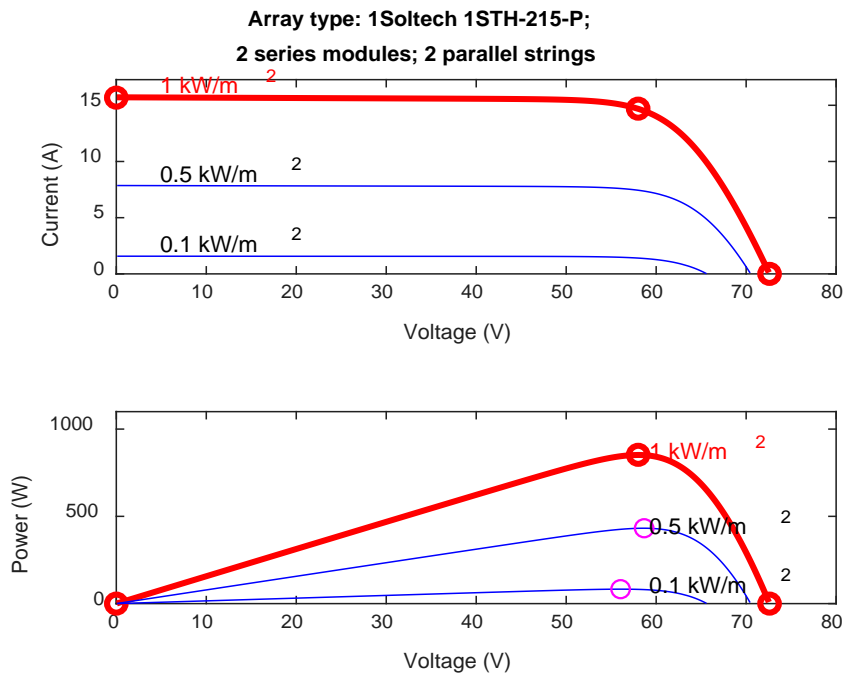
4.3.FV Girişli DA/DA Yükselticinin Değişir-Gözle Algoritması Kullanılarak

Modellenmesi

Bu çalışmada şebekeye bağlı FV panel farklı ışınım değerleri için MATLAB Simulink’de modellenmiştir. Modelleme için ilk aşamada FV panel seçilmesi ve parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada FV panel modelleme amacıyla Soltec 1STH-215p modeli seçilmiştir. Panele ait parametreler Tablo 4.3’de gösterilmiştir. Tablo 4.3’de özellikleri belirtilmiş olan panellerin istenilen gerilim seviyesi ve gücün elde edilmesi amacıyla modül haline getirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla 2 adet panel seri, 2 adet panel paralel olmak üzere toplam 4 adet panel kullanılarak FV panel sistemi elde edilmiştir. Tablo 4.3’de belirtilmiş olan FV panel değerleri kullanılarak solar ışınım şiddeti $1000\text{W}/\text{m}^2$, $500\text{W}/\text{m}^2$ ve $100\text{W}/\text{m}^2$ ortam sıcaklığının 25°C olduğu ideal çevre şartları altındaki I-V ve P-V grafiği MATLAB ortamında elde edilmiş ve Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. DA/DA yükselticide kullanılan FV sistemin parametreleri

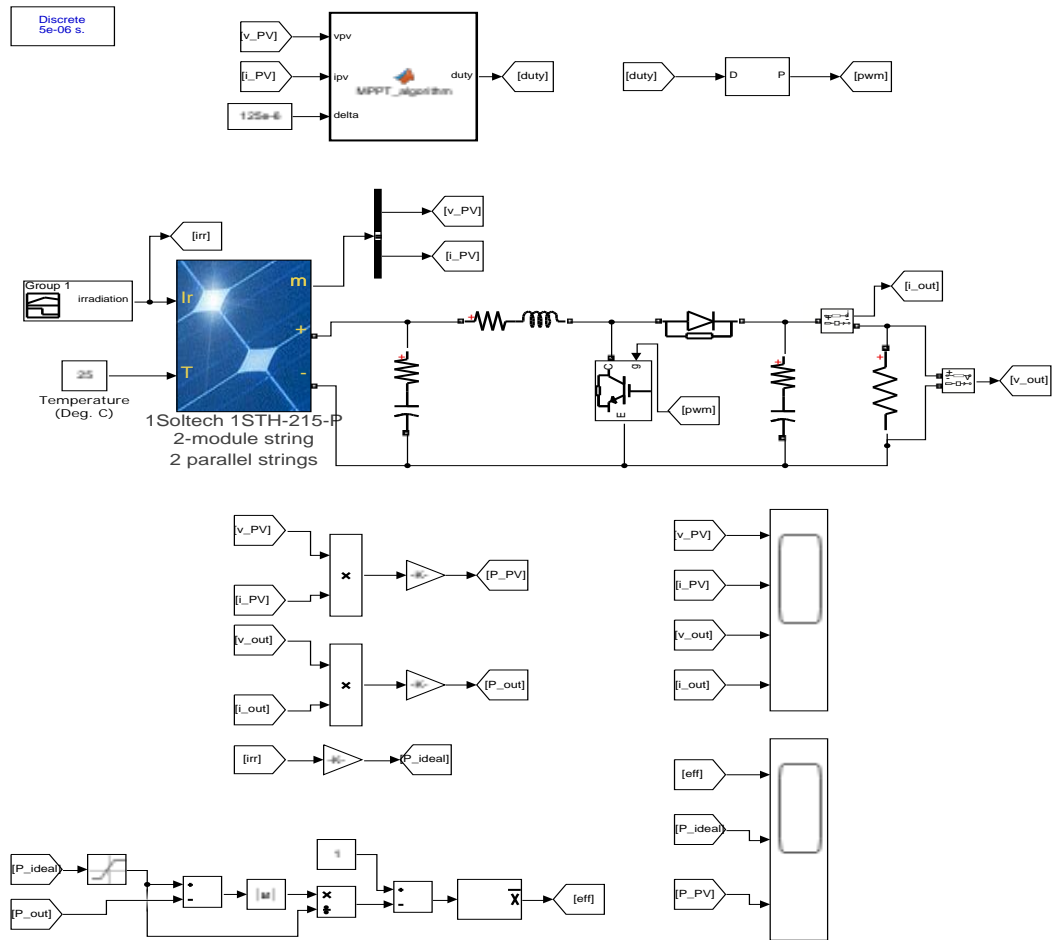
Panel ID	Güç (W)	I_{sc} (A)	V_{dc} Max (V)	I_{dc} Max (A)	V_{oc} (V)
Soltec 1STH-215p	213.15	7.84	29	7.35	36.3



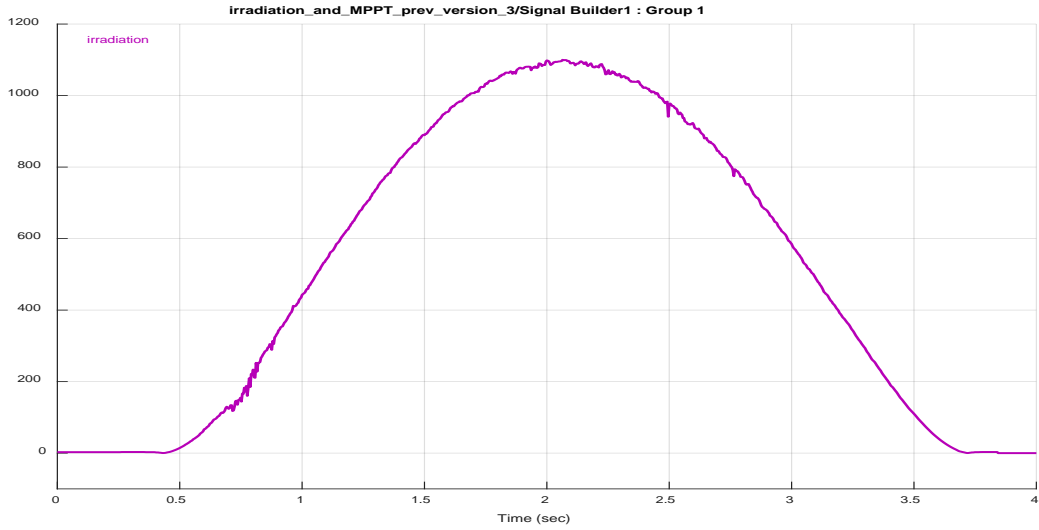
Şekil 4.8. FV panel sistemine ait a)Akım-Gerilim, b)Güç-Gerilim grafiği

FV panel sistemi ve yükseltici DA-DA yükseltici devresi MATLAB programında modellenmiş ve simülasyonu Şekil 4.9'daki gibi yapılmıştır.

FV panel sisteminde Akım-Gerilim ilişkisinin dinamik olarak değişimini ortaya koyabilmek için giriş olarak sabit sıcaklık-farklı ışınım şiddeti değerleri uygulanmaktadır. Farklı ışınım şiddeti değerleri Matlab simulink'de "signal builder" bloğu kullanılarak oluşturulmuştur. Şekil 4.10'da FV modül girişine uygulanan ışınım değişim eğrisi görülmektedir.

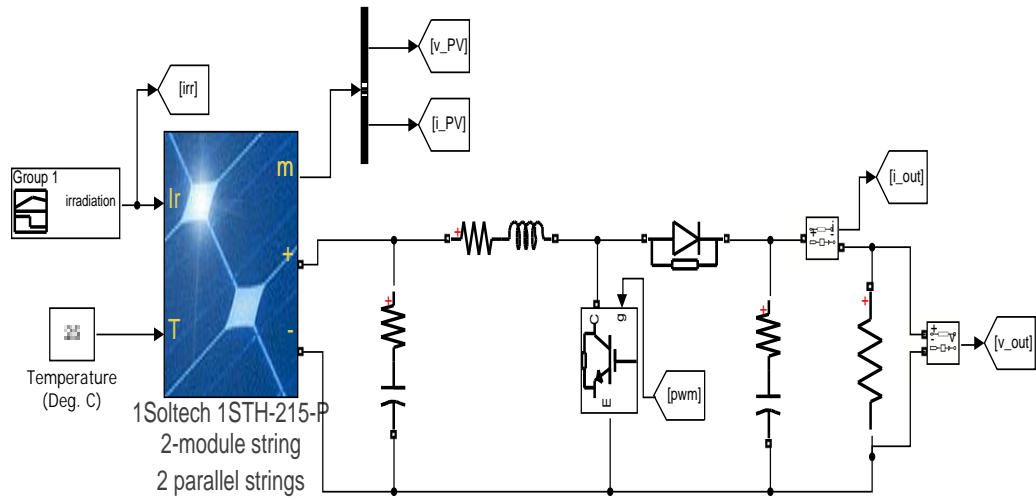


Şekil 4.9. FV panel girişli DA/DA yükselticinin ve kontrol devresinin MATLAB simülasyonu modeli.



Şekil 4.10. FV panel girişine uygulanan solar radyasyon değişim eğrisi

850W'lık FV panel sistemi ve yükseltici konvertör devresine ait güç devresi Şekil 4.11'de görülmektedir. Şekil 4.11'dan görüldüğü üzere FV panel sistemi çıkışına paralel bir kondansatör bağlanarak FV panelde üretilen gerilim kondansatöre aktarılmaktadır.

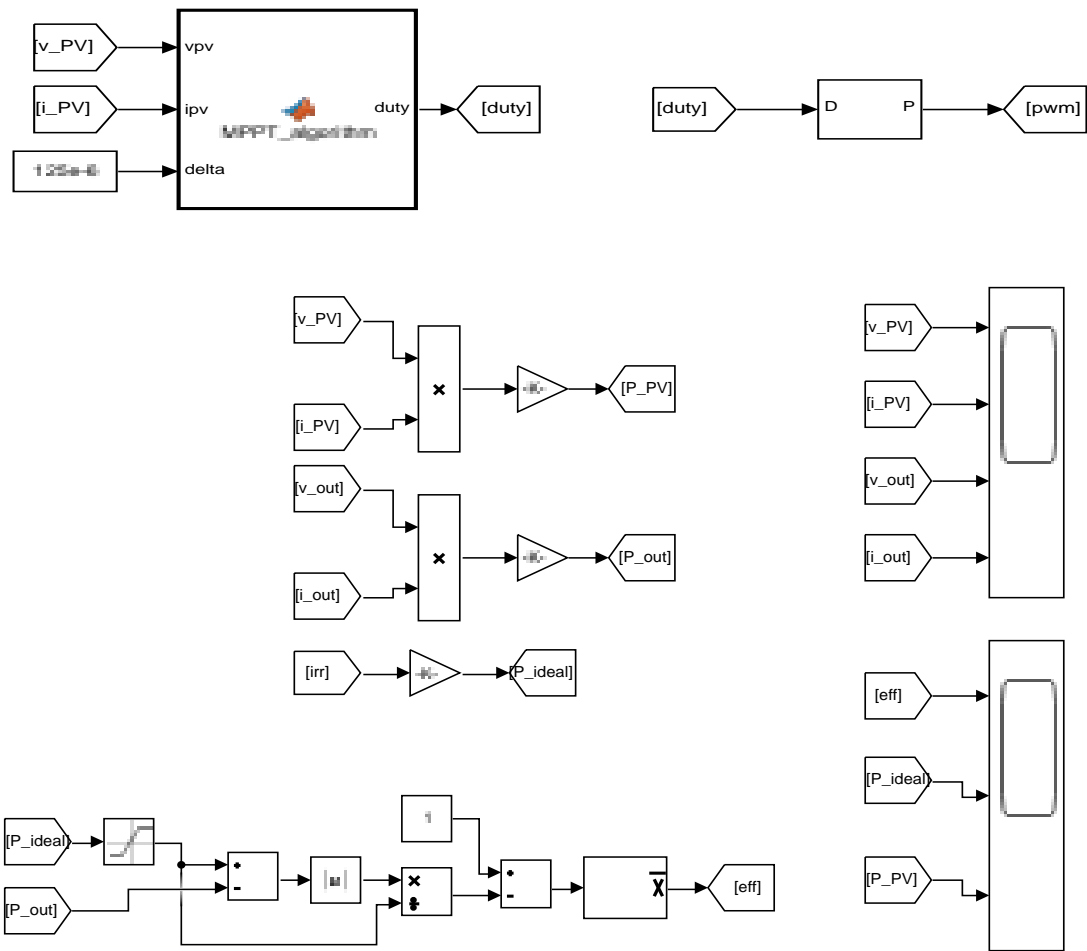


Şekil 4.11. FV panel sistemi ve DA/DA yükseltici devresine ait güç devresi

Giriş kondansatöründeki gerilim DA-DA yükseltici çıkışında yükseltilerek çıkış kondansatörüne ve yüke aktarılmaktadır. Yükseltici devresinde kullanılan IGBT'nin PWM tetikleme sinyali kontrol devresi çıkışında üretilerek yükselticinin çıkışında DA

gerilim yükseltilmektedir. Ayrıca güç devresinde kontrol devresinde kullanılacak sinyaller için ölçüm blokları da bulunmaktadır.

Şekil 4.12’de eviricideki anahtarın PWM sinyalinin üretilmesi için oluşturulan kontrol devresi görülmektedir. Burada görev oranını elde etmek için MPPT bloğu ve PWM sinyalleri elde etmek için DA-DA PWM bloğu kullanılmıştır. FV panelin bulunduğu ortam şartları altında MPP’de çalıştırılması için gerekli optimum yük noktasının bulunması, bu yük noktasında çalıştırılması ve yükselticideki aktif anahtarın bu açı değeriyle tetiklenmesi gerekmektedir.



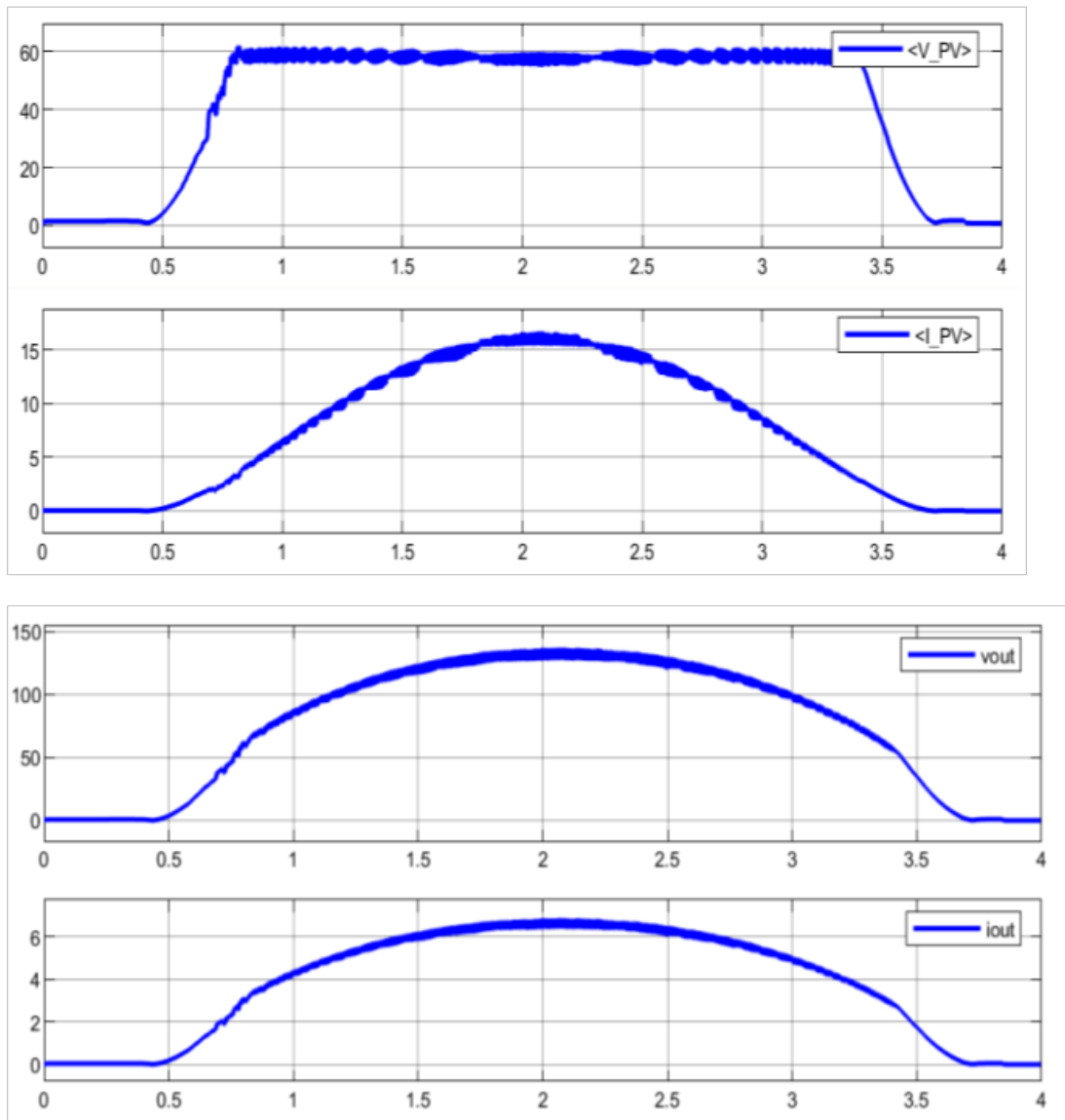
Uygulamadaki basitliği, güvenilir ve kararlı sonuçlar vermesi, sistem karmaşıklığının düşük olması ve literatürde kullanılan MPPT algoritmaları içerisinde

sistem verimi olarak en iyilerinden birisinin olması sebebiyle bu çalışmada MPPT algoritma sistem modeli olarak Değiştir-Gözle (D&G) algoritması kullanılmıştır. Şekil 4.12'den görüldüğü üzere FV çıkışında akım ve gerilim değerleri ölçülerek MPPT bloğuna giriş olarak uygulanır. Konvertör devresi için görev oranı MPPT bloğu çıkışında elde edilir. Bununla ilgili olarak D&G algoritmasının genel çalışma yapısını açıklayan MATLAB algoritması ayrıntılı bir şekilde Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4. MATLAB ortamında oluşturulan D&G MPPT algoritması kodu

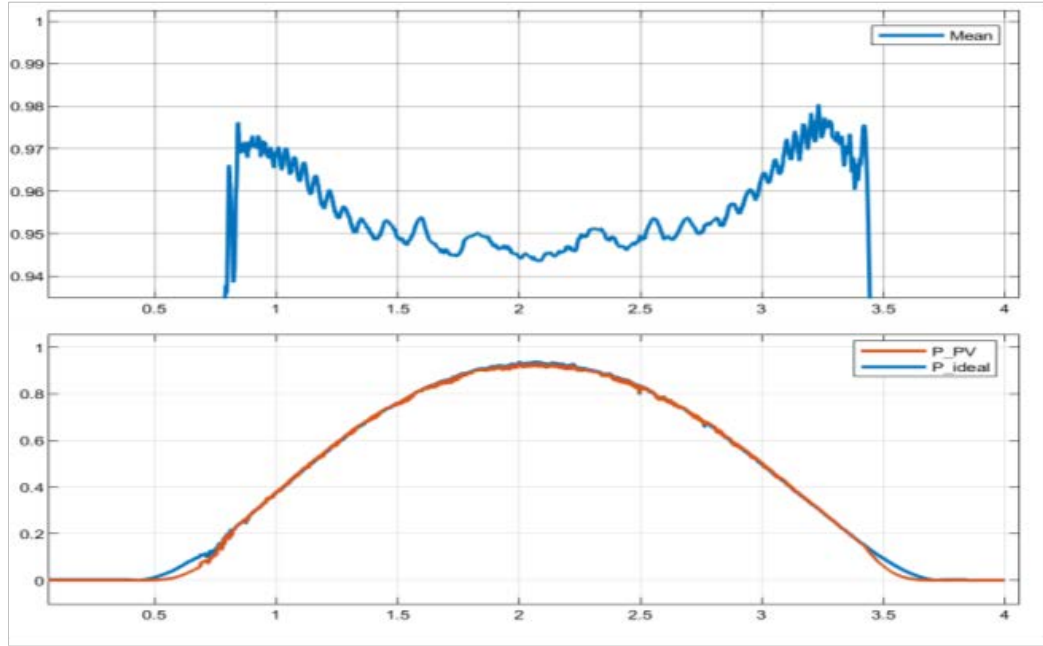
```
function duty = MPPT_algorithm(vpv,ipv,delta)
duty_init=0.1;% duty sınırlamak için 0 and 0.85 max ve min değerleri kullanılmaktadır
duty_min=0; duty_max=0.85;
persistent Vold Pold duty_old;
if isempty(Vold)
    Vold=0;Pold=0;
...duty_old=duty_init;
end
P=vpv*ipv;          % güç esaplanıyor.
dV=vpv-Vold;       % önceki ve yeni arasındaki fark
dP=P-Pold;         % önceki ve yeni arasındaki fark
if dP ~= 0 && vpv>30
    if dP < 0       %Eğer gücün türevi sıfırdan küçükse dP<0 ve
        if dV < 0   %Eğer gerilimin türevi sıfırdan küçükse dV<0
            duty=duty_old-delta; %duty eski duty değerinden delta %çıkarılarak hesaplanır
        else        %Eğer gerilimin türevi sıfırdan büyükse dV>0
            duty=duty_old+delta; %duty eski duty değerine delta eklenerek %hesaplanır
        end
    else            %Eğer gücün türevi sıfırdan büyükse dP>0 ve
        if dV < 0   %Eğer gerilimin türevi sıfırdan küçükse dV<0
            duty=duty_old+delta; %duty eski duty değerine delta eklenerek %hesaplanır
        else        %Eğer gerilimin türevi sıfırdan büyükse dV>0
            duty=duty_old-delta; %duty eski duty değerinden delta %çıkarılarak hesaplanır
        end
    end
end
duty=duty_old;
end
if duty >= duty_max%akımın max ve min arasında sınırlandırılması yapılıyor.
    duty=duty_max;
elseif duty<duty_min
    duty=duty_min;
end
duty_old=duty; % data depolanıyor.
Vold=vpv;
Pold=P;
```

Simülasyon sonucunda FV panelden elde edilen akım ve gerilim ait dalga şekilleri ve yükseltici devre çıkışında elde edilen akım ve gerilim ait dalga şekilleri sırasıyla Şekil 4.13’de gösterilmiştir. FV panelden elde edilen akım farklı ışınım şiddeti değerlerine bağlı olarak değişmekte dolayısıyla güç değişmekte fakat FV panel gerilimi sabit kalmaktadır. Yükseltici çıkışında gerilim arttırılmış güç aynı değerde tutulmuştur. Simülasyon sonucunda FV panelden elde edilen çıkış gücü ve ideal çıkış gücü değerlerine ait dalga şekilleri Şekil 4.14’de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. FV panel çıkışından ve yükseltici çıkışından elde edilen akım ve gerilim dalga şekilleri

FV panelden elde edilen güç ideal FV gücünü MPPT algoritması sayesinde takip etmektedir. İdeal FV gücü farklı ışınım şiddeti değerlerine bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca sistem için verimlilik de hesaplanmıştır. Simülasyon boyunca devre %94.5'in üzerinde bir verimlilikle çalışmaktadır.

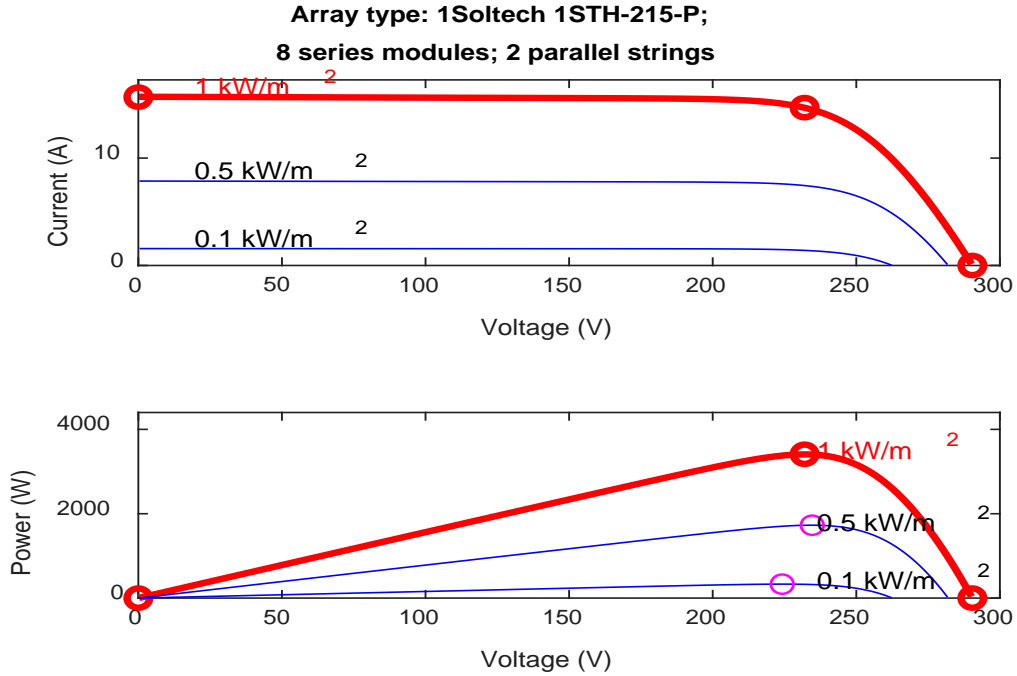


Şekil 4.14. FV maksimum çıkış gücü ve ideal FV çıkış gücü dalga şekilleri

4.4.FV Girişli DA/DA Yükselticinin Yapay Sinir Ağı Algoritması Kullanılarak Modellenmesi

Bu durum çalışmasında, FV panel sistemi için yüksek verimli MPPT sistem tasarımı makine öğrenmesi algoritmalarından olan yapay sinir ağları ile gerçekleştirilmiştir. Sinüsoidal PWM kontrollü tek fazlı evirici ile 220 V_{RMS} gerilim elde edilmiştir. Kullanılan algoritmanın en büyük avantajı güç çıkışı, ışınım, sıcaklık ve toplam çıkış direnci arasındaki karmaşık matematiksel ilişkiyi çözmesine gerek olmamasıdır. Ayrıca çıkışlarda çok daha az salınım gerçekleşmektedir. Bu çalışmada yükseltici DC-DC konvertör kullanılarak yük boyunca sabit çıkış voltajı sağlayabilmesi için yapay sinir ağları tabanlı MPPT gerçekleştirilmiştir. Panelin ürettiği yaklaşık 200 V

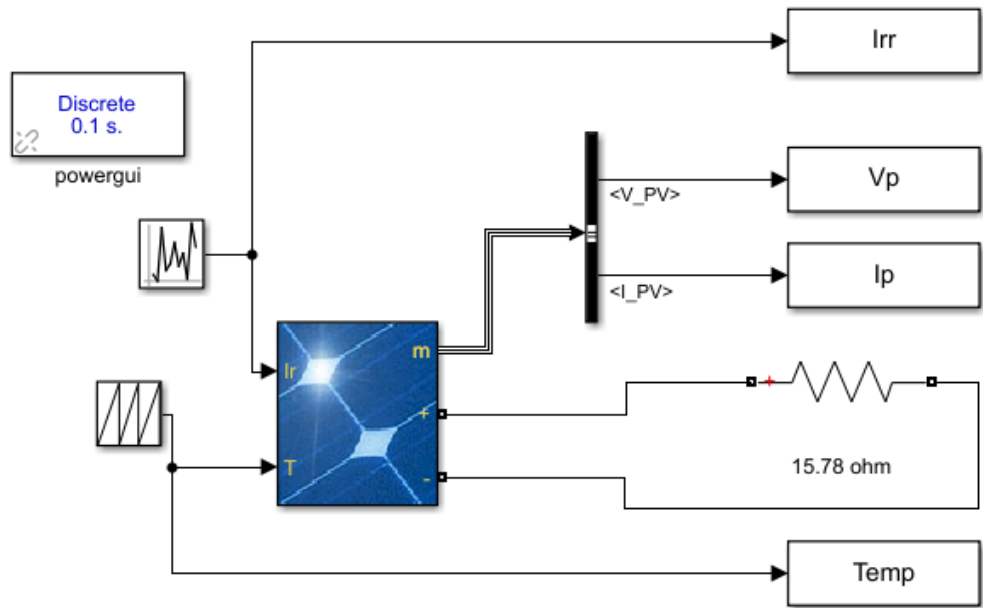
gerilim, 400 V'a maksimum güçte yükseltici DA-DA evirici ile yükseltilmektedir. Tek fazlı evirici S-PWM kontrol tekniği ile de 400VDC 220VAC sinyale çevrilmiştir.



Şekil 4.15. FV panel sistemine ait a)Akım-Gerilim, b)Güç-Gerilim grafiği

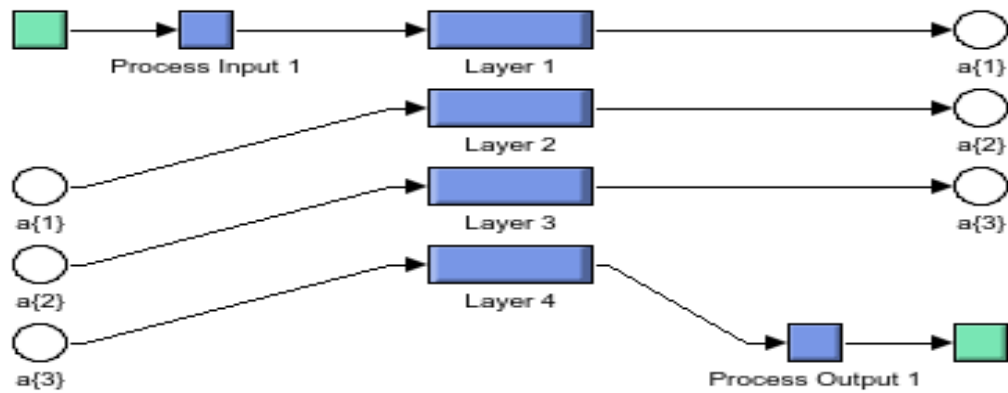
FV paneli olarak Bölüm 4.3'de yer alan 1Soltech 1STH-215-P modeli kullanılmıştır. Panelin özellikleri Tablo 4.3'de verilmektedir. Panel sisteminden yaklaşık 3.5 KW lık güç elde edilmesi için FV paneller 2 paralel ve 8 seri olacak şekilde bağlanmıştır. Buna göre FV panelden maksimum 3410 W güç, 232 V gerilim ve 14.7 A akım elde edilmektedir. Tablo 4.3'de belirtilmiş olan FV panel değerleri kullanılarak ışınım şiddeti 1000W/m^2 , 500W/m^2 ve 100W/m^2 ortam sıcaklığının 25°C olduğu ideal çevre şartları altındaki akım-gerilim ve güç-gerilim grafiği MATLAB ortamında elde edilmiş ve Şekil 4.15'de gösterilmiştir.

Seçmiş olduğumuz panelden anlık gerilim ve akım değeri alabilmek için MATLAB/Simulink ortamında FV panel modellenmiş ve devre Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Buna göre zaman aralığı 0-100 saniye seçilerek, sıcaklığın 15 ile 40°C arası değişmesi, ışınımın ise 800 ile 1000W/m^2 arası değiştiği 1001 tane veri alınarak, simulink'ten workspace'e aktarılmıştır. Buradaki $15.78\ \Omega$ direnç değeri maksimum açık devre gerilimi 232 V ile 14.7 A akımın oranına göre bulunmuştur.



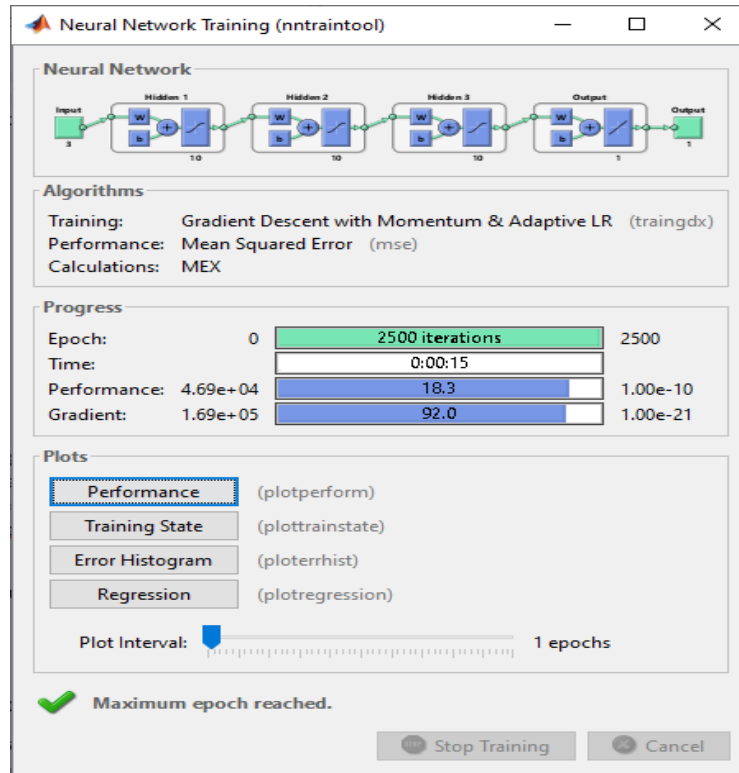
Şekil 4.16. FV panelin MATLAB simülasyon modeli ve verilerin workspace'e aktarılması

Yapay sinir ağları genellikle birbirine mesaj gönderen birbirine bağlı "nöronlar" sistemleri olarak sunulur. Bağlantılar, deneyime dayalı olarak ayarlanabilen, sinir ağlarını girdilere uyarlanabilir ve öğrenebilen sayısal ağırlıklara sahiptir. YSA modeli MATLAB/Simulink ortamında geliştirilmiştir. 3 gizli katman olup her biri 10 nöron içermektedir. Ağ modeli şekil 4.17'de verilmiştir.

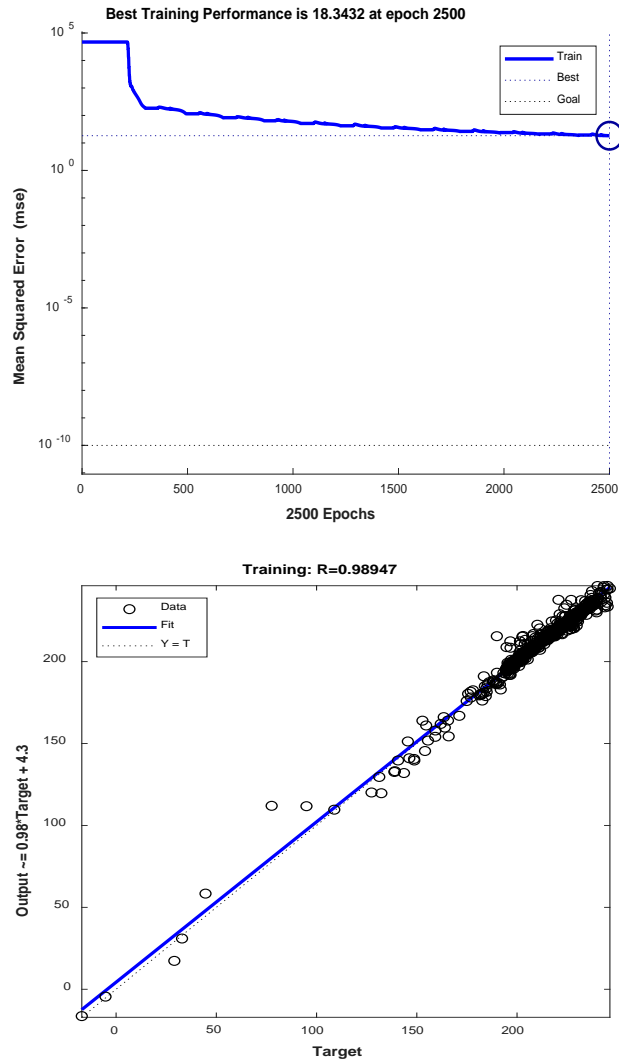


Şekil 4.17. Yapay sinir ağları modeli

Girdiğimiz parametrelerle MATLAB/Simulink'de FV simüle edilerek eğitilecek olan veriler workspace'e aktarılmaktadır. Işınım ve sıcaklık değişimine göre elde edilen 1001 tane akım ve gerilim YSA için eğitim verisi olarak kullanılır. Eğitim verileri "traingdx" fonksiyonu ile eğitilerek "gensim" fonksiyonu ile tekrar simulinke aktarılmaktadır. Yapay sinir ağında girişler sıcaklık, ışınım ve akım olup, çıkış maksimum güç noktasındaki gerilimdir.



Şekil 4.18. Yapay sinir ağı eğitimi

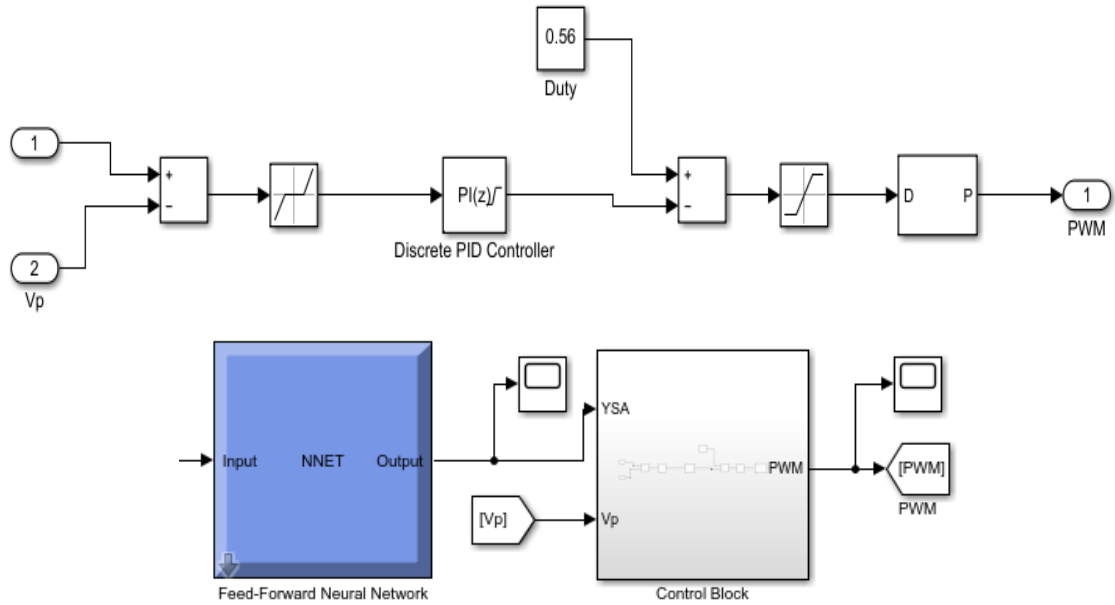


Şekil 4.19. YSA algoritmasının eğitim performansı

Veriler YSA ile MATLAB ortamında yazılan kod ile eğitilmiştir. Yapay sinir ağları ile eğitilen verilerden üretilen referans gerilim değeri, ölçülen panel çıkış gerilimi ile karşılaştırılması için kontrol bloğuna gönderilir. Kontrol bloğunda hatayı minimuma indirmek için PI kontrolü kullanılır ve anahtarı tetiklemek için gerekli olan referans sinyali üretilir.

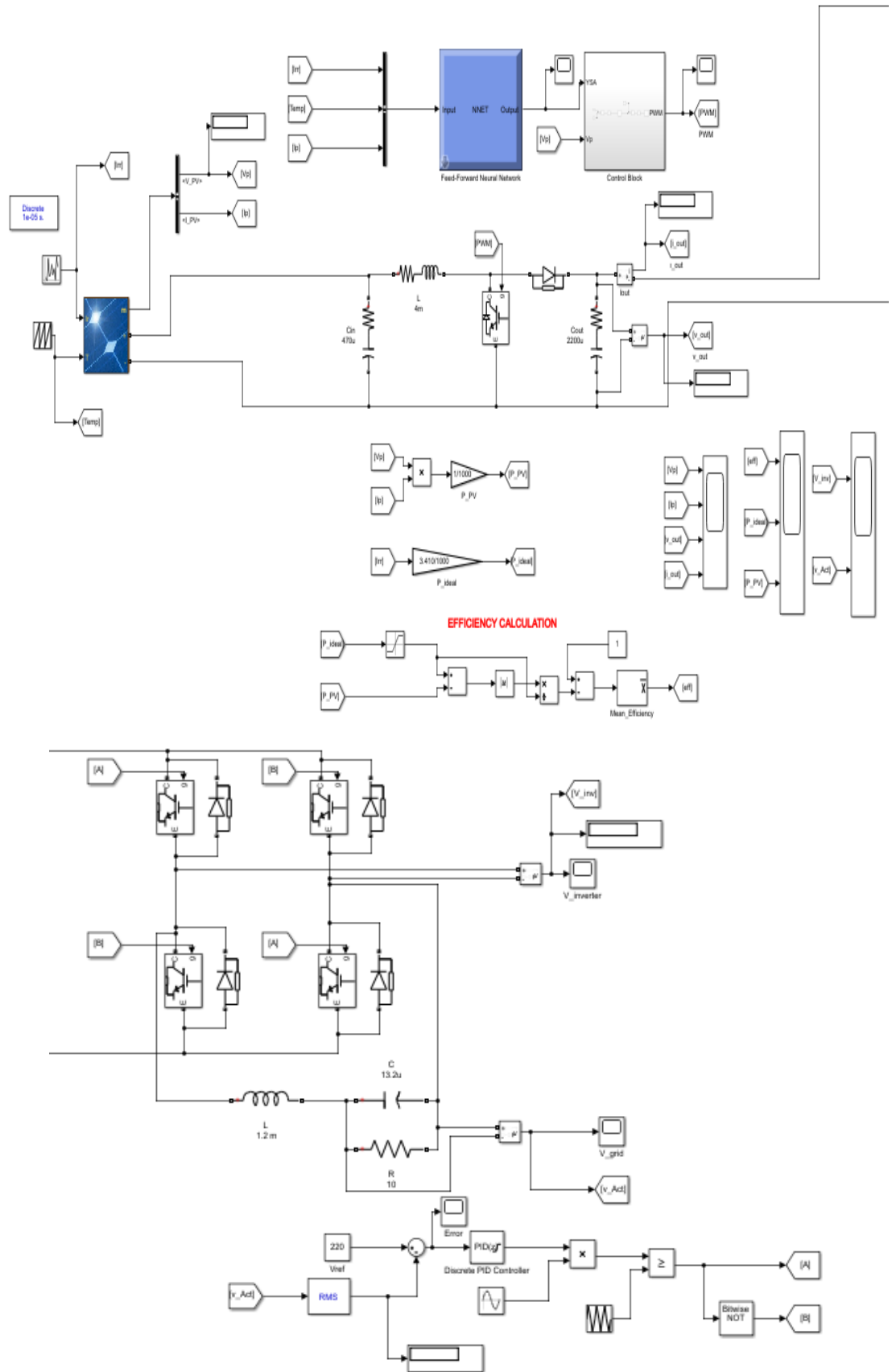
FV panelden alınan DA gerilimin seviyesini yükseltmek için panel çıkışına yükseltici devre eklenmiştir. Anahtarlama elemanı olarak IGBT kullanılmıştır. Anahtar iletimdeyken, akım bobin ve yarı iletken anahtar üzerinden akar ve bobin enerjilenir. Yükü kondansatör besler. Anahtar kesimde iken, bobin üzerinde depolanan enerji kondansatör ve yük üzerine aktarılır. Anahtar iletimde iken enerjisi boşalan kondansatör, kapalı konumunda ise bobin üzerinden tekrar enerjilenir. Çıkış gerilimini

yükseltme oranı görev oranına bağlıdır. Referans sinyalin frekansı, eviricinin çıkış frekansını belirler, referans sinyalin tepe değeri, ortalama çıkış gerilimini kontrol eder ve her yarı periyottaki darbe sayısı P, taşıyıcı frekansı tarafından belirlenir

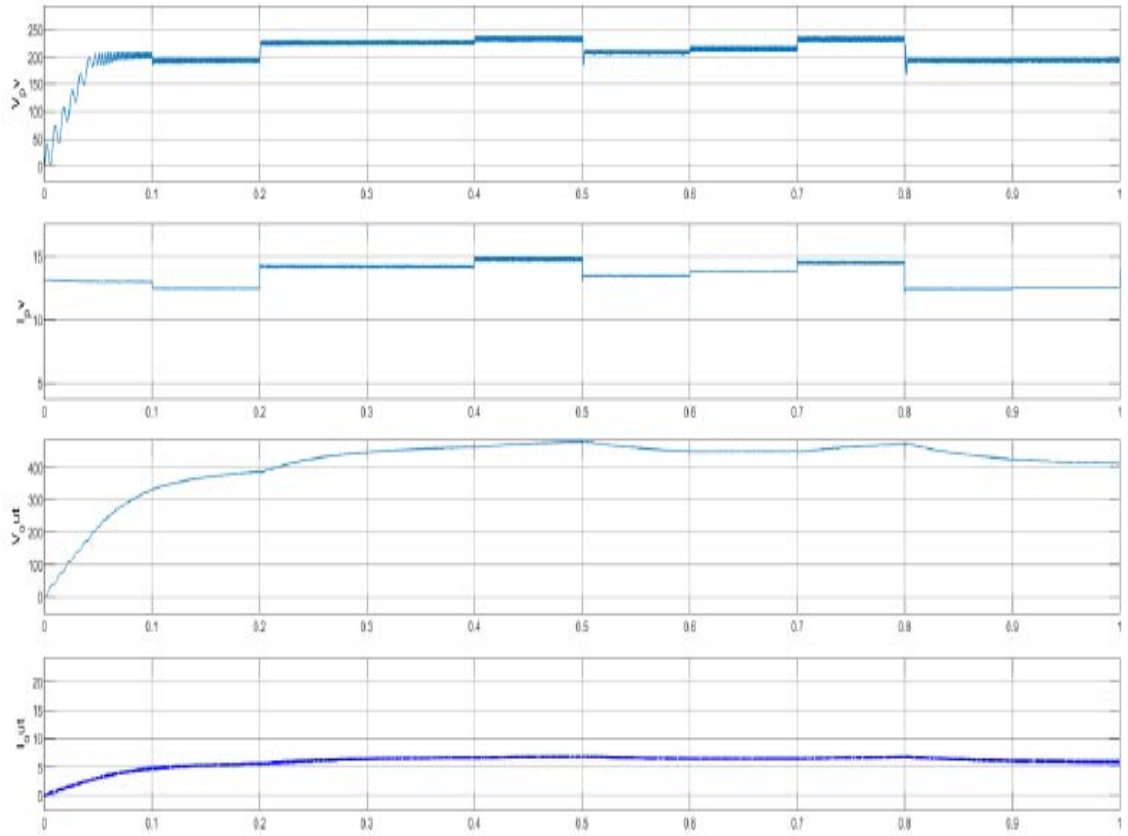


Şekil 4.20. YSA tabanlı evirici kontrol bloğu

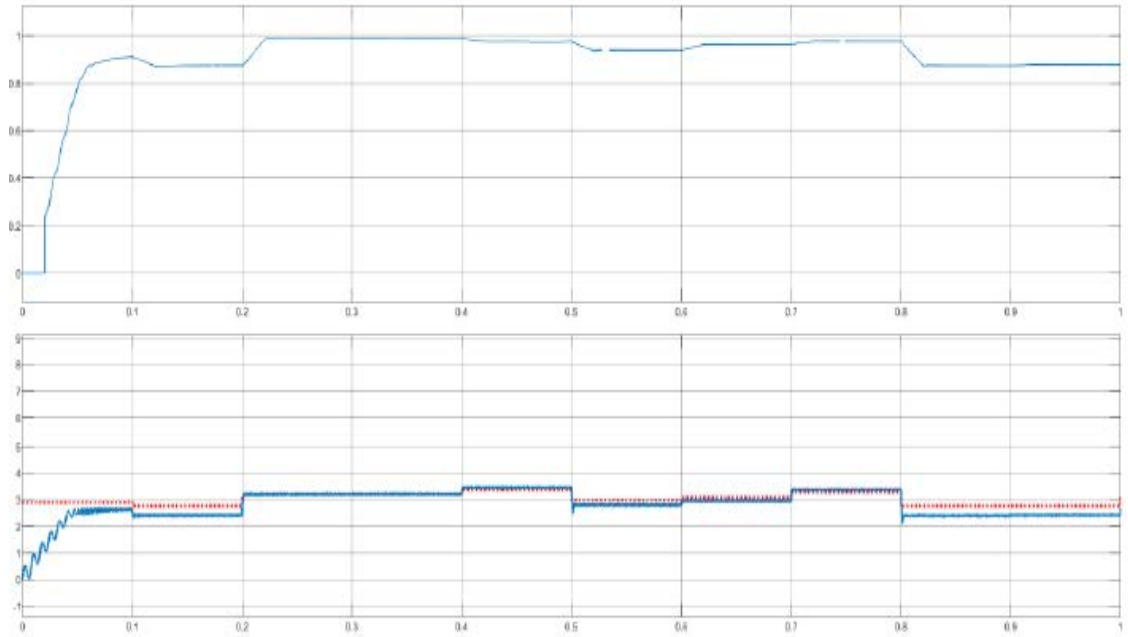
Tek-fazlı eviricinin çıkışı, kare ya da sinüzoidal dalga şekilli simetrik AC gerilimdir. Her bir anahtarlama elemanının açma ve kapama zamanını kontrol etmek için, PWM sinyali uygun bir zamanda uygulanmıştır. Bu evirici, sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyon (S-PWM) tekniği ile kontrol edilir. S-PWM dalga, bir sinüzoidal referans sinyali, daha yüksek frekanslı üçgen taşıyıcı dalga ile karşılaştırarak üretilir. Eviricide kapalı döngü kontrol kullanılmıştır. Evirici çıkış gerilimi ölçülür ve referans gerilim ile karşılaştırılır. Çıkış gerilimi ile referans gerilim arasındaki fark hata olarak adlandırılır ve hata değeri PID kontrol bloğuna verilir, böylece hata minimuma indirilir. PID kontrolün çıkış modülasyon indeksidir. Modülasyon indeksi çıkış gerilimine göre değişmekte olup, sinüs dalga sinyali ile çarpılır. Sinüs dalga sinyali, üçgen kaynakla karşılaştırılır ve IGBT için gerekli PWM sinyali üretilmiş olur. Bu metodun adı S-PWM tekniği olarak bilinmektedir. Sistem 1 saniye için simüle edilmiştir. FV panel çıkış gerilimi 193 V'dan 410 V'a yükselmiştir.



Şekil 4.21: 1 fazlı eviricinin YSA MATLAB simülasyonu şeması



Şekil 4.22. Panel ve yükseltici devre çıkış gerilim ve akım sinyalleri



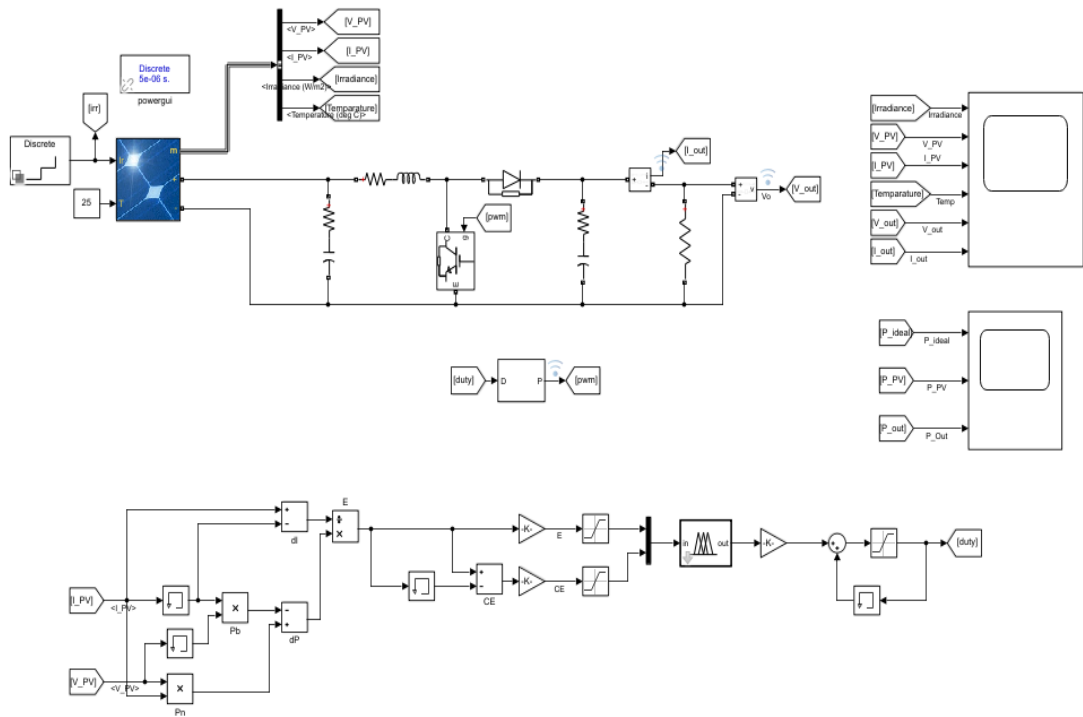
Şekil 4.23. Yapay sinir ağları tabanlı verim ve MPPT sinyalleri

4.5.FV Girişli DA/DA Yükselticinin Bulanık Mantık Algoritması Kullanılarak Modellenmesi

Bulanık mantık algoritması kullanılarak yapılan DC/DC yükselticinin MATLAB simulink ortamında oluşturulan simülasyon devresi Şekil 4.24'de verilmiştir. FV panel çıkışına yükseltici devre tasarlanıp, çıkışa yük olarak direnç bağlanmıştır. Ardından anahtarlama elemanı olarak IGBT kullanılmış ve kontrol sinyali bulanık mantık algoritması kullanılarak üretilmiştir. Kontrol sinyali için FV panelin akım ve gerilim bilgisi kullanılmıştır. Güç hesaplanmış ve geçmiş değeri anlık değerden çıkarılmıştır. Ardından akımın anlık değerinden, geçmiş değeri çıkarılıp oranlanarak hata sinyali üretilmiştir. Hata ve hata değişimi bulanık mantık bloğuna giriş olarak bağlanıp Tablo 4.5'de görülen bulanık mantık kurallarına göre karşılaştırma yapıp çıkış sinyali anahtarla sinyalinin üretilmesinde kullanılmıştır.

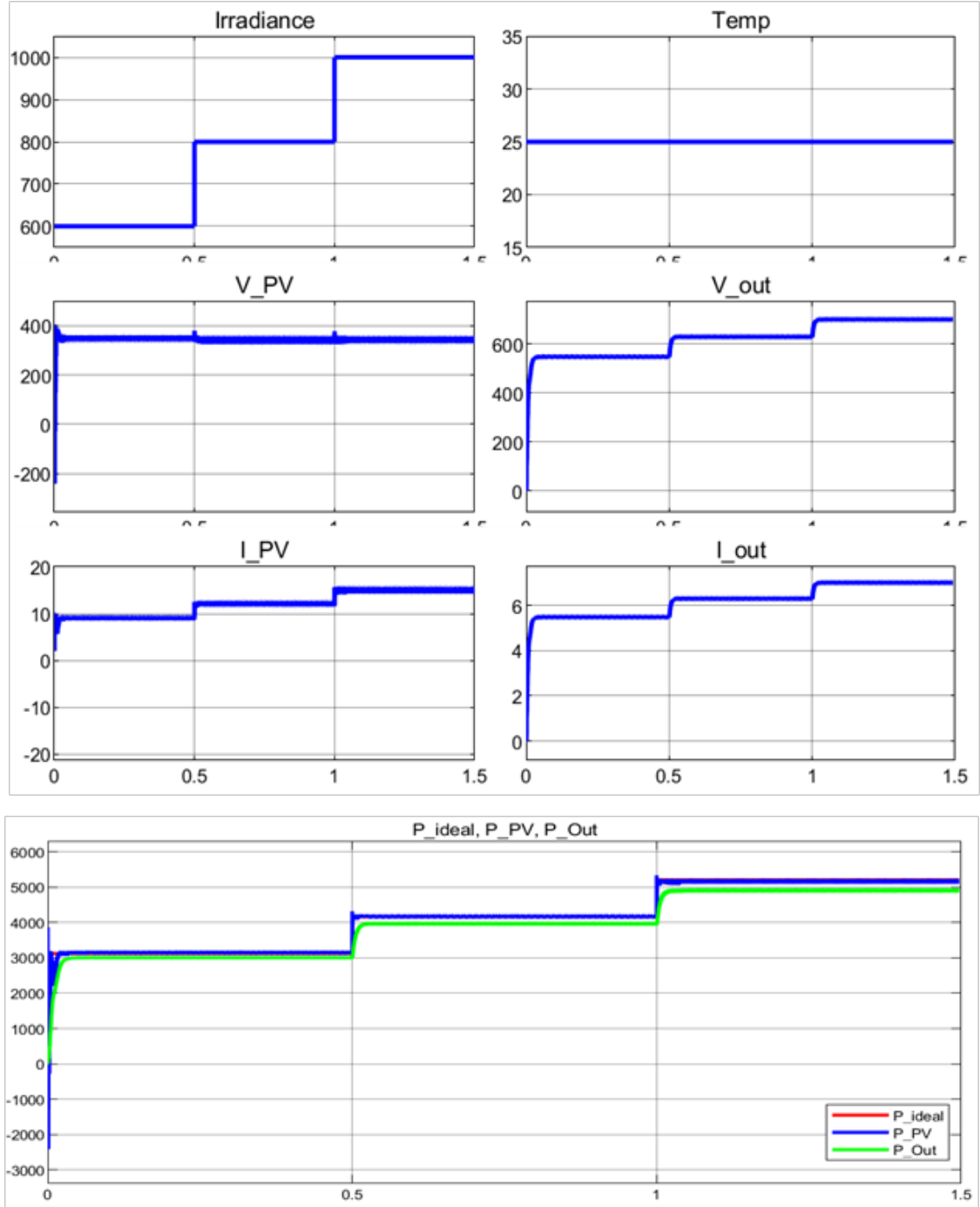
Tablo 4.5. Bulanık Mantık Kural Tablosu

ΔE	NB	NS	ZE	PS	PB
E	ZE	ZE	NB	NB	NB
NB	ZE	ZE	NB	NB	NB
NS	ZE	ZE	NS	NS	NS
ZE	NS	ZE	ZE	ZE	PS
PS	PS	PS	PS	ZE	ZE
PB	PB	PB	PB	ZE	ZE



Şekil 4.24 Bulanık mantık algoritması kullanılarak yapılan DC/DC yükselticinin MATLAB simülasyon devresi

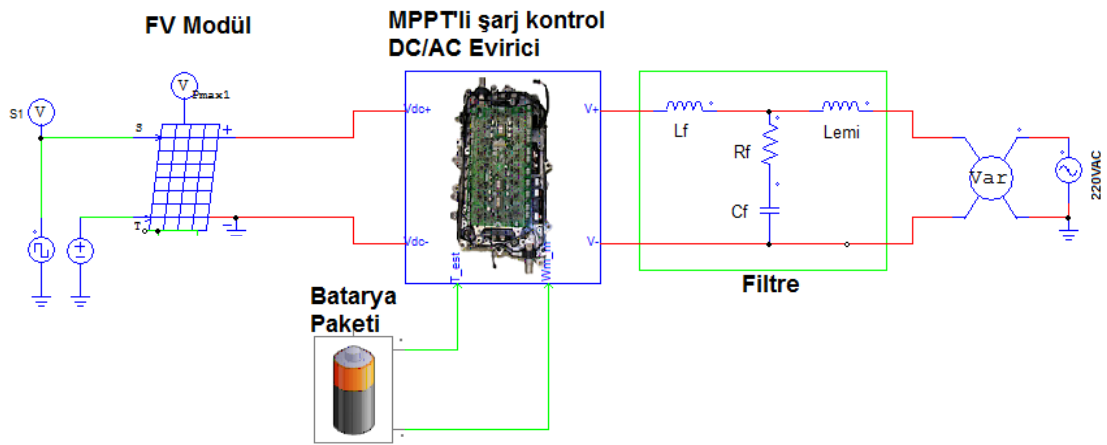
Şekil 4.25'de farklı ışınım ve sabit sıcaklık değerleri için MATLAB simülasyonundan elde edilen FV gerilim ve akım sinyalleri, yükseltici akım ve gerilim sinyalleri ve FV gücü, yükseltici gücü ve ideal güç sinyalleri verilmektedir. Şekil 4.25'de verilen grafiklerde de görüleceği gibi sıcaklık 25 °C sabit olarak tutulup, ışınım 0s'de 600 W/m², 0.5 s'de 800 W/m² ve 1s'de 1000 W/m² olarak değiştirilmiştir. FV panel çıkışında elde edilen 380V yükseltici devre çıkışında sırasıyla 550V, 620V ve 700V'ye yükseltilmiştir. Sinyallerde dalgalanmanın az olması kontrolcü açısından arzu edilen bir durum olup, istenilen duruma yaklaşılmıştır. Yükseltici devrenin çalıştığı ve bulanık mantık kullanılan MPPT algoritmasının MPP'yi takip ettiği görülmüştür.



Şekil 4.25. Farklı ışınlam ve sabit sıcaklık değerleri için MATLAB simülasyonundan elde edilen FV gerilim ve akım sinyalleri, yükseltici akım ve gerilim sinyalleri ve FV gücü, yükseltici gücü ve ideal güç sinyalleri

4.6.FV Girişli Bir Fazlı Eviricinin Deneysel Gerçekleştirilmesi

Çalışma kapsamında, merkez kampüste bulunan yenilenebilir enerji laboratuvarında AC elektrik enerjisinin FV üretim sisteminden elde edilmesi için öncelikle 2 adet aynı özelliklere sahip 250W'lık FV panel paralel olarak bağlanmıştır. Gerçekleştirilen sistem yapısında FV güneş panelleri, şebeke entegresiz (off-grid) akıllı sinüs tek fazlı evirici ve batarya grubu alt bileşenleri bulunmaktadır. FV paneller kullanılarak güneşten üretilen enerjinin tamamı tek fazlı evirici ile sürekli olarak AC yüke aktarılmaktadır. Bu durumda akü ise kapalı durumda kalmakta, yani yüke aküden bir enerji akışı sağlanmamaktadır. Eğer güç aktarımı sırasında gerilim değerinde artma veya azalma olursa akü devreye girerek akıllı evirici ile şarj ve deşarj olarak eviricinin güvenli moda çalışması sağlanmaktadır. Güneş enerjisi kesildiğinde enerji depolama sağlayan akü kullanılarak kesintisiz enerji sağlanmaktadır. Şekil 4.26'da FV elektrik üretim sisteminin blok şeması gösterilmektedir. Kurulan sistemin bileşenlerine ait resimler Şekil 4.27'de verilmektedir.



Şekil 4.26. FV elektrik üretim sisteminin blok şeması



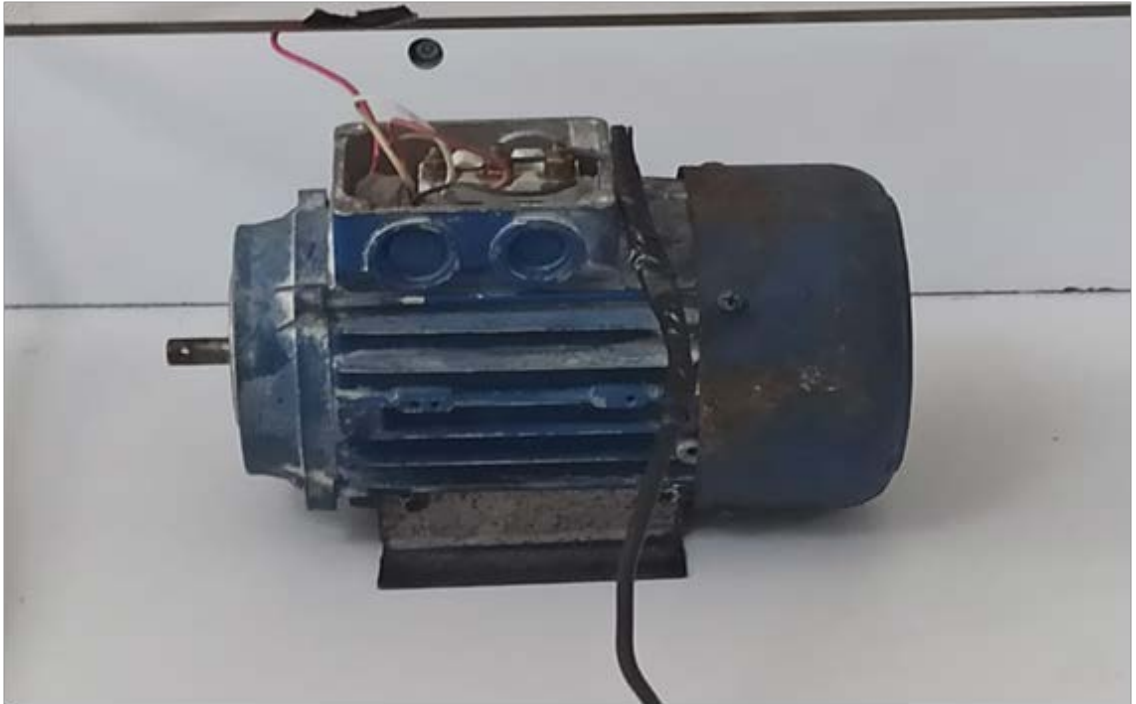
(a) FV panel



(b) Akıllı sinüs bir fazlı evirici



(c) Y¼k 1: Direnç



(d) Y¼k 2: Bir fazlı asenkron motor



(e) Akü

Şekil 4.27. FV elektrik üretim sisteminin bileşenlerine ait resimler

Şekil 4.28'de deneysel olarak kurulan FV beslemeli 1 fazlı elektrik üretim sisteminin görüntüsü verilmektedir. Bu sistemde 2 FV panel paralel bağlanmıştır. FV panel çıkışında elde edilen akım ve gerilim bir fazlı eviriciye uygulanmaktadır. Akıllı evirici DC'den AC'ye dönüşüm yaparak AC yükü beslemektedir. AC yük olarak direnç grubu ve 1 fazlı asenkron motor kullanılmaktadır. Ayrıca Akü de sürekli olarak FV paneller kullanılarak evirici sayesinde dolu tutulmaktadır. Güneş ışınımı olmadığına Akü devreye girerek AC yük Akü tarafından beslenmektedir.

FV beslemeli 1 fazlı elektrik üretim sistemine direnç yükü bağlanmış ve FV panel akımı, akü akımı ve AC yük akımı Fluke marka multimetre kullanılarak ölçülmüştür. Şekil 4.29'da elde edilen ölçümlere ait görüntüler verilmektedir. FV panel çıkışında 7.69A, Akü çıkışında 5.65A ve AC yükte 0.11A akım ölçülmüştür.



Şekil 4.28. FV beslemeli 1 fazlı elektrik üretim sistemi görüntüsü



(a) FV panel akımı



(b) Akü akımı



(c) AC yük akımı

Şekil 4.29. Direnç yükü devredeyken FV panel, Akü ve AC yük akımı ölçümleri

FV beslemeli 1 fazlı elektrik üretim sistemine sırasıyla direnç yükü ve 1 fazlı asenkron motor bağlanmış ve evirici üzerinde ölçülen değerler kaydedilmiştir. Şekil 4.30'da yük devrede değilken elde edilen ölçümlere ait görüntüler verilmektedir. Akü gerilimi 13.6V, akü akımı 0A ve yük güç değeri 0W olarak ölçülmüştür. Şekil 4.31'de direnç yükü devrede iken elde edilen ölçümlere ait görüntüler verilmektedir. Akü gerilimi 13.5V, akü akımı 1A, yük yüzde değeri %50 ve AC yük gerilimi 228V olarak ölçülmüştür.



(a)



(b)

Şekil 4.30. Yük devrede değilken a) batarya gerilimi ve yük güç değeri b) batarya gerilimi ve akımı değerleri



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.31. Direnç yükü devrede iken a) batarya gerilimi ve % 50 yük yüzde değeri
b) batarya gerilimi AC yük gerilimi c) batarya akımı ve AC yük gerilimi değerleri



(a)



(b)

Şekil 4.32. 1 fazlı asenkron motor devrede iken a) batarya akımı ve AC yük gerilimi değerleri b) batarya gerilimi ve AC yük gerilimi değerleri

Şekil 4.32'de 1 fazlı asenkron motor yükü devrede iken elde edilen ölçümlere ait görüntüler verilmektedir. Akü gerilimi 30V, akü akımı 2A ve AC yük gerilimi 228V olarak ölçülmüştür.

Önerilen projede termal panel satın alınarak hibrit bir güç sistemi kurulumu hedeflenmektedir. Fakat kabul edilen proje bütçesi önerilen proje bütçesinden % 30 daha az olduğundan kurulan sistemde termal panel çıkarılmıştır.

İleriki çalışmalarda kurulan sistem kullanılarak uzaktan parametrelerin takibinin yapılabilmesi hedeflenmektedir. Güneş enerji santrallerinde üretilen enerji, mevsimsel koşullara ve hava durumuna göre sürekli değişiklik göstermektedir. Bu yüzden sistemin sürekli kontrol edilmesi, verimliliğin artırılması açısından önemlidir. Sistemin sürekli kontrol edilmesi ise üretim yerinde bulunma zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Güneş enerjisinden maksimum verimi elde etmek için parametrelerin takibinin enerji üretim yerinde bulunma zorunluluğunu ortadan kaldırarak istenilen yerden yapılabilmesine olanak sağlanmasıdır. Uzaktan parametrelerin takibinin yapılabilmesi için panelin üzerine piranometre ve 1adet LDR yerleştirilerek ışınım şiddeti ve ortam sıcaklığı ölçülecek ve alınan veriler tasarlanacak takip cihazına aktarılacaktır. Ayrıca sistemde farklı noktalara akım ve gerilim sensörleri yerleştirilerek FV panel akım ve gerilimi, akü akım ve gerilimi ve yük akım ve gerilimi ölçülerek takip cihazına aktarılacaktır. Arduino'nun içerisinde bulunan yazılım sayesinde gerilim, akım, güç, ışınım şiddeti ve sıcaklık verileri, arduino ile işlendikten sonra internet aracılığıyla kablosuz olarak veriler e-tabloya gönderilecektir. Gönderilen veriler e-tablo aracılığıyla görüntülenebilmesinin yanı sıra analiz de yapılabilecektir.

SONUÇ

Bu çalışmada, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkez kampüste FV panel sisteminden elde edilecek enerjinin yenilenebilir enerji sistemleri laboratuvarında bulunan AC bir yükün beslenmesinde kullanılması için şebekeden bağımsız FV enerji girişli bir fazlı eviricinin çıkışında sinüs şeklinde akım vermesi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem gerçekleştirilirken FV panellerin çıkış gücünün mümkün olabilen en yüksek seviyede olabilmesi amacıyla akıllı evirici kullanılmıştır. Ayrıca güneş enerjisinin olmadığı AC yükün elektrik ihtiyacı akülerde depolanan enerjiden karşılanmıştır. Sistemin simülasyonu PSIM programında gerçekleştirilmiş olup simülasyon sonuçları rapora eklenmiştir. Yapılan çalışmalarda;

- ✓ Merkez kampüste bulunan yenilenebilir enerji laboratuvarında bulunana AC yükün enerji ihtiyacı FV panel sisteminden elde edilmektedir.
- ✓ Yüksek oranda enerji tasarrufuna geçilirken, çevreye zarar veren gaz emisyonunu azaltılmaktadır.
- ✓ AC yükte kullanılan elektrik güneş enerjisinin mevcut olduğu zamanlarda FV panellerden karşılanmakta ve güneş enerjisinin kesintiye uğradığı zamanlarda akülerden sağlanmaktadır.
- ✓ FV panellerde üretilen enerji gerekende daha fazla olduğunda akülerde depolanmaktadır.
- ✓ İleriki çalışmalarda kurulan sistem kullanılarak uzaktan parametrelerin takibinin yapılabilmesi hedeflenmektedir.

REFERANSLAR

- [1] Önal, E., Yarbay, R. Z., “Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli ve Geleceği”, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9 (18), 77-96, (2010).
- [2] Enerji Portalı <https://www.enerjiportali.com/yenilenebilir-enerji-kaynaklari-nelerdir/>, (26 Ağustos 2020).
- [3] Benner, J. P., Kazmerski, L. 1999. "Photovoltaics gaining greater visibility," IEEE Spectr., 29, 34--42.
- [4] Kılıç, F. Ç., “Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri, “Mühendis ve Makine”, 56 (671), 28-40, (2015).
- [5] YEGM, (2020). Yenilenebilir Enerji Kaynağı Genel Müdürlüğü. <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> (Erişim tarihi:07.07.2021).
- [6] ŞAHİN, B. E., & DOSTOĞLU, N. (2015). Okul binaları tasarımında sürdürülebilirlik. Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering, 20(1), 75-91.
- [7] Aktacir, M., Yeşilata, B. 2009. "Harran Üniversitesi Kampüs İçi Fotovoltaik Sistem Uygulamaları", Tesisat Mühendisliği, 111, 41-46.
- [8] Nedimoğlu E. and Gümüş B., “Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Santrallerinin Harmoniklerine Etki Eden Parametrelerin Araştırılması,” DÜMF Mühendislik Derg., vol. 10, no. 3, pp. 919–931, 2019, doi: 10.24012/dumf.605070.
- [9] Muhida, R., Park, M., Dakkak, M., Matsuura, K., Tsuyoshi, A., Michira, M. 2003. "A Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic-SPE System using a Maximum Current Controller", Solar Energy Materials and Solar Cells, 75, 697-706.
- [10] Arulmurugan, R., Vanitha, N. S. 2012. "Optimal Design of DC to DC Boost Converter with Closed Loop Control PID Mechanism for High Voltage Photovoltaic Application", International Journal of Power Electronics and Drive Systems, 2, 434-444.
- [11] Trubitsyn, A., Pierquet, B. J., Hayman, A. K., Gamache, G. E., Sullivan, C. R., Perreault, D. J. 2010. "High-efficiency inverter for photovoltaic applications", In Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2803- 2810.
- [12] Öztürk, A., Dursun, M. 2011. "2, 10 ve 20 KVA'lık fotovoltaik sistem tasarımı", 6th International Advanced Technologies Symposium, 16-18.
- [13] Khadmun, W., Subsingha, W. 2013. "High voltage gain interleaved dc boost converter application for photovoltaic generation system", Energy Procedia, 34, 390- 398.
- [14] Kavitha, S., Rajan, S. E., Vengatesh, R. P. 2014. "Performance analysis of interleaved DC-DC boost converter for Photo-Voltaic power generation systems", International Conference in Green Computing Communication and Electrical Engineering, 1-6.
- [15] Venkatesan, S., Saravanan, M. 2016. "Simulation and Experimental Validation of New MPPT Algorithm with Direct Control Method for PV Application", Journal of Renewable and Sustainable Energy, 8, 043503.
- [16] Siwakoti, Y. P., Blaabjerg, F. 2018. "Common-ground-type transformerless inverters for single-phase solar photovoltaic systems ", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 65, 2100-2111.

- [17] Grozdev, M. 2010. "Alternatif enerji kaynakları: Güneş enerjisi ve güneş pilleri", Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- [18] Sulaiman, D. R., Ameen, H. F., & Said, I. K. 2010. "Design of High Efficiency DC-DC Converter for Photovoltaic Solar Home Applications", *Journal of Energy and Power Engineering*, 4, 43-51.
- [19] Sayın, S., Koç, İ. 2011. "Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik (pv) sistemler ve yapılar da kullanım biçimleri", *Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Selçuk Üniversitesi*, 26, 89-106.
- [20] Shreelakshmi, M. P., Das, M., Agarwal, V. 2013. "High gain, high efficiency bi-directional DC-DC converter for battery charging applications in stand-alone Photo-Voltaic systems", In *Photovoltaic Specialists Conference*, 2857-2861.
- [21] Dereli, Z. 2013. "Simple and low-cost method of planning for tree growth and lifetime effects on solar photovoltaic systems performance", *Solar Energy*, 95, 300-307.
- [22] Çiftçi, A., Kırbaş, İ., İşyarlar, B. 2014. "Güneş pili kullanılarak Burdur'da bir evin ortalama elektrik ihtiyacının karşılanması", *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi*, 5, 14-17.
- [23] Ekici, B. B., Gulden, A. 2015. "Performance analysis of a grid connected PV system in Elazig province", *2nd International Sustainable Buildings Symposium, Gazi Üniversitesi*, 28-30 May, 2015, Ankara, 1-6.
- [24] Huang, Q., Huang, A. Q., Yu, R., Liu, P., Yu, W. 2019. "High-Efficiency and High-Density Single-Phase Dual-Mode Cascaded Buck--Boost Multilevel Transformerless PV Inverter With GaN AC Switches", *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34, 7474-7488.
- [25] Barater, D., Lorenzani, E., Concari, C., Franceschini, G., Buticchi, G. 2016. "Recent advances in single-phase transformerless photovoltaic inverters", *IET Renewable Power Generation*, 10, 260-273.
- [26] Manoj K., N., Sudhakar, K., Samyano, M. 2019. "Techno-economic analysis of 1 MWp grid connected solar PV plant in Malaysia ", *International Journal of Ambient Energy*, 40, 434-443.
- [27] Celsa G., Tina G.M., "MATLAB/Simulink Model of Photovoltaic Modules/Strings under Uneven Distribution of Irradiance and Temperature", *6th International Renewable Energy Congress (IREC), Tunisia*, (2015)
- [28] Jones M.A., Odeh I., Haddad M., Mohammad A.H., Quinn J.C., "Economic analysis of photovoltaic (PV) powered water pumping and desalination without energy storage for agriculture", *Desalination*, 387: 35–45, (2016)
- [29] Armakan, E., 2003. *Analysis of Two Axis Sun Tracking System*, Master of Science Thesis, Izmir Institute of Technology, Izmir, Turkey.
- [30] Roth, P., Georgiev, A., Boudinov, H., 2004. Design and construction of a system for suntracking. *Renewable Energy*, 29(3), 393--402. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(03\)00196-4](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00196-4)
- [31] Bakos, G. C., 2006. Design and construction of a two-axis Sun tracking system for parabolic trough collector (PTC) efficiency improvement. *Renewable Energy*, 31(15), 2411--2421. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.11.008>
- [32] Abu-Khader, M. M., Badran, O. O., Abdallah, S., 2008. Evaluating multi-axes suntracking system at different modes of operation in Jordan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(3), 864--873. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.10.005>

- [33] Chin, C. S., Babu, A., McBride, W., 2011. Design, modeling and testing of a standalone single axis active solar tracker using MATLAB/Simulink. *Renewable Energy*, 36(11), 3075--3090. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.026>
- [34] Seme, S., & Stumberger, G., 2011. A novel prediction algorithm for solar angles using solar radiation and differential evolution for dual-axis sun tracking purposes. *Solar Energy*, 85, 2757--2770. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.08.031>
- [35] Rhif, A., 2012. A Sliding Mode Control for a Sensorless Tracker : Application on a Photovoltaic System. *International Journal of Control Theory and Computer Modeling*, 2(2), 1--14. <https://doi.org/10.5121/ijctcm.2012.2201>
- [36] Yang, Y., He, X., Shao, R., Xu, S., Chang, L. 2014. "Multi-Input Single-Phase Grid-Connected Inverter for Hybrid PV/Wind Power System", *International Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 3, 35-42.
- [37] Orhun, M., 2013. Farklı Güneş Panellerinin Adaptif bir Güneş Takip Sistemi Üzerinde Yıllık Performanslarının Karşılaştırılması ve Güç Tahmini, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- [38] Rizal, Y., Wibowo, S. H., Feriyadi., 2013. Application of solar position algorithm for sun-tracking system. *Energy Procedia*, 32, 160--165. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.021>
- [39] Sohag, H. A., Hasan, M., Khatun, M., Ahmad, M., 2015. An accurate and efficient solar tracking system using image processing and LDR sensor. *Electrical Information and Communication Technology (EICT), 2015 2nd International Conference on, (Eict)*, 522--527. <https://doi.org/10.1109/EICT.2015.7392008>
- [40] Fathabadi, H., 2016. Novel high accurate sensorless dual-axis solar tracking system controlled by maximum power point tracking unit of photovoltaic systems. *Applied Energy*, 173, 448--459. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.109>
- [41] Atalay, Y., 2016. İki-eksenli Güneş Takip Mekanizmasına Sahip 1 KW'lık Fotovoltaik Güç Sisteminin Modellenmesi ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [42] Jones M.A., Odeh I., Haddad M., Mohammad A.H., Quinn J.C., "Economic analysis of photovoltaic (PV) powered water pumping and desalination without energy storage for agriculture", *Desalination*, 387: 35--45, (2016)
- [43] Lal S., Kumar P., Rajora R., "Performance analysis of photovoltaic based submersible water pump", *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, 5: 552-560, (2013)
- [44] Karadavut, A., "Yarı Kesik ve Tam Hücreli Fotovoltaik Modüllerin Matematiksel Modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2019).
- [45] Tsai H. L., Tu C. S., Su Y. J., (2008, October). Development of generalized photovoltaic model using MATLAB/SIMULINK. In *Proceedings of the world congress on Engineering and computer science (Vol. 2008, pp. 1-6)*.
- [46] Villalva M. G., Gazoli J. R., Ruppert Filho E., *IEEE Transactions on power electronics*, 24(5), 1198-1208 (2009).
- [47] Tutorial, P. S. I. M. How to Use Solar Module Physical Model. Powersim Inc. Accessed on 25 November 2019. <https://powersimtech.com/drive/uploads/2016/04/>

- [48] Bakım, M. (2016). Yeni Bir P&O Tabanlı MPPT Algoritması Tasarımı ve Performansının Testi Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [49] Yadav A.P.K., Thirumaliah S., International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering 1(1) (2012) 18-23.
- [50] Kurak E., Erdemir V., Dursun B., PV Sistemin İçin Maksimum Güç Noktası İzleyicisi Tasarımı ve Uygulaması, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi (2016)
- [51] Faranda, R., & Leva, S. (2008). Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems. *WSEAS transactions on power systems*, 3(6), 446-455.
- [52] DEMİREL, Hüseyin, Mehmet DEMİRTAŞ, And İpek ÇETİNBAŞ. "Solar Energy Conversion Systems Applications With Intelligent Algorithms."
- [53] Hohm, D.P., Ropp, M.E., "Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms", Progress in Photovoltaics: Research and Applications, John Wiley and Sons, Ltd, pp.47-62, 2001.
- [54] T.Noguchi, S.Togashi and R.Nakamoto, Short-Current Pulse-Based Maximum-Power-Point Tracking Method for Multiple Photovoltaic-and-Converter Module System, IEEE Trans. Ind. Electron., vol.49, no.1, pp. 217-223, 2002.
- [55] Morales, D.S., "Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Applications", Aalto University School of Science and Technology Faculty of Electronics, Communications and Automation, Master's thesis, 2010.
- [56] Salam, Z., Ahmed, J. and Merugu, B.S., "The application of soft computing methods for MPPT of PV system: A technological and status review", Applied Energy, Vol.107, p 135-148, 2013.
- [57] Tamer, S. and Karakuzu, C., "Parçacık Sürüsü Optimizasyon Algoritması ve Benzetim Örnekleri", ELECO 2006, p 302-306, Bursa, 2006
- [58] Esram, T., Chapman, P. L., "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques" IEEE Transactions On Energy Conversion, 22(2): 439-449 (2007).
- [59] Lee, K. H. (2004). *First course on fuzzy theory and applications* (Vol. 27). Springer Science & Business Media.