

T.C
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MAKSİMUM GÜÇ NOKTA İZLEYİCİ İÇİN KULLANILAN
ARTAN İLETKENLİK ALGORİTMASININ FPGA TABANLI
KOSİMÜLASYONU**

SEYRAN AY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DIYARBAKIR

Temmuz-2019

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DİYARBAKIR

Seyran AY tarafından yapılan “Maksimum Güç Nokta İzleyicisi İçin Artan İletkenlik Algoritmasının FPGA Tabanlı Kosimülasyonu” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Elektrik Elektronik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesinin

Ünvanı Adı Soyadı

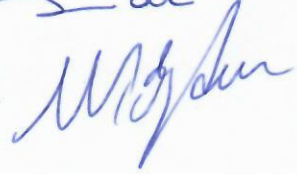
Başkan: Doç. Dr. Bilal GÜMÜŞ



Üye : Dr. Öğr. Üyesi M. Ali ARSERİM



Üye : DR. Öğr. Üyesi M. Temel ÖZDEMİR



Tez Savunma Sınavı Tarihi: 08/07/2019

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../.../20

Prof.Dr.Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında tezimizin konusunun belirlenmesinde, araştırma aşamalarında ve tamamlanmasında her türlü bilimsel desteği sağlayan değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi M. Ali ARSERİM'e sonsuz teşekkür ederim. Dicle Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümü akademisyenlerine, eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sabırla bu dönemde en büyük destekçim olan sevgili babama ve anneme teşekkür ederim.

Seyran AY



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	V
ABSTRACT.....	VI
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VII
ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII
KISALTMA VE SİMGELER.....	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	2
1.1.1 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Dünyadaki Durumu	3
1.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye'deki Durumu	5
1.2 Tezin Amacı.....	7
1.3 Tezin Yapısı.....	7
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	9
3. MATERYAL VE METOT.....	15
3.1. Güneş Enerjisi.....	15
3.2. Fotovoltaik Sistemlerin Tarihçesi.....	15
3.3. Fotovoltaik Sistem	15
3.3.1. N-Tipi Yarı İletken Oluşumu.....	15
3.3.2. P-Tipi Yarı İletken Oluşumu.....	16
3.3.3 P-N Kavşağı Oluşumu.....	16
3.4. Fotovoltaik Tanımlar	17
3.5. Güneş Hücreleri	18
3.5.1. Basitleştirilmiş Model	18
3.5.2. Tek Diyotlu Model.....	19
3.6. Fotovoltaik Sistem Özellikleri.....	20

3.7.	Fotovoltaik Sistem Türleri.....	21
3.7.1	Şebeke Bağlantılı Sistemler (ON-GRID)	21
3.7.2	Şebeke Bağlantısı Olmayan Sistemler (OFF-GRID)	22
3.8.	Doğru Akım Alternatif Akım Dönüştürücüler (Eviriciler)	23
3.8.1	Evirici Özellikleri.....	24
3.9.	Üç Fazlı Eviriciler.....	24
3.9.	Üç Fazlı Gerilim Kaynaklı Eviricilerde Darbe Genlik Modülasyonu.....	25
3.10.	Maksimum Güç Nokta İzleyicileri.....	27
3.11.	Maksimum Güç Nokta İzleyici Algoritmaları.....	27
3.11.1	Sabit Gerilim Yöntemi.....	28
3.11.2	Kısa Devre Akım Yöntemi.....	28
3.11.3	Açık Devre Gerilim Yöntemi.....	29
3.11.4	Tablo Kayıt Yöntemi.....	29
3.11.5	Parazit-Kapasite Yöntemi.....	29
3.11.6	Bozulma ve Gözlem Yöntemi.....	30
3.11.7	Bulanık Mantık Yöntemi.....	31
3.11.8	Artan İletkenlik Yöntemi.....	31
3.12.	Karşılaştırılmalı Olarak MGNİ Teknikleri.....	33
3.13.	DA-DA Dönüştürücü.....	34
3.13.1.	Yükseltici (Boost) Çevirici.....	34
3.14.	FPGA ve System Generator.....	37
3.14.1	FPGA'nın Tarihçesi.....	37
3.14.2	FPGA'nın Özellikleri.....	38
3.14.3	FPGA Çalışma Prensipleri.....	39
3.14.4	FPGA Yapısı.....	39
3.14.5	System Generator.....	40
3.15	Basys3 Kartı ve Kosimülasyon.....	40
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	43
4.1.	System Generator İle Model Oluşturma.....	43

4.2.	Şebeke Bağlı Sistemler ve DÜGES.....	44
4.3	Simulasyon Modeli.....	45
4.4.	Modelin Simülasyon ve Kosimülasyon Sonuçları.....	47
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	51
6.	KAYNAKLAR.....	53
	ÖZGEÇMİŞ.....	57



ÖZET

MAKSİMUM GÜÇ NOKTA İZLEYİCİ İÇİN KULLANILAN ARTAN İLETKENLİK ALGORİTMASININ FPGA TABANLI KOSİMÜLASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seyran AY

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK ANABİLİM DALI

2019

Fosil yakıtların yakın gelecekte tükeneceği öngörüsüyle, son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakların kullanımına yönelim hızla artmaktadır. Bu kaynaklardan en önemlisi dünyamızı aydınlatan ve ısıtan güneştir. Güneş ışığından Fotovoltaik paneller (FV) kullanılarak elektrik enerjisi üretmek mümkündür. Günümüzde FV panellerin verimi çok yüksek değildir. Bununla birlikte güneş ışığının geliş açısı ile çevresel ve atmosferik koşullara bağlı olarak güneş ışığının şiddeti değişmektedir. Bunlar dikkate alınarak güneş ışığından maksimum verim elde etmek için maksimum güç noktası algoritmaları kullanılmaktadır. Artan iletkenlik algoritması FV panelin ürettiği akım ve gerilimin ardışıl değerlerinin farkına göre akım ve gerilim çalışma noktasını maksimum güç üretecek şekilde oluşturulan bir Maksimum Güç Noktası İzleyici algoritmasıdır. Bu algoritmanın en önemli özelliklerinden birisi de programlanmaya uygun olmasıdır. Dolayısıyla Digital Signal Processor (DSP) ve Field Programmable Gate Array (FPGA) gibi işlemcilerde bu algoritma çalıştırılabilmektedir. FPGA'nın en önemli özelliklerinden birisi algoritmanın donanımsal ve paralel olarak çalıştırılabilmesidir. Böylece hızı 100 MHz'ler seviyesinde olan bir FPGA günümüz bilgisayarlarından daha hızlı işlem yapabilmektedir. Dicle Üniversitesi arazisinde kurulan 250 kW'lık bir fotovoltaik santralin 10 kWatt'lık bir eviricinin atmosferik koşullarının değişkenlik gösterdiği bir güne ait 13.5 saatlik verileri 8 saniye olarak kaydedilmiştir. Bu verilerle birlikte Bu tezde artan iletkenlik algoritması MATLAB/Simulink benzetim programında Sistem Generator ile sağlanan Xilinx FPGA'larına özgü bloklarla oluşturulmuştur. Bu eviricinin şebekeye bağlı modelinde FPGA'da oluşturulan model simüle edilmiştir. Elde edilen simülasyon sonucu eviricinin Doğru Akım (DA) güç girişiyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu modelin BASYS3 FPGA deneme kartıyla kosimülasyonu yapılmıştır. Sonuç olarak simülasyon ve kosimülasyona ait verilerin tamamıyla aynı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Maksimum Güç Noktası İzleme; Artan iletkenlik algoritması, Basys3;donanım kosimülatörü

ABSTRACT

IMPLEMENTING AND COSIMULATION OF FPGA-BASED INCREMENTAL CONDUCTANCE ALGORITHM USED IN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT)

MsC THESIS

Seyran AY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2019

With the prediction that fossil fuels will be depleted in the near future, renewable energy resources is increasing rapidly in recent years. The most important source among them is the solar energy which illuminates and warms our world. It is possible to generate electricity by using photovoltaic panels from illumination. Nowadays the efficiency of PV panels is not very high. Also, it is changing depending on environmental and atmospheric conditions, the intensity of sunlight varies with the angle of incidence of sunlight. Considering these, maximum power point algorithms are used to obtain maximum efficiency from sunlight. Incremental conductance algorithm is a maximum power point tracking algorithm which is used to generate maximum power to the current and voltage operating point according to the difference of the successive values of current and voltage produced by PV panel. . One of the most important features of this algorithm is that it is suitable for programming. Therefore, algorithms can be run in processors such as Digital Signal Processor (DSP) and Field programmable Gate Array (FPGA). One of the most important features of FPGA is that the algorithm can be run in hardware and parallel. Thus, FPGA is able to process faster speed of 100 MHz than today's computers. The data of 13.5 hours of a day in which the atmospheric conditions of an inverter of a 250 kW photovoltaic plant in Dicle University varied. Along with this data, the Incremental Conductance algorithm in this thesis was created with blocks specific to Xilinx FPGA's provided by System Generator in MATLAB/ Simulink simulation program. In the grid connected model of this inverter, the model created in FPGA is simulated. The result of the simulation was compared with the DC power input of the inverter. In addition, this model has been coordinated with the BASYS3 FPGA experimental kit. As a result, it was observed that the data for simulation and cosimulation were the same.

Keywords: Maximum power point tracking; incremental conductance, Basys3; Hardware cosimulation

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>		<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1.	Maksimum güç nokta izleyici algoritmalarının karşılaştırılması	33
Çizelge 4.1.	Panellerin etiket değerleri	44



ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1.	Yenilenebilir enerji kaynaklarının kapasitesi	3
Şekil 1.2.	Dünya Güneş ışınlm haritası	4
Şekil 1.3.	Türkiye'nin yatay toplam ışınlm potansiyeli haritası	5
Şekil 1.4.	Ocak 2019 itibariyle lisanssız elektrik kurulu gücünün, kaynaklara göre dağılımı	6
Şekil 1.5.	Ocak 2019 itibariyle lisanssız elektrik üretiminin, kaynaklara göre dağılımı	7
Şekil 3.1.	N tipi yarı iletken	16
Şekil 3.2.	P tipi yarı iletken	16
Şekil 3.3.	P – N Kavşağının Oluşumu	17
Şekil 3.4.	Panelden dizi yapılması	18
Şekil 3.5.	Güneş hücresi eşdeğer şeması	18
Şekil 3.6.	Güneş hücresi basitleştirilmiş elektriksel modeli	18
Şekil 3.7.	Güneş hücresi tek diyotlu elektriksel modeli	20
Şekil 3.8.	Farklı sıcaklık değerleri için akım gerilim ve güç gerilim eğrileri	20
Şekil 3.9.	Farklı ışınlm değerleri için akım gerilim ve güç gerilim eğrileri	21
Şekil 3.10.	Şebeke bağlantılı sistem genel gösterimi	22
Şekil 3.11.	Şebeke bağlantısı olmayan sistem genel gösterimi	23
Şekil 3.12.	Evirici sistemi temel blok şeması	23
Şekil 3.13.	Üç fazlı evirici devresi	23
Şekil 3.14.	Üç fazlı sinüzoidal dalga ile üçgen dalga karşılaştırılması	25
Şekil 3.15.	Van'a ait üç fazlı Pwm dalga şekli	26
Şekil 3.16.	Vbn'e ait üç fazlı Pwm dalga şekli	26
Şekil 3.17.	Van- Vbn Üç fazlı Pwm dalga şekli	27
Şekil 3.18.	Maksimum güç nokta izleyici kontrol algoritması	28
Şekil 3.19.	Bozulma ve gözlem algoritması	30
Şekil 3.20.	FV panelin karakteristik eğrisi ve artan iletkenlik	31
Şekil 3.21.	Artan iletkenlik algoritması	32

Şekil 3.22.	DA-DA yükseltici çevirici	35
Şekil 3.23.	Yükseltici DA-DA dönüştürücünün iletim ve kesim durumu	35
Şekil 3.24.	FPGA iç yapısı	40
Şekil 3.25.	BASYS3 FPGA deneme kartı	41
Şekil 4.1.	System Generator İkonu	43
Şekil 4.2.	System Generator penceresi	43
Şekil 4.3.	System Generator penceresi	44
Şekil 4.4.	Matlab/simulink simülasyon modeli	46
Şekil 4.5.	Oluşturulan artan iletkenlik algoritması	47
Şekil 4.6.	Modelde kullanılan ısıma ve sıcaklık eğrileri	48
Şekil 4.7.	İnverter'e ait akım ve gerilim çıkışları	49
Şekil 4.8.	Simülasyona ait akım ve gerilim çıkışları	49
Şekil 4.9.	Simüle edilmiş ve ölçülmüş FV panel çıkış DA gücü	50
Şekil 4.10.	Simülasyon ve kosimülasyon DA güç çıkışları	50

KISALTMA VE SİMGELER

FPGA	:Field Programmable Gate Array. Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
IRENA	: Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
PWM	: Darbe Genlik Modülasyonu
DSP	: Digital Signal Processor- Dijital Sinyal İşlemci
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
GEPA	: Güneş Enerji Potansiyeli Atlası
CPLD	: Karmaşık Programlanabilir Lojik Devre
HDL	: Hardware description language .donanım tanımlama dili
LUT	: Look-up-Table, FPGA içinde yer alan danışma tablosu
PLL	: Phase Locked Loop- Faz kilitleme çevirimi
SRAM	: Static Random Access Memory- Durağan Rastgele Erişimli Bellek
MGNİ	: Maksimum Güç Nokta İzleyici
DÜGES	: Dicle Üniversitesi Güneş Enerji Santrali
PPT	: Güç Nokta İzleyici
DA	: Doğru Akım
AA	: Alternatif Akım
I_d	: Diyot Akım
I_{ph}	: Foton Akımı
I	: Panel çıkış akımı
I_s	: Diyotun Ters Yönde Doyma Akımı
Hz	: Hertz
ms	: Milisaniye

1. GİRİŞ

Günümüzde Elektrik üreten enerji kaynakları arasında fosil yakıtlar, nükleer yakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynakları vardır. Fosil yakıtlar; petrol, kömür, doğalgaz olarak sıralanabilir. Bu kaynaklar milyonlarca yıl önce yer kabuğuna gömülmüş olan basınç ve ısı etkisine maruz kalan fosillerden meydana gelmiştir. Bu fosil yakıtlar yüksek oranlarda karbon ve hidrojen bulundurmaktadır.

Fosil yakıtların yakılmasıyla birlikte içlerinde barındırdıkları nitrojen oksit, sülfür oksit ve karbondioksit gibi zehirli gazların salınımına yol açmaktadır. Bu gazların salınımı beraberinde çevre kirliliğini getirmektedir. Var olan bu durumlar araştırmacıları yenilenebilir, temiz, güvenilir, ekonomik alternatif enerji kaynaklarına doğru yönlendirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları hidrolik güç, biyokütle, rüzgar, hidrojen, dalga, jeotermal ve güneş enerjisini içermektedir (Rashid, 2015).

Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında çok büyük öneme sahiptir. Güneş enerjisinin temelini oluşturan Fotovoltaik (FV) malzemeler gün ışığını elektrik enerjisine dönüştürmektedirler. Bu sistemler genel olarak da solar hücreler olarak bilinmektedir (El-Sharkawi, 2008).

Fotovoltaik sistemlerin ısınım süresi, elektrik enerjisini dönüştürme verimliliği, solar panellerden üretilen enerji miktarının, hava ve bulunduğu iklimin şartlarına göre değişkenlik göstermesi beraberinde bazı sıkıntılar doğurmuştur. Bu dezavantajları ortadan kaldırmak için FV sistemlerde FV panel sıcaklığına ve ışıma bağlı olarak değişkenlik gösteren Maksimum Güç Noktasının (MGN) sürekli olarak takip edilerek FV panel çıkış gücünün yüksek seviyelerde tutabilmek adına Maksimum Güç Noktası İzleyici (MGNİ) teknikleri kullanılmaktadır. Literatür incelendiğinde Bozulma ve Gözlem Yöntemi, Kısa Devre Akım Yöntemi, Açık Devre Gerilim Yöntemi, Tablo Kayıt Yöntemi, Parazit-Kapasite Yöntemi, Sabit Gerilim Yöntemi, Bulanık Mantık Yöntemi ve Artan İletkenlik Algoritması teknikleri sıralanabilir. Bu tekniklere ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak değinilmiştir.

Bu tez kapsamında MGNİ algoritmalarından Artan iletkenlik algoritması kullanılmıştır. Bu yöntemin temelinde gücün gerilime göre değişiminin takibi yapılarak maksimum güç noktası takibi gerçekleştirilir. Gücün gerilime göre türevinin sıfıra eşit olduğu noktada gücün değeri maksimumdur (Amine ve ark. 2014).

FV panelin çalışma noktası akım gerilim karakteristiğine bağlı olarak saptanır. Bu işlemlerin hızlı bir şekilde yapılabilmesi için iyi bir donanım ihtiyacı duyulur. Alanda Programlanabilir Kapı Dizisi (Field Programmable Gate Array (FPGA)) dair giriş çıkıştaki gecikmeleri kontrol edebilme özellikleri ile işlemin gerçekleştirebilmesi için yüksek bir hız sağlayabilmektedir (Faranda ve Leva, 2008).

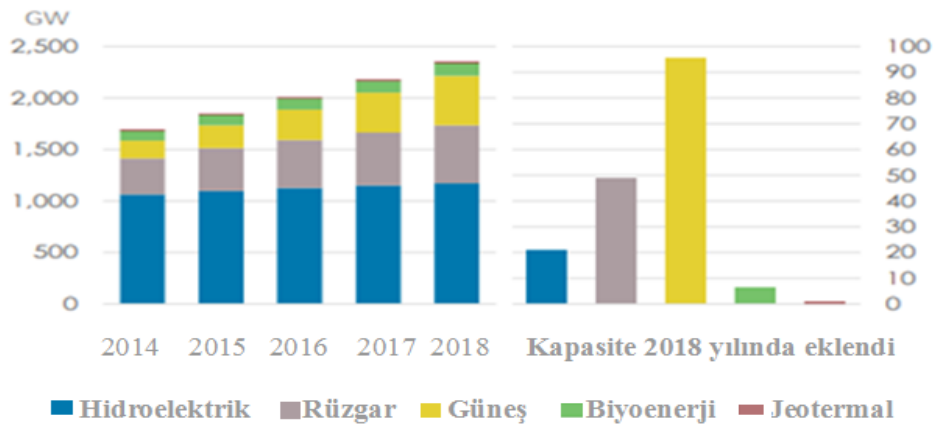
MATLAB ilk olarak kontrol mühendisliğindeki araştırma meraklıları mühendisler tarafından kullanılan ve Günümüzde de eğitim alanı başta olmak üzere doğrusal cebir ve sayısal analiz gibi alanlarda kullanılan dördüncü nesil bir yazılım programıdır. İstatistik, nümerik analiz, optimizasyon ve fourier analizi gibi matematiksel hesapları etkin ve hızlı bir şekilde yapabilmelerinden kaynaklı bilim insanları çevresinde oldukça popüler bir dildir. Simulink ise MATLAB ile beraber çalışan bütünleşmiş bir simülasyon ortamı olarak tanımlayabiliriz. Karmaşık sistemleri tasarlayabilme ve simülasyon olanakları sağlayarak yapılacak, sistemin test aşamalarında, bilgisayar kontrolünde kullanıcıya bağlı bir kontrol sağlayabilmektedir. Simulink zengin bir kütüphaneye sahiptir. Araç kutularından biri olan Simscape Araç kutusu ile mekanik, robotik, elektrik ile ilgili bir çok simülasyon yapılabilmektedir. Ayrıca elektrik şebekeleri analizi için simscape araç kutusunda mevcuttur. MATLAB/ Simulink simülasyon programında var olan donanım kosimülatörü ile Artan iletkenlik algoritmasıyla oluşturulan algoritma FPGA’da gerçekleştirilebilmektedir. FPGA ile gerçekleştirilen algoritma ise System generator tarafından desteklenir. System generator yapılmak istenen FPGA tasarımının simulink ortamında oluşturulabilmesi için Xilinx firması tarafından üretilen Sayısal İşaret İşleme (Digital Signal Processor (DSP) uygulama aracıdır. FPGA tasarımı ile oluşturulması çok daha az sayıda bilgi gerektirerek, Xilinx araç kutusuna özel olan blokların kullanılmasıyla yapılmaktadır. (Xilinx, 2017). Sistemin donanımsal kosimülatörü System generator tarafından desteklenmektedir. Desteklenen donanımsal kosimülatörün, Xilinx araç kutusuna özel olan bloklar ile xilinx donanımında çalıştırılabildiğinden, benzetim hızı oldukça yüksektir.

1.1.Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Dünya genelinde enerjiye duyulan ihtiyaç yıllık olarak %5-6 oranında değişim göstermektedir ve bu var olan ihtiyacı karşılayacak fosil yakıt rezervleri hızlı bir şekilde tükenme tehdidi ile karşı karşıya kalmaktadır(Uğurel,2008). Araştırmacıların ön gördüğü

verilere baktığımızda 2030 ile 2050 yılları arasında petrol kaynaklarının hızlı bir şekilde tükenmekte olacağını ve var olan enerji ihtiyacımızı karşılamayacağından bahsetmektedirler(Temiz, 2008). Diğer fosil yakıtlar (kömür, doğalgaz) kullanımları için de tablo benzerdir. Kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtların içeriğinde bulunan hidrokarbon ekolojik ortam için tehdit unsuru oluşturmaktadır. Ekolojik dengeyi bozması asit yağmurlarına neden olması havanın karbondioksit dengesini bozarak iklim değişikliklerine yol açmasından dolayı yeni, temiz, kaliteli, güvenilir, ekonomik ve sürdürülebilir olan yenilenebilir enerji kaynağına olan talep hızla artmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, kaynağı doğal yoldan temin edilen ve sürekli olarak kendini yenileyebilecek olan bir kaynak olarak tanımlanabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarını temel olarak, güneş enerjisi rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, hidrojen enerjisi olarak sıralanabilir. (Irena,2018).



Şekil 1. 1. Yenilenebilir Enerji kaynaklarının Kapasitesi

1.1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Dünyadaki Durumu

Yenilenebilir enerji, daha az karbon ve daha sürdürülebilir bir enerji sistemine geçişin merkezini oluşturmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) IEA'dan alınan veriler doğrultusunda Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarına bağlı tüketimin 2018 yılı itibarıyla %24'lerde olduğunu ileriye yıllarda bu yüzdelik dilimin artacağını öngörmektedirler.

Yaklaşık olarak 2020'ye geldiğimizde Dünyada tüketilen enerjinin dörtte biri kadarının yenilenebilir kaynaklardan temin edileceği de öngörülmektedir



Şekil 1. 2. Dünya Güneş ışınlam haritası

Japonya gibi fosil yakıt rezervlerinden yoksun ülkelerin ve enerji ihtiyaçlarını ithalat yoluyla temin etmeye çalışan ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yatırım yapmasıyla gelişme göstermiştir. Aynı zamanda devlet tarafından yenilenebilir enerji teknolojisi için katkı payının da giderek artması ve yatırımların yapılması da popülerliğin artma nedenleri arasında söylenebilir. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) 2019 yılı başında yayınladığı raporda yenilenebilir enerji kurulu gücünün 2018 yılında totalde 171 GW'lık bir artış olduğunu öne sürmüştür. Var olan bu artışın 94 GW'lık kısmı güneş enerjisinde, 49 GW'lık bölümünde rüzgar enerjisinden elde edilmiştir. Alınan bu son verilerle Enerji talebi doğrultusunda yapılan çalışmaların, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini bir kez daha ortaya koymaktadır. IRENA'dan alınan verilere göre bu denli kapasite artışına katkı sağlayan Asya ülkelerinden toplam yenilenebilir enerji kapasitesi 24 GW'dır. Amerika ve Avrupa kıtalarında ise sırasıyla 592 GW ve 536 GW şeklinde kayıtlarda mevcuttur (Renewables, 2018).

Yenilenebilir enerji teknolojisine olan yatırımlara genel bir bakış attığımızda Dünya Genelinde belli başlı teknolojilerde lider isim olan Çin'in bu teknolojiye de 2016 yılı itibarıyla liste başında görülmektedir. Listedeki diğer Ülkeler ABD, Japonya, Hindistan Birleşik Krallıktır (Renewables, 2018). Ülkeleri, güneş enerjisi kullanım düzeyine göre ele aldığımızda Almanya, Danimarka ve İspanyanın lider olduğunu görüyoruz. Almanya'nın bu konuda önemli bir noktada olduğunu vurgulamak gerekir. Güneşli gün sayısının şaşırtıcı bir şekilde az olmasına karşın, fotovoltaik sistemler kurarak ve ülke çapında bilim kurumları

Oluşturularak devasa yatırımlar yapılmaktadır. Bu denli gelişmiş bir teknolojiyle de Dünyaya endüstriyel malzeme satıldığı görülmektedir.

1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye'deki Durumu

Türkiye 783.562 km² alana sahip olup Güneşli bir kuşaktır. Güneş enerjisi potansiyeline baktığımızda konumsal olarak çok iyi bir kuşakta yer almaktadır. Güneş enerjisi potansiyeli atlasından (GEPA) alınan 2018 verilerine göre yıllık olarak 2.741 saat güneşlenme süresi ile yatayda aldığı güneş ışınım şiddeti 1.527 kWh/m²'dir (Elektrik işleri etüt idaresi, 2018).

Türkiye'de Güneş enerjisi ilk olarak 1960'lı yıllarda alternatif bir enerji kaynağı olarak gündeme gelmiştir. Gündeme geldikten kısa bir süre sonra, yatırımcıların ilgisini çekmeyi başarmıştır ve üniversitedeki akademisyenlerin tez konularını oluşturarak çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. 1970'lerin sonlarına doğru, Dünya genelindeki güneş enerji gelişmelerine paralel bir biçimde ülkemizde de ısı uygulamalarda hızlı bir şekilde ivme kazanmıştır.

Türkiye yenilenebilir enerji potansiyeli açısından iyi bir ölçekte olmasına karşın üretim seviyesi bazında düşük bir potansiyeli vardır. Enerjiden faydalanabilme ile, potansiyeli arasındaki ters orantının sebeplerine baktığımızda maliyetler ve yasal düzenleme noktasındaki noksanlıklar, teknolojik açıdan geri kalmışlık ve dışa bağımlılık gibi birçok faktör ile karşı karşıya kalınmaktadır. Türkiye'nin yatay toplam ışınlam potansiyeli Şekil 1.3'de verilmiştir.

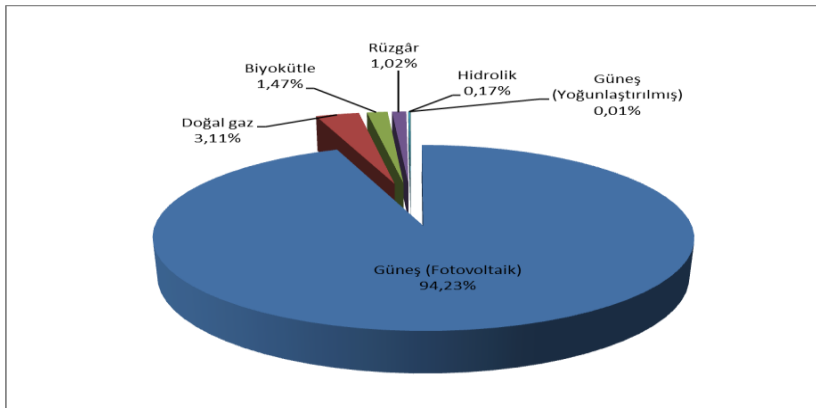


Şekil 1. 3. Türkiye'nin yatay toplam ışınlam potansiyeli haritası (www.solar-medatlas.org)

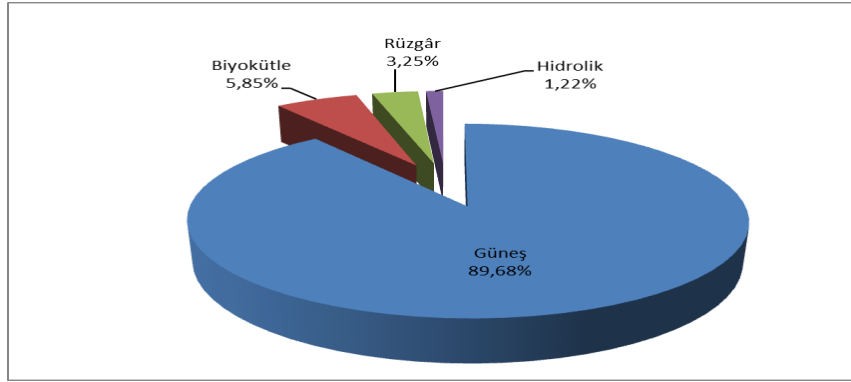
Türkiye için ilerleyen süreçlerde yenilenebilir enerji politika ve stratejilerini aşağıdaki gibi sıralayabilmekteyiz. (Karagöl ve Kavaz, 2017)

- ✓ Fosil yakıtlara olan ihtiyacı ve fosil yakıttan kaynaklanan etkileri azaltma maçına yönelik yenilenebilir enerji üretim ve tüketimine teşvik etmek.
- ✓ Yenilenebilir enerji kaynakları vasıtasıyla üretilen elektriğin minimum yüzde 30'larda tutmak.
- ✓ Var olan yenilenebilir temiz enerji kaynakları ile yapılan üretim miktarlarında hız kazandırmak.

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları incelenmesi araştırılması ve popülerliğin artması hususunda en iyi çıkış tarihini 2009 olarak söyleyebilmekteyiz. 2009 yılında yenilenebilir enerji üretimindeki toplam güç kayıtlara 15,5 GW İken 2019 Yılında Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) den alınan kayıtlara göre; Türkiye’nin elektrik kurulu güç kapasitesinin 89.04609 MW’lara ulaştığını bu dilime ait yenilenebilir enerji kaynaklarının ve hidroelektrik santrale dayalı gücün ise sırasıyla 22.393.5 MW ile 20.538 MW olarak kaydedildiği görülmektedir. (<https://yesilekonomi.com/kurulu-guc-89-mwi-asti>) . Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumunun (EPDK) 2019 yılı Ocak Ayına ait lisanssız elektrik kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı ve lisanssız elektrik üretimin kaynaklara göre dağılım grafikleri şekil 1.4 ve şekil 1.5’de verilmiştir. Ocak 2019 itibariyle yenilenebilir enerji kaynaklarından Güneş’in %94.23 olduğu kaydedilmiştir. Yazılan raporda da çarpıcı bir şekilde fotovoltaik sistemlerin önemi bir kez daha ortaya koymaktadır.



Şekil 1.4. Ocak 2019 itibariyle lisanssız elektrik kurulu gücünün, kaynaklara göre dağılımı (%) (EPDK,2019)



Şekil 1.5. Ocak 2019 itibariyle lisanssız elektrik üretiminin, kaynaklara göre dağılımı (%) (EPDK,2019)

1.2. Tezin Amacı

Bu tezde Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santrali (DÜGES) verileri kullanılarak, bu santralin bünyesinde bulunan 10 kW’lık inverteri ve şebeke bağlantısı için bir simulink modeli oluşturulmuştur. Bu tezin amacı ise yukarıda bahsedilen 10 kW’lık inverter için kullanılacak maksimum güç nokta izleyici algoritması olarak artan iletkenlik algoritmasının Xilinx özel bloklarıyla oluşturmak, aynı zamanda bu modelin kosimülasyonunu yapmaktır.

1.3. Tezin Yapısı

Yapılan çalışma altı farklı bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler: Giriş, Kaynak Özeti, Materyal Metot, Bulgular ve Uygulama, Sonuç ve Tartışma, Kaynaklardır.

Çalışmanın giriş bölümünde, genel bilgi verilmiş Dünya’da, Türkiye’de Güneş enerjisi anlatılarak Tezin Amacı ve Tezin Yapısından Bahsedilmiştir.

Kaynak özeti bölümünü hazırlanan tez ile ilgili literatür de yapılan çalışmalar oluşturmaktadır.

Çalışmanın materyal metot bölümünde, Fotovoltaik Sistemlere detaylı bir giriş yapılarak Güneş Hücresi fiziksel ve elektriksel modelleri verilmiştir. Güneş Hücrelerinin temelini oluşturan p ve n tipi jonksiyonlar verilmiştir. Aynı zamanda Maksimum Güç Nokta izleyici algoritmaları kapsamlı bir şekilde değerlendirilerek kullanımı yaygın algoritmalarından bahsedilmiştir. Tezin çıkış noktasını oluşturan artan iletkenlik algoritması ve yükseltici tip dönüştürücü bu bölümde anlatılmıştır. FPGA ve Xilinx firması tarafından MATLAB/ Simulink editörü için sağlanan System Generator aracına bu bölümde yer verilmiştir. Çalışmanın bulgular ve uygulama kısmında MATLAB/

Simulink ortamında oluşturulan Model verilerek panelin değer aralıkları tablo edilmiştir. DA-DA güç çıkışındaki anahtarlama frekansı 10 kHz seçilmiştir. Simüle edilen ve ölçülen değerler için panel çıkış güç grafikleri bu bölümde verilmiştir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Fotovoltaik yapılarda sıcaklık, güneş ışınımı ve panel yüzeyi gibi parametrelerin farklılık göstermesi sebebiyle, maksimum güç noktasının çalışacağı çalışma noktası sürekli olarak değişmektedir. Bu farklılıklardan kaynaklı olarak fotovoltaik yapılardan yüke doğru aktarılan gücü artırmak için maksimum güç noktası izleyici sistemleri geliştirilmiştir.

Hussein, K.H., Muta, I., Hoshino, T. ve Osakada M., Artan İletkenlik Algoritmasının sürekli değişen hava koşullarında daha iyi sonuçlar alındığını söylemiştir (Hussein ve ark., 1995)

Hohm, D.P. ve Ropp, M.E., iklimsel koşulları göz önüne alarak farklı yük elemanlarıyla yapılan performans sonuçlarına göre maksimum verimliliğin Artan İletkenlik algoritmasıyla sağlandığını öne sürmüştür (Hohm ve Ropp, 2009).

Hua, C., ve Shen, C., farklı ışınım seviyelerinde alınan sonuçlar ile seviye farklarına rağmen artan iletkenlik algoritmasının en iyi performansı gösterdiğini ileri sürmüştür.

Nakir İ., Fotovoltaik yapılar için uygun bir maksimum güç takip algoritması ile verimliliğin artırılması adlı doktora tezinde hareketli bir düzeneğe için dört ayrı güç takip algoritması üzerinde yaptığı çalışmada performans olarak en iyi algoritmanın artan iletkenlik algoritması olduğunu öne sürmüştür (Nakir, 2012).

Yunus Emre Keskin, Mustafa Engin Başoğlu ve arkadaşları, fotovoltaik sistemlerde bozulma gözlem ve artan iletkenlik algoritmalarını karşılaştırmıştır. Algoritmalara ait farklı iklim koşullarındaki gerilim ve akım eğrileri karşılaştırılmış benzer güneş ışımlarında iki algoritmanın da yakın sonuçlar verdiğini ve buna karşın daha az güneş ışımlarında ise artan iletkenlik algoritmasının çok daha iyi sonuç verdiğini ileri sürmüştür (Keskin ve ark., 2014).

Hua ve Shen 1998 yılında bozulma ve gözlem algoritması, gerilim geri besleme metodlarının kullanıldığı maksimum güç nokta izleyicileri üzerine inceleme yaparak Digital Signal Processor (DSP) tabanlı sistemde gerçekleştirmişlerdir. Artan iletkenlik ile Bozulma ve Gözlem algoritmasının güç noktası izleme verimlerinin %80'in üzerinde

olduğunu, gerilim geri besleme metodu içinse bu oranın %60'larda olduğunu ileri sürmüşlerdir (Hua ve Ark. 1998).

Dezso S., Laszlo M., , Tamas K., , Sergiu S., , Remus T., 2013 yılında bir makale yayınlamışlardır. Bu makale de maksimum güç nokta izleyici algoritmalarından artan iletkenlik ve bozulma ve gözlem algoritması için detaylı bir analiz yapmışlardır. Analiz sonuçlarına göre iki algoritma içinde matematiksek olarak ve kullanım sırasında ki uygunlukları karşılaştırılmıştır. Bozulma ve gözlem algoritması ile artan iletkenlik algoritmalarının matematiksel olarak analizinde aralarında hemen hemen hiçbir fark olmadığını otaya koymuşlardır (Dezso ve ark., 2013).

Ramdan B. A. Koad, Ahmed. F. Zobaa, tarafından 2014 yılında yayınlanan bir makalede Maksimum güç noktası izleyici algoritmalarından artan iletkenlik(IC) , bozulma ve gözlem algoritması(P&O) ve Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritmalarını yakınsama hızları, maliyetleri ve performansları açısından verimlilikleri izlenmiştir. MATLAB üzerinden simülasyon sonuçları alınmış ve artan iletkenlik algoritmasının en iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir (Ramdan ve ark., 2014)

Saravanan S., Thangavel S., Gomathy S., tarafından 2012 yılında yayınlanan bir makalede artan iletkenlik algoritmasıyla kontrolü gerçekleştirilen düşürücü-yükseltici tip dönüştürücü MATLAB/SIMULINK de geliştirilmiştir. Yapılan çalışmada artan iletkenliğin değişken adım büyüklüğü sebebiyle izleme hızı ve maksimum güç değeri etkin bir biçimde artırılmıştır. Bu çalışmada ani değişiklik gösteren çevre koşulları için, sistem maksimum güç noktası takibini hızlı bir şekilde izleyebilmektedir (Gomathy ve ark., 2012).

Dipasri Das 2012 yılında yayınladığı yayında bozulma ve gözlem algoritmasının FPGA tabanlı uygulamasını MATLAB' da gerçeklemiştir. Uygulama devresinde yükseltici tip dönüştürücü kullanılmıştır. Uygulama sonunda güneşlenme artışına bağlı olarak güç ve gerilimin arttığını ve eğer giriş gerilimin 20 V olarak uygulanırsa çıkış gerilimin yaklaşık olarak 45 V denk geleceğini de deneysel sonuçlarla ileri sürmüştür (Das, 2012).

Duy C. Huynh, Thu AT Nyugen, Matthew W. Dunnigan, Markus A. Mualler tarafından 2013 yılında yazılan yayında Çeşitli hava koşulları altında Maksimum güç nokta izleyici algoritmalarından Bozulma ve Gözlem algoritmasının daha iyi sonuçlar

verdiğini belirtmiştir. Aynı zamanda bu algoritmanın daha basit ve Dijital Sinyal işlemcide (DSP) kolayca uygulanabilir olduğunu ortaya koymuştur (Duy ve ark., 2013).

Rasoul Faraji, Amin Rouholamini, Hamid Reza Naji, Roohollah Fadaeinedjad, Mohammad Reza Chavoshian tarafından 2013 yılında yayınlanan yayında matematiksel modeliyle önerilen artan iletkenlik algoritmasının MATLAB/ Simulink- system generator ortamı kullanılıp modelleme yapılmıştır. FPGA'nın yüksek işlemci hızı tasarlanan MGNI sistemi için dijital denetleyici performansını artırmış olduğunu ileri sürmüştür ve Buna ek olarak algoritma için önerilen yöntemin iyi bir izleme hızı ile çıkış gücündeki dalgalanmanın azalttığını göstermektedir (Faraji ve ark., 2013).

Tariq ve Asghar (2006), mikro denetleyici tabanlı bir maksimum güç nokta izleyicisi üzerine çalışma yapmıştır. Bozulma ve gözlem ile maksimum güç noktası gerilimi (VMGN) algoritmaları gerçekleştirilmiştir. Alınan sonuçlara göre hızlı değişen iklim koşullarında bozulma ve gözlem algortimasında enerji kayıplarının olduğu saptanmış VMGN algoritmasında ise salınımların çok daha iyi olduğu ileri sürülmektedir. Düşürücü, yükseltici, düşürücü-yükseltici tip dönüştürücüler kaskat bağlanabilen DA-DA dönüştürücüler olarak kabul edilir. DA/DA çeviricilerin fotovoltaiik panellere kaskat bağlantılarını inceleyen bir çalışmayı da Walker ve Sernia, (2004), yapmışlardır. MATLAB simülasyonları her topoloji verimliliğini karşılaştırmanın yanı sıra artan maliyet ve yararlarını değerlendirmek için kullanılmıştır. Düşürücü tip ve Yükseltici tip dönüştürücüler gösterilen en verimli topolojiler olmakla birlikte belirli bir maliyet ile en iyi uzun dizeleri elde etmek için ve kısa dizeleri artırmak için uygundur. Gerilim aralıkları, düşürücü-yükseltici dönüştürücüler için esnek bir etkinlik ya da alternatif maliyet dezavantajı her zaman olmaktadır (Walker ve Sernia, 2004).

Maksimum güç izleyici solar fotovoltaiik modülünden maksimum güç çekebilmek için kullanılır. Bu çalışma, bir rezistif yüke bağlı SFV modülü için bir maksimum güç noktası izleyiciyi (MGNI) gerçekleştirir. MGNI algoritması kontrol etmek için kişisel bilgisayar kullanılır. Güç izleyici laboratuvarında başarıyla geliştirilmiş ve test edilmiştir (Chaudhari, 2005).

Dorin Petreus, Daniel Moga, Adina Rusu, Toma Patarau ve Stefan Daraban 2010 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada bozulma ve gözlem, artan iletkenlik ve bulanık mantık algoritmalarını karşılaştırmıştır. Uygulamadan alınan benzetim sonuçlarına göre artan iletkenlik algoritmasının fazla matematiksel işlem gerektirdiğini, bulanık mantık

algoritmasında uygulama zorlukları olduğu ve bozulma ve gözlem algoritmasında ise maksimum güç noktasına daha hızlı ulaştığını ifade etmişlerdir.

A. Safari ve S. Mekhilef 2011 yılında yaptıkları çalışmada düşürücü DA-DA dönüştürücü devresi temel alınarak artan iletkenlik algoritmasının MATLAB/Simulink programı ile gerçekleştirmiştir. Yaptıkları çalışmada KC85T modelinde güneş panelinin iklim koşullarının değişkenlik gösterdiği bir günde çalışma eğrileri belirlenmiş ve benzetimi gerçekleştirilmiştir. Alınan sonuçlara göre de artan iletkenlik algoritmasının maksimum güç noktası tespiti konusunda yüksek bir verim sağladığı öne sürülmüştür.

Xiao ve ark. (2007), yaptıkları başka bir çalışmada ise fotovoltaik güç sistemlerinde, fotovoltaik modüller ve karakteristik, ve doğrusal olmayan anahtarlama çeviriciler için çok zor bir kontrol problemi üzerinde durmuşlardır. Bu çalışma fotovoltaik güç sisteminin özelliklerinin gelişimi için derin, ayrıntılı bir analiz ve modelleme sunar. Bu çalışma fotovoltaik gerilim regülasyonu için gerekli olan kararlı bir kontrol sistemi tasarımı için Youla parametrelemesinin kullanımını sunar. Deneysel ve simülasyon sonuçları sunulan analiz, tasarım ve uygulamanın etkinliğini gösterir.

Ait Cheikh ve ark. (2007), yaptığı bir çalışma değişken ışınım ve sıcaklık değerleri altındaki bir fotovoltaik sistemin maksimum güç noktasını izlemesi (MGNI) için akıllı bir kontrol metodu önerisidir. Bu metod bir DA-DA dönüştürücü cihazına artan iletkenlik kontrolcüsü uygulanarak kullanılır. Bu kontrolör tasarımının farklı adımları simülasyonu ile birlikte sunulmaktadır. Bu simülasyonun sonuçları Bozulma ve Gözlem (P&O) kontrolörü tarafından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma bulanık mantık kontrolörünün çok daha iyi bir davranış sergilediğini gösterir.

Onat ve Ersöz tarafından 2009 yılında yapılan bir çalışmada maksimum güç nokta izleyici algoritmalarından artan iletkenlik, bozulma ve gözlem, parazit kapasite, sabit akım ve gerilim yöntemleri gibi bazı algoritmaları karşılaştırarak çalışma prensiplerini tanımlamışlardır.

Snehamoy Dhar, R.Sridhar ve Geraldine Mathew 2013 yılında yaptıkları çalışmada artan iletkenlik algoritmasının farklı ışınım ve iklim koşulları altında MATLAB Simulink programında yükseltici tip DA-DA dönüştürücü devresi için benzetim yapmış ve çalışma sonrasında artan iletkenlik algoritmasının maksimum güç noktası tespitini 0.5

saniyenin de altında bir sürede yakalayabildiğini bu sürenin ise bozulma ve gözlem algoritmasına göre ciddi oranda hızlı olduğunu öne sürmüşlerdir.

Ondrej Hock, Jozef Čuntala (2013) tarafından yazılan Oransal, Integral, Türevsel Denetleyici (PID) (Proportional, Integral, Derivative) için Digital signal processor digital sinyal işleme DSP System Generator kullanılarak, MATLAB/simülink ortamında PID kontrollünün FPGA tabanında bir çalışması yapılmış ve regüle edilen sistemin adım cevabına verdiği cevaplar karşılaştırılmış. Sistem generatör ile PID kontrol cihazlarının uygulanmasının yeterli olduğunu ortaya koymuşlardır.

Rahul Pazhampilly, S. Saravanan and N. Ramesh Babu (2015) Yükseltici Tip ve Single-Ended-Primary-Inductor-Convertor (SEPIC) yüksek güç faktörlü tip, 2 dönüştürücü için MATLAB/Xilinx özel bloklarıyla artan iletkenlik algoritması oluşturulmuş ve Simülasyon sonuçları alınmış ve SEPIC dönüştürücünün normal yükseltici tip dönüştürücüye göre, daha kısa zamanda daha fazla gerilim verdiğini ileri sürmüşlerdir.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi güneşten gelen enerjidir. Var olan bu enerji güneşin içinden gelmektedir. Diğer yıldızlar gibi güneş çoğunluklu olarak hidrojen ve helyumdan oluşan bir gaz topudur. Güneşin çekirdeğinde nükleer füzyon dediğimiz bir süreç yaşanır ve bu nükleer füzyon sırasında güneşin yüksek basınç ve yüksek ısısından kaynaklı atomun merkez çekirdeklerinde hidrojen atomlarının parçalanmasına ve birleşmesine neden olur (What is the renewable energy? 2016).

3.2. Fotovoltaik Sistemlerin Tarihçesi

Fotovoltaik kökenini Yunancadan alan photo (ışık) ve voltaic (gerilim) kelimelerinin birleşimiyle oluşmuştur. Fotovoltaik hücreler bir diğer tabirle güneş hücreleri, 1839'lu yıllarda Fransız Fizikçi Alexander Edmond Becquerel tarafından platin tabakalar üzerine yaptığı çalışmaları sırasında fotovoltaik etkinin tespit edilmesi ile keşfedilmiştir. 1873'lü yıllara gelindiğinde Willoughby Smith tarafından selenyum içerisindeki foto iletkenin keşfiyle ilk fotovoltaik düzenek tarihe geçti. 1954'te %6 verimli silisyum fotovoltaik hücreleri Bell laboratuvarında yapıldı. Bu süreçten itibaren verimliliği geliştirmek üzere bir dizi keşifler yapıldı. 1970'li yıllarda dünya çapında yaşanan petrol krizi birlikte alternatif enerji kaynakları arayışı büyük bir ivme kazandı ve AR-GE çalışmaları başlayarak fotovoltaik hücrelerin üretimi hızlandı (Öztürk, 2008).

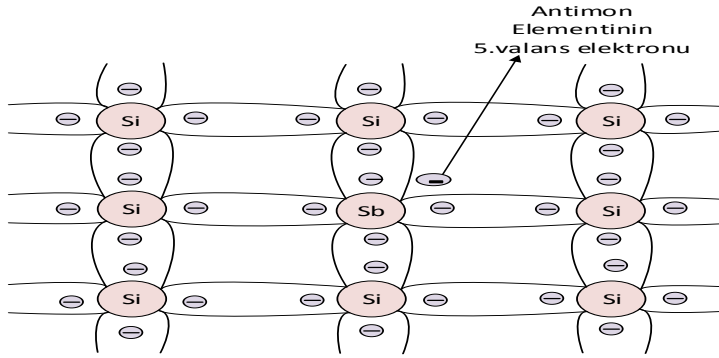
3.3. Fotovoltaik Sistem

Fotovoltaik sistemler güneşten doğrudan gelen enerjiyi yarıiletken malzeme yardımıyla elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bir fotovoltaik sistemin temel elemanı güneş hücreleridir. Tipik bir güneş hücresi diyot benzeri olan yarı iletken malzemeden yapılmış p-n jonksiyonundan oluşur. Güneş hücrelerinde en yaygın şekilde kullanılan yarı iletken silikondur. Kullanılan malzemeye göre farklı etkilere ve maliyetlere sahiptirler.

3.3.1. N-Tipi Yarı İletken Oluşumu

Son yörüngesinde dört elektron bulunan silisyum ya da germanyumun içine son yörüngesinde beş elektron bulunan antimon ya da arsenik maddesinin 100 milyonda bir oranında katkılanmasıyla arseniğin dört elektronu komşu elektronlar ile kovalent bağ yapar ve bu şekilde bir elektron boşta kalır. Boşta kalan bu elektron, kristal yapı içinde

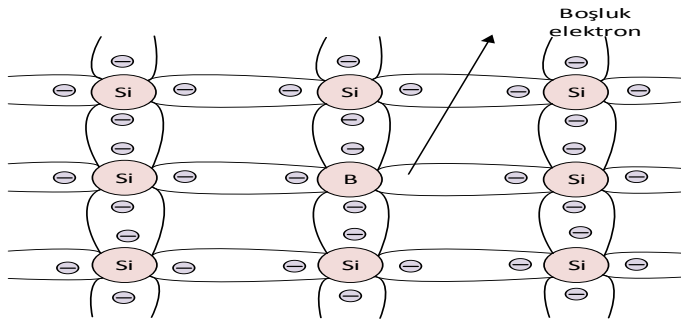
serbest haldedir. Elektron yönünden zengin olan bu karışıma n- tipi yarı iletken denir.



Şekil.3. 1. N tipi yarı iletken

3.3.2. P- Tipi Yarı İletken Oluşumu

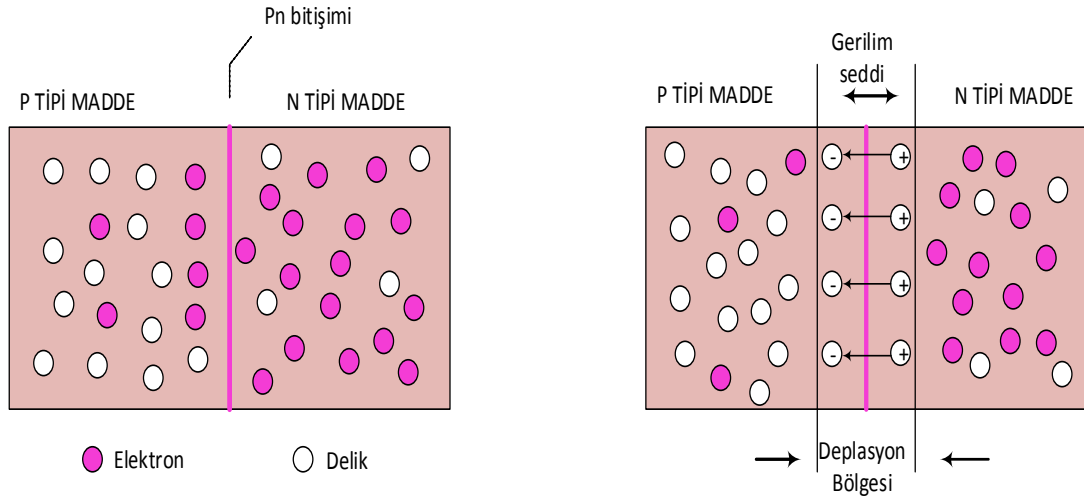
Son yörüngesinde dört elektron bulunan silisyum ve germanyumun içine yaklaşık olarak yüz milyonda bir oranında son yörüngesinde üç elektron bulunduran galyum, bor veya alüminyum katkılanmasıyla üç elektron komşu olan elektronlarla kovalent bağ yapar. Silisyum ve germanyumun elektronlarından biri bağ yapamaz ve boşta kalır ve dışarıdan elektron koparma ister. Elektron yönünden fakir, delik yönünden zengin olan bu karışıma p tipi yarı iletken denir.



Şekil.3. 2. P tipi yarı iletken

3.3.3. P-N Kavşağı Oluşumu

Mono kristal yapıdaki yarı iletkenin P tipi maddeden N tipi maddeye geçiş bölgesini p-n kavşağı olarak tanımlanır.

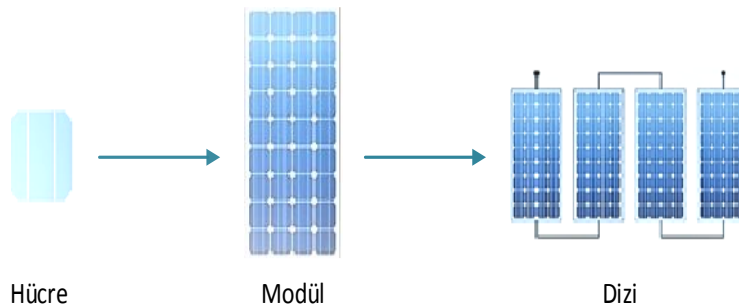


Şekil.3. 3. P – N Kavşağının Oluşumu

Yukarıdaki şekil 3.3’de görüldüğü üzere; P bölgesinde ısı ile uyarımda bulunabilen elektron ve delik (boşluk) bulunmaktadır. Elektronlar sayıca az olmasına karşın delik sayıları fazladır. N tpi madde ve p tipi madde temas edince, N bölgesinde elektron sayısı fazla olduğundan, P bölgesine doğru bir geçiş olur. P bölgesinde bulunan sayıca fazla olan delikler ise, N bölgesine doğru geçiş yapar. Bu durum da N tipinin pozitif (+) yüklenmesine karşın P bölgesinde negatif (-) bir şekilde iyonlaşma olur. Kristal yapı içinde durağan yük noktası oluşturulur. P-N kavşağının iki yüzünde iyonize halde olan atomların kristal içinde ki yönü, n’den p’ye doğru olur. Elektrik alan ortaya çıkarırlar.

3.4. Fotovoltaik Tanımlar

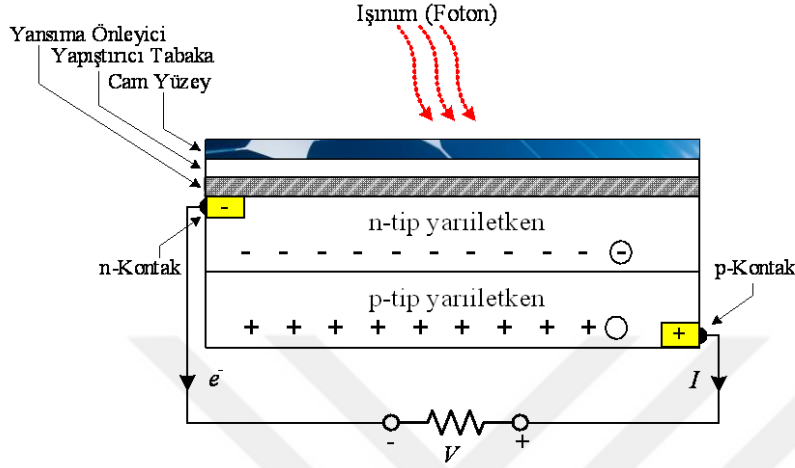
Fotovoltaik hücreler yüksek oranda güç elde edebilmek için, modüller seri ve paralel bağlanır. Fotovoltaik modül bir kaç ayrı fotovoltaik hücrenin bağlanması ve kapsüllenmesiyle oluşur. Bir panel ise ortak bir destek ile birlikte gruplanmış bir veya birkaç modülden oluşur. Aşağıdaki şekilde, hücre modül-dizi gösterimi verilmiştir. Bir panel ise ortak bir destek ile birlikte gruplanmış bir veya birkaç modülden oluşur.



Şekil.3. 4. Panelden dizi yapılması

3.5. Güneş Hücreleri

Güneş hücreleri p-n eklemlerin oluşmasıyla ve bu oluşan eklemin ışığa maruz kalmasıyla ortaya çıkan yarı iletken devre elemanıdır.



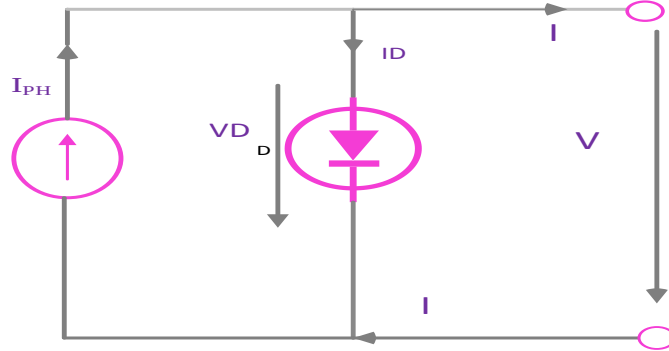
Şekil.3.5. Güneş hücresi eşdeğer şeması

Gün içerisindeki herhangi bir zaman diliminde parlak bir Güneşten bahsedilemez. Güneşin olmadığı zaman hücre basit bir p-n jonksiyonu diyot gibi davranmaktadır. Güneş hücrelerinin tüm karakteristiklerini sunan bir matematiksel model büyük önem arz etmektedir. Güneş hücrelerinin modelleri basitleştirilmiş model, tek diyotlu model iki diyotlu model olarak alt başlıklara ayırıp incelenmiştir. Fotovoltaik güneş hücreleri, fiziksel konumları göz ardı edilerek elektriksel eşdeğer devreler ile modellenebilirler (Araujo ve ark. 2001).

3.5.1. Basitleştirilmiş Model

Fotovoltaik güneş hücrelerinin en sade elektriksel modeli, Şekil 3.6'da gösterilen basitleştirilmiş model ile ifade edilmiştir. Çeşitli ihmallar yapılırsa güneş hücrelerinin, basitleştirilmiş elektriksel eşdeğer modeli, bir diyot ve bir akım kaynağından oluşur.

Model üzerinde akım kaynağı (I_{ph}) foton akımını ifade etmektedir ve bu akım güneş ışıınımı ile doğru orantılıdır (Araujo vd., 2001). Güneş panelini oluşturan yarı iletken yapıyı (p-n arakesit) ise en basit hali ile bir diyot ile modellenmiştir (Martin ve ark.2010)



Şekil.3.6. Güneş hücresi basitleştirilmiş elektriksel modeli

Kirchhoff akım yasası ile devre çözümlenirse,

$$I = I_{ph} - I_D \quad (3.1)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade de I , panelin çıkış akımını, I_{ph} , foton akımını ve I_D , diyet akımını göstermektedir. Denklem 3.2' de görüldüğü gibi I_D diyet akımı,

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V}{m \cdot V_T}} \right) - 1 \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu denklemde, I_S diyetin ters yönde doyma akımını, V panelin çıkış gerilimini m diyet faktörünü, V_T ise uç gerilimi ifade etmektedir. Çıkış gerilimi V_T 25° standart sıcaklıkta 25,7 mV değerini almaktadır.

3.5.2. Tek Diyetli Model

Gerçek bir güneş hücresi yapısı üzerinde gerilim düşümleri ve kaçak akımlar meydana gelmektedir. Basitleştirilmiş model bu gerilim düşümlerini ve kaçak akımları gösteremediğinden tek diyetli model geliştirilmiştir. Şekil 3.7'de gösterilen tek diyetli modelde güneş hücresi üzerinde meydana gelen gerilim düşümlerini temsil etmek amacıyla R_S seri direnci ve kaçak akımları temsilen R_P paralel direnci modele dahil edilmiştir. (Laplaze ve Youm 1985).

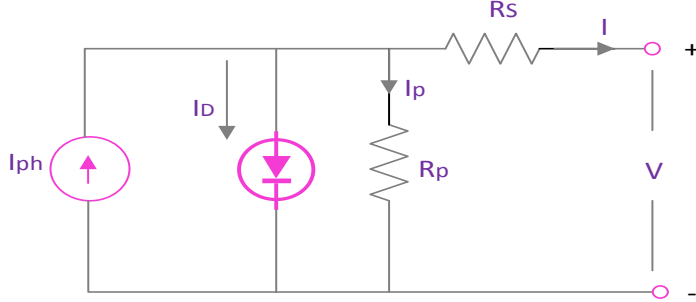
Tek diyetli model üzerinde Kirchhoff akım yasası uygulanırsa,

$$I_{ph} - I_D - I_P - I = 0 \quad (3.3)$$

ve I_D , diyet akımı yerine konulursa, denklem 3.4 elde edilir.

$$I_{ph} - I_S \left(\left(e^{\frac{V + I \cdot R_S}{m \cdot V_T}} \right) - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_S}{R_p} - I = 0 \quad (3.4)$$

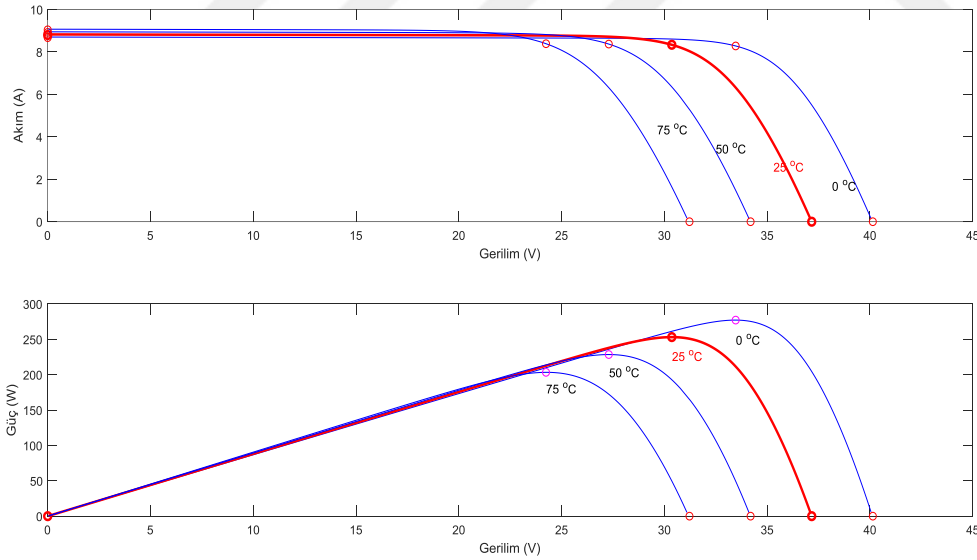
Elde edilen bu denklemin çözümü basitleştirilmiş model de olduğu gibi kolay değildir. Çözüme ulaşmak için denklem üzerinde nümerik analiz yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir (Volker, 2005).



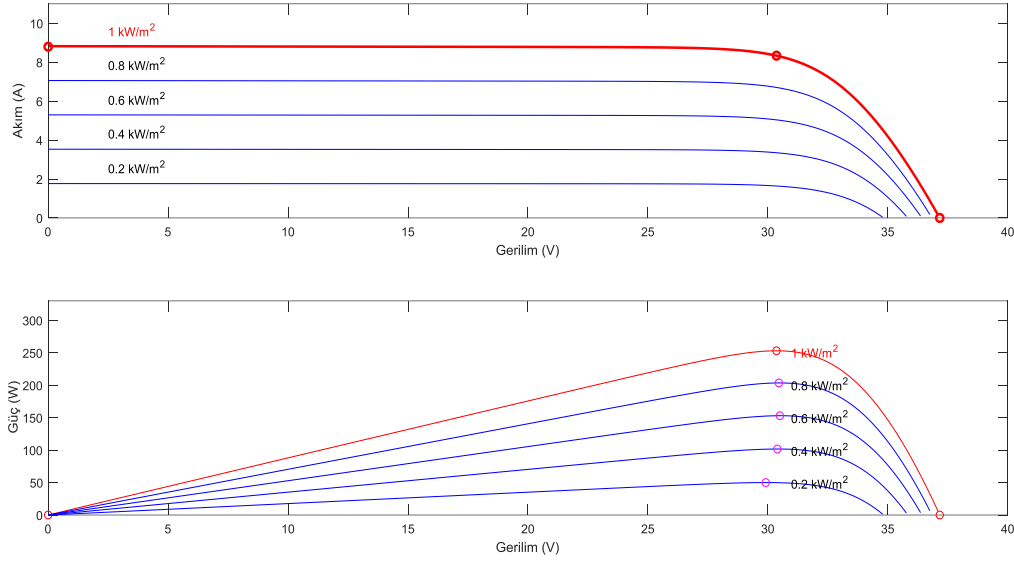
Şekil.3.7. Güneş hücresi tek diyotlu elektriksel modeli

3.6. Fotovoltaik Sistemin Özellikleri

Fotovoltaik sistem, güneş ışıınımı ve sıcaklık gibi etmenlere bağımlı olarak güneş enerji sitemindeki çıkış gücünü belirgin bir şekilde değiştirmektedir. Farklı ışıınım ve sıcaklık değerlerine göre, bu tezdeki simülasyonda kullanılan panelin güç-gerilim (P-V), Akım-gerilim (I-V) karakteristikleri incelenmiştir.



Şekil.3.8. Farklı sıcaklık değerleri için akım gerilim ve güç gerilim eğrileri



Şekil.3.9. Farklı ışınlam değerleri için akım gerilim ve güç gerilim eğrileri

Şekil 3.8’den görüldüğü üzere sabit ışınlam değeri için farklı sıcaklık değerlerinde panelin kısa devre akımı çok değişmemekle birlikte, sıcaklığın artmasıyla panelin açık devre gerilimi ve üreteceği güç azalır. Bununla birlikte sabit sıcaklık (25 °C) için bu panelin akım gerilim ve güç gerilim grafikleri şekil 3.9’da gösterilmiştir. Işınlamın azalması panelin çıkış gerilimini çok değiştirmemekle birlikte, panelin akımı azalmaktadır buna bağlı olarak da panelin çıkış gücü düşmektedir.

3.7. Fotovoltaik Sistem Türleri

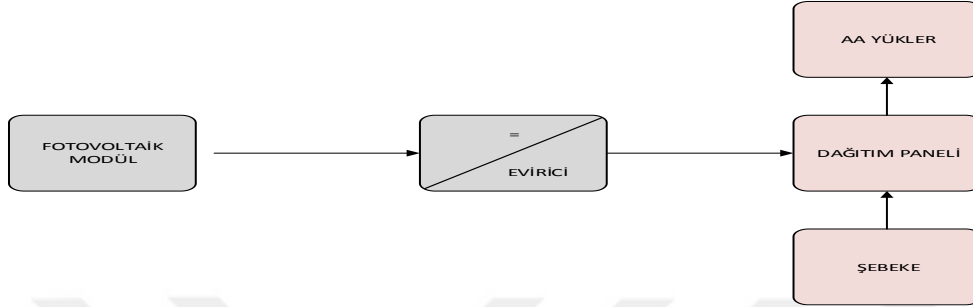
Fotovoltaik sistemler en temel şekliyle şebeke bağlı sistemler şebekeden bağımsız sistemler ve hibrid sistemler olmak üzere 3 gruba ayrılırlar. Şebeke bağlı ve şebeke bağlantısı olmayan sistemlerde de mantıksal olarak benzer yapıya sahip olsalar da şebekeden bağımsız sistemlerde akü ve şarj kontrol üniteleri bulunmaktadır.

3.7.1. Şebeke Bağlantılı Sistemler (ON-GRID)

Fotovoltaik (FV) sistemlerin şebeke bağlantılı olan kısmında, Güneş ışınlarının, fotovoltaik hücre modülleri üzerine yaptığı temas ile DA elektrik enerjisi üretilir. Üretimi olan enerji evirici yardımıyla merkezi şehir şebeke sistemine bağlanır. Şebeke bağlantılı sistemlerin en önemli bileşenlerinden bir tanesi çift yönlü sayaçlardır .

Şebeke bağlantılı sistem de üretimi yapılan elektrik enerjisi piyasaya satılabilir ya da gereksinimi olan miktar kullanılarak fazlası satılabilir. Bu sistemlerde enerji depolamaya gerek duyulmaz. Konut ve ticari alana monteli yardımcı program etkileşimli

PV güç sistemleri binaların elektrik üretiminin önemli bir kaynağı haline geldiğini görmekteyiz. Şebeke bağlantılı FV sistemleri, önemli miktarlarda üretim yapma imkanı sunar. Tüketim noktasına yakın yüksek dereceli enerji, iletim ve dağıtım kayıplarını önler (Siti NBM 2010). Avrupa ülkelerinde fazlasıyla popüler bir sistemdir. Aşağıdaki şekil 3.10'da şebeke bağlantılı sistemin genel bir gösterimi verilmiştir.

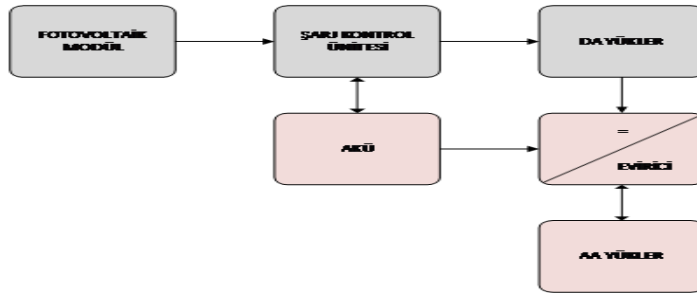


Şekil.3.10. Şebeke bağlantılı sistem genel gösterimi

3.7.2. Şebeke Bağlantısı Olmayan Sistemler (OFF-GRID)

Şebeke Bağlantısı Olmayan fotovoltaik sistemler genel olarak şehirden ve şebekeden uzak bir şekilde konumlandırılmış Bağ Evleri, Baz istasyonları, tarımsal sulama, gözetleme kuleleri ve sinyalizasyon sistemlerinde, yaygın bir kullanım alanı oluşturmaktadır.

Şebekeden bağımsız sistemlerin bileşenlerinde akü, kontrol ünitesi, panel ve evirici bulunmaktadır. Güneş panelleri tarafından üretilen DA elektrik doğrudan kullanılır ve Kullanım fazlası aküde depolanır. Kontrol ünitesi ile panelden gelen gerilim ve akım düzenlenerek akünün aşırı bir şekilde şarj edilmesini engelleyen bileşendir. DA özelliğinde olan sistemi Alternatif akım (AA) Sistemine dönüştüren eviriciler şebeke bağlantısı olmayan sistemlerin en önemli bileşenlerindendir (Jakhranive Othman, 2012). Şekil 3.11.'de şebeke bağlantısı olmayan sistem için genel bir gösterim verilmiştir.

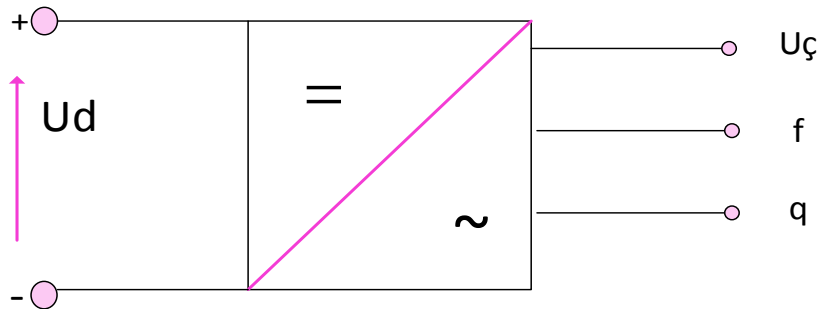


Şekil.3.11. Şebeke bağlantısı olmayan sistem genel gösterimi

3.8. Doğru Akım Alternatif Akım Dönüştürücüler (Eviriciler)

Eviriciler 0.5 ile 2000 Hz arasında hız ayarı yapabilen ve doğru akımı alternatif akıma dönüştüren yapıya evirici adı verilir. Yüksek frekansa sahip devreler olup sanayide kullanımı da yaygınlaşmış bulunmaktadır. Çıkış geriliminin, değişken ya da sabit frekansta sabitlenebilmektedir veya ayarlanabilmektedir. DA giriş geriliminin değiştirilmesiyle ya da evirici kazancının sabit tutulmasıyla değişken bir çıkış gerilimi elde edebilmek mümkündür. Öte yandan, DA giriş geriliminin sabit ve kontrol edilemediği bir durum için değişken bir çıkış gerilimi isteniyorsa eviricinin kazancının değiştirilmesiyle yapılabilir.

Evirici kazancının değiştirilmesi de darbe genişlik modülasyonu (PWM) denetimi yapılarak gerçekleştirilmesi mümkündür. Evirici kazancı ise AA çıkış gerilimi ile DA giriş gerilimi oranlaması diye tanımlanabilir (Bedford, Hoft, 1964).



Şekil.3.12. Evirici sistemi temel blok şeması

U_d : Girişteki DA kaynak gerilimi

U_c : Çıkıştaki AA efektif faz gerilimi

$$U_c = f \cdot m_a = f \cdot m_d$$

m_a = Modülasyon genlik oranı, Modülasyon katsayısı

m_d = Modülasyon doluluk oranı

m_f = Modülasyon frekans oranı

3.8.1. Evirici Özellikleri

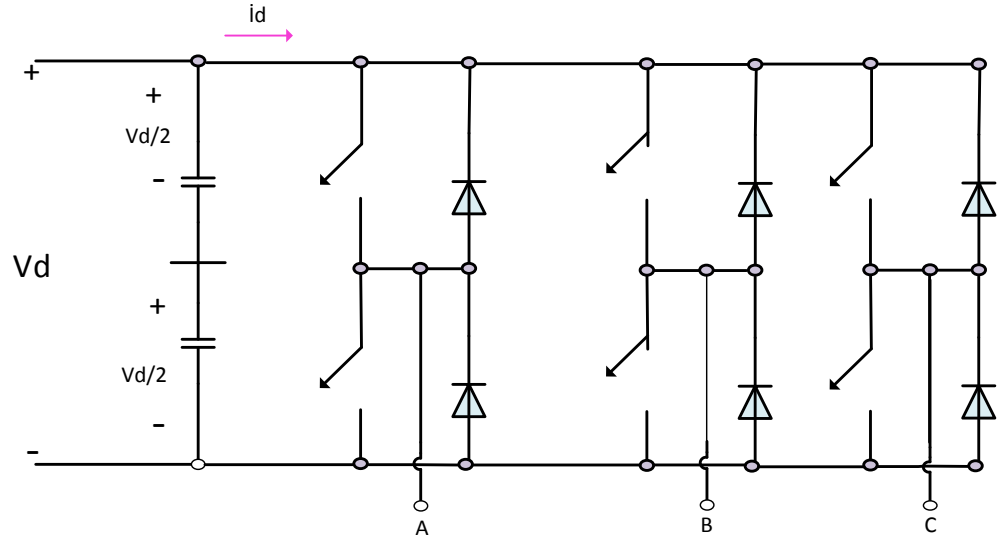
Eviricin temel özelliklerini maddeler olarak sıralanırsa;

- ✓ Lineer bir kontrol olduğu kabul edilir.
- ✓ Giriş kısmında ciddi dalgalanmaların görülmesi mümkündür, kontrol edilebilir.
- ✓ Komütasyonları zorlamalı bir şekilde olur.
- ✓ Daha çok AA Pulse Width Modulation (PWM) darbe genişlik modülasyonu yöntemi ile kontrol edilir.
- ✓ Yaygın olarak, gücün yüksek frekansların düşük olduğu Silicon Controlled Rectifie (SCR), gücün orta frekansların orta olduğu Bipolar Junction Transistor (BJT) çift kutuplu eklemli transistör, Düşük güç, yüksek frekansta Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET) kullanılır (Rashid, 2001).

3.9. Üç Fazlı Eviriciler

Üç fazlı yükleri beslemek için üç fazlı eviriciler, kesintisiz a.a güç kaynakları ve a.a motor sürücülerinde yaygın kullanım alanı oluşturmaktadır. Üç Fazlı eviricilerin çalışma mantığı ile bir fazlı eviricilerin çalışma mantığı benzerlik göstermektedir. Çıkış geriliminin bozuluma uğramaması yönüyle 180^0 iletimli olanlar seçilmektedir. Anahtarlama kayıpları yönüyle kare dalga eviriciler fazlasıyla avantajlı görülmektedir. Doluluk oranının değiştirilmesiyle gerilim kontrolü mümkündür. Üç fazlı eviriciler genelde yüksek güç uygulamalarında kullanılmaktadır.

En yaygın kullanılan üç fazlı eviricide, şekil 3.13' de görüldüğü üzere, her faz için bir tane olmak üzere üç tane kol bulunur (Mohan, 2007).

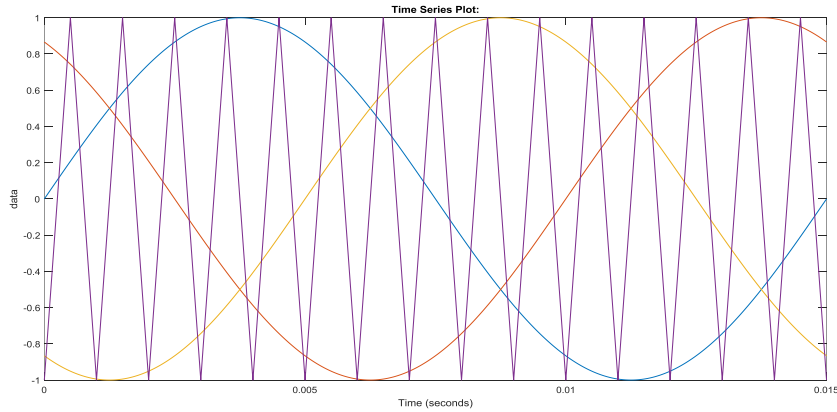


Şekil.3.13. Üç fazlı evirici devresi

3.9.1.Üç Fazlı Gerilim Kaynaklı Eviricilerde Darbe Genlik Modülasyonu

Dalga genlik modülasyonlu üç fazlı eviricilerde Tek fazlı eviricilerle aynı şekilde girişte olan sabit doğru gerilim olan V_d ile üç fazlı çıkıştaki gerilimlerin büyüklüklerini ve frekanslarını kontrol etme amacı taşır.

Üç fazlı eviricilerde dengeli üç fazlı çıkış elde edebilmek için benzer üçgen dalga şekli, Şekil 3.14’de görüldüğü üzere, üç tane 120° faz farkı sinüzoidal kontrol gerilimi ile karşılaştırılmıştır.

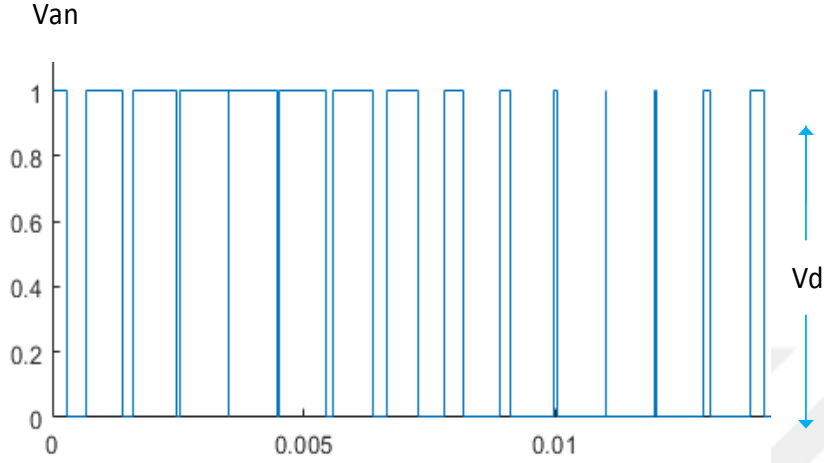


Şekil.3.14. Üç fazlı sinüzoidal dalga ile üçgen dalga karşılaştırılması

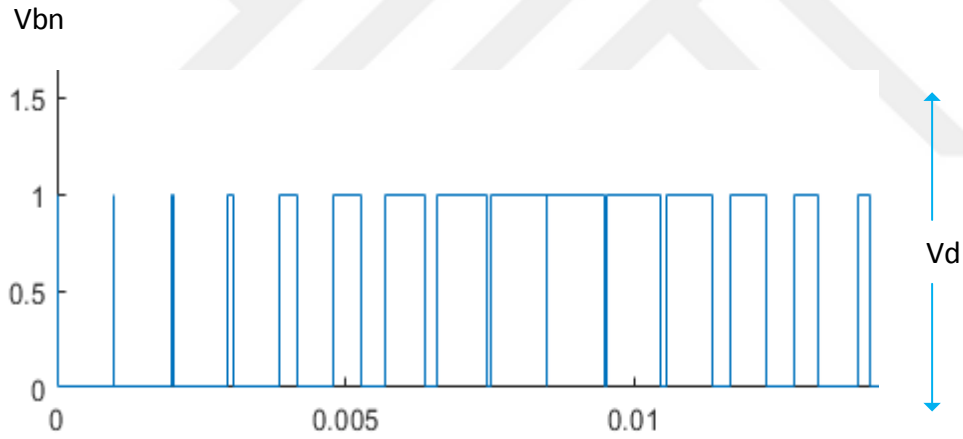
Ayrıca şekil 3.14’te görüleceği gibi, negatif d.a yoluna ait ölçülen V_{an} ve V_{bn} çıkış gerilimlerinde, hemen hemen birbirine eşit olacak şekilde bir ortalama d.a bileşenin olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu d.a bileşenler faz arası gerilimlerde, Örneğin

şekil 3.14'te olduğu gibi benzer şekilde harmonikler birbirlerini yok edecektir. Bu olay PWM anahtarlama kullanımı yapılan tek fazlı tam köprü eviriciyle benzerlik gösterir.

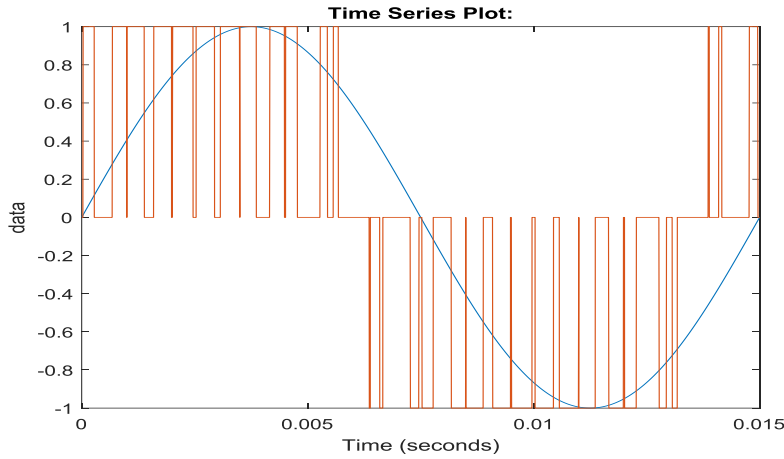
Üç fazlı eviriciler ise yalnızca hatlar arası gerilimlerin yaptıkları harmoniklerle ilgilenmektedir.



Şekil.3.15. V_{an} 'a ait üç fazlı Pwm dalga şekli



Şekil.3.16. V_{bn} 'e ait üç fazlı Pwm dalga şekli



Şekil.3.17. Van- Vbn Üç fazlı Pwm dalga şekli

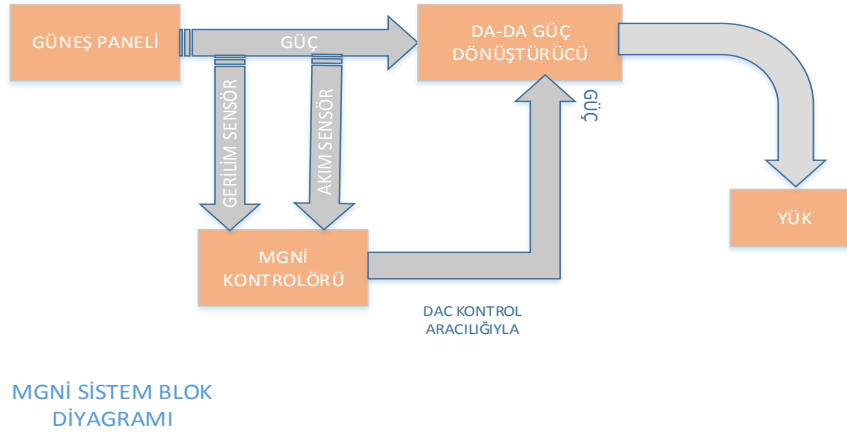
3.10. Maksimum Güç Nokta İzleyicileri

Maksimum güç nokta izleyicileri (MGNI) ya da nadiren olarak güç nokta izleyici (PPT) sistemleri, fotovoltaik (FV) ve rüzgar türbinlerinde yaygın olarak kullanım alanı oluşturlar (Seyedmahmoudian ve ark. 2016). Esas olarak güneş enerjisini kapsayan bir sistem olmasına karşı optik güç iletimi ve termofotovoltaik gibi değişken güce sahip kaynaklara da uygulanabilir (Horan ve ark. 2016), (Seyedmahmoudian ve ark. 2015). Fotovoltaik enerji sistemlerinin doğrusal olmayan bir elektriksel karakteristikleri vardır. Var olan bu karakteristik üzerinde devreye bağlı olan yüke, eviriciye ve aküye yalnız bir noktada maksimum güç transferi yapabilmektedir. Bu çalışma noktasına da maksimum güç noktası denir (Messenger ve Ventre 2005).

Fotovoltaik sistemlerin elektriksel karakteristikleri konum, yüzey parametreleri, yüzey eğim açısı, gölgelenme ve ortam sıcaklığı gibi çevresel faktörlerden etkilenerek değişim göstermektedirler. Bu farklı şartlar altında değişen elektriksel karakteristik maksimum güç noktasını da değiştirmektedir. Fotovoltaik sistemlerde maksimum güç transferine ulaşmak için maksimum güç noktası takibi gerekmektedir. Bu sistemlerde yüke veya aküye maksimum güç aktarımı yapabilmek için, panel gerilimini yük veya bataryadan bağımsızlaştırmak için bir sistem gereklidir. Bu noktada panelleri yük veya bataryadan bağımsız kılabilen arabirime Maksimum Güç Nokta İzleyici (MGNI) denir (Batchheller 1993).

3.11. Maksimum Güç Nokta İzleyici Algoritmaları

Fotovoltaik panellerde var olan sistemin maliyetinin yüksek, verimliliğin düşük olması sebebiyle maksimum gücü elde edecek algoritmalar önemlidir. Literatürde birçok farklı algoritmanın varlığından söz edilir (Salas ve ark. 2006).



Şekil.3.18. Maksimum güç nokta izleyici kontrol algoritması

Maksimum güç nokta izleyici tekniğindeki bu algoritmalar;

- ✓ Sabit Gerilim Yöntemi,
- ✓ Kısa Devre Akım Yöntemi,
- ✓ Açık Devre Gerilim Yöntemi,
- ✓ Tablo Kayıt Yöntemi,
- ✓ Parazit-Kapasite Yöntemi,
- ✓ Bozulma ve Gözlem Yöntemi
- ✓ Bulanık Mantık Yöntemi
- ✓ Artan İletkenlik Yöntemi olarak sınıflandırılır (Hohm ve Ropp 2001).

3.11.1. Sabit Gerilim Yöntemi

Sabit gerilim yönteminde maksimum güç noktasındaki gerilim ile açık devre gerilimi arasındaki oranın yaklaşık olarak sabit geldiğini gösteren bir algoritmadır (Hohm ve Ropp 2003). En basit maksimum güç nokta izleyici algoritmasıdır. Maksimum güç noktasının tam tespiti yapamamaktadır. Panele bağımlı olarak çalışır. Hem analog hem dijital kontrol yapabilmektedir (Dolara ve ark. 2009).

3.11.2. Kısa Devre Akım Yöntemi

Kısa devre akım yönteminde, akımın referans değerinin elde edilebilmesi için panelin kısa devre akımına ihtiyaç duyulur. Akım değerinin ölçülmesi için ise panel uçlarına paralel bağlı bir statik anahtar ile kısa devre edilip akım değeri ölçülür. Fotovoltaik panelin maksimum güç nokta akımı, kısa devre akımının yaklaşık olarak % 85'i oranındadır. Bu var olan oran ise atmosferik şartlara bağlı olarak az miktarda değişim

gösterebilmektedir. Kısa devre akım yönteminin basitliği kullanışlılığı ve ekonomik oluşu avantajlar arasında sayılırken buna karşılık panelin belli aralıklarda kısa devre edilmesi anında yüklerin enerjisiz kalarak hatalı bir maksimum güç noktası tespitine neden olmaktadır(Özdemir,2007).

3.11.3. Açık Devre Gerilim Yöntemi

Açık devre gerilim yönteminde paneller yüksüz bırakılır. Panellerin de yüksüz bırakılabilmesi için panelin akım yolu üzerine seri statik bir anahtar koyulur. Yüksüz durumdaki panelin uç gerilimi ise açık devre gerilimine yükselerek gerilim değeri okunmuş olur (Faranda ve Leva 2008). Atmosferik şartlara bağlı olarak değişen maksimum güç noktası yaklaşık olarak %2 oranındadır. Kısa devre akım yöntemiyle benzerlik göstermektedir. Ekonomik oluşu kullanışlılığı ve basitliği avantaj iken tam bir maksimum güç noktası tespiti yapamayıp panelin yüksüz kaldığı durumda güneş ışığından tam olarak faydalanamaması dezavantajlar arasında sayılabilir (Ahmad,2010).

3.11.4. Tablo Kayıt Yöntemi

Tablo Kayıt yönteminde atmosferik koşullardan kaynaklı fotovoltaiik panelin maksimum güç noktası belirlenir ve kontrol sistemindeki hafıza aygıtına yüklenip kayıt altına alınır. Güneş hücrelerinin ışınlım ve sıcaklık seviyelerinin zamana bağlı olarak değişkenlik göstermesi ve panellerdeki kirlilik ve tozlanmaya bağlı olarak güneş hücrelerindeki verimin düşmesine neden olur ve Buna bağlı olarak doğrusal olmayan bir karakteristiğe sahip olurlar. Kontrol sistemindeki hafıza aygıtına yüklenip kayıt altına alınmasını da zorlaştırır (Liu ve ark 2009).

3.11.5. Parazit-Kapasite Yöntemi

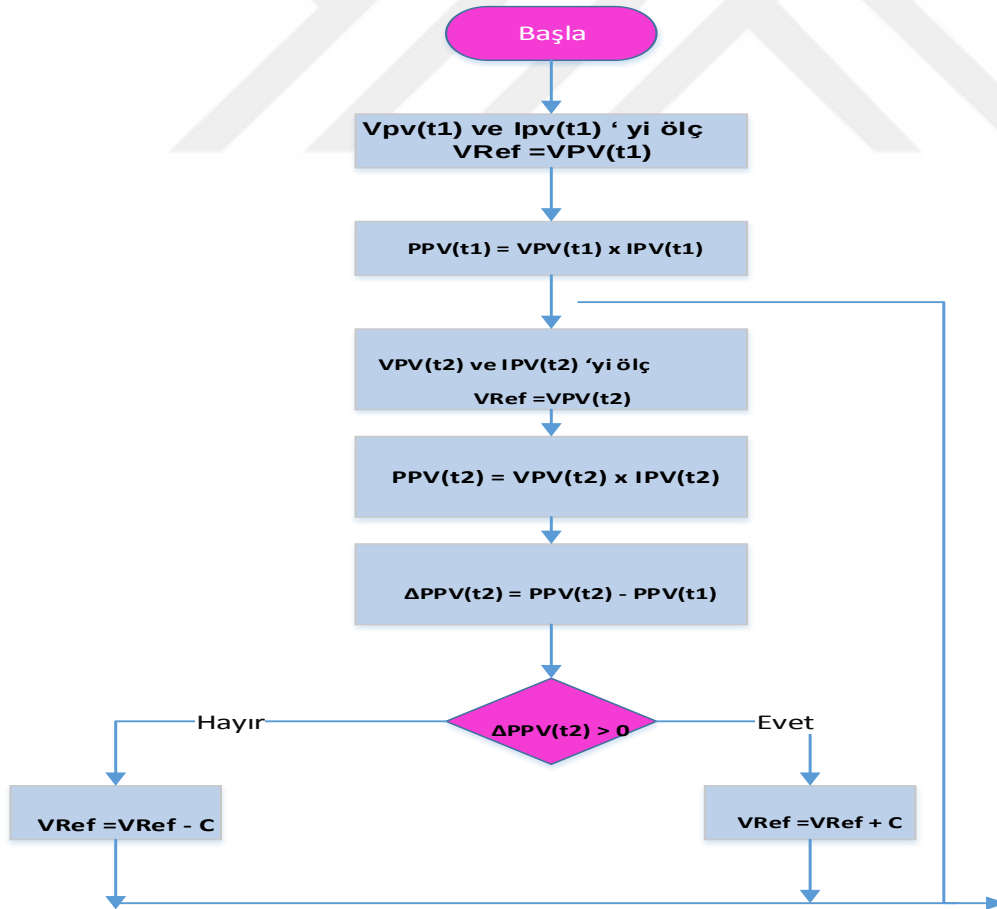
Parazit-Kapasite yönteminde fotovoltaiik hücrelerin p-n jonksiyonlarının birleşim bölgesindeki biriken yükün bir sonucu olarak parazit birleşim kapasitesi değerinin değişim dikkate alınır. Artan iletkenlik yöntemiyle benzer özellikler göstermektedir. Doğrudan Denetim grubunda yer almaktadır. Analog kontrol yaparlar Panelden bağımsız çalışabilirler (Ersöz ve Onat 2009).

3.11.6. Bozulma ve Gözlem Yöntemi

Bozulma ve Gözlem algoritmalarında, Güç-gerilim karakteristiğinden faydalanılır. Uygulanabilirliğinin basit oluşu nedeniyle çokça tercih edilmektedir. Literatüre baktığımızda Hill-Climbing başlığı altında olan bozulma ve gözlem

algoritması anahtarlama periyodu boyunca bir kez uygulanabilmektedir. Fotovoltaik Panelin anlık gerilim ve anlık akım değerleri kaydedilerek, anlık güç değeri hesabı yapılır. Maksimum güç noktasına ulaşıncaya kadar da işlemler her anahtarlama çevriminde tekrarlanır. Alınan güç değeri ile bir önceki çevrimde ki güç değerinin farkı alınarak bir ΔP değeri elde edilir(Tseng ve Tsai 2012).

Gerilim değişimleri sırasında küçük güç hatalarının oluşmasından kaynaklı maksimum güç noktası tespiti yapması zorlaşmaktadır. Maksimum Güç noktası civarında büyük salınımlar göstermektedir. Tam bir tespit söz konusu değildir. Var olan bu durum da Bozulma ve Gözlem Algoritması için bir dezavantaja neden olmaktadır. Literatürde ise bu salınımları azaltmak adına belirli çalışmalar yapılmıştır. Sisteme bir bekleme fonksiyonu dahil edilerek gerilim artışları arasındaki süre artırılarak salınım miktarı azaltılarak kontrol edilir vaziyete getirilmiştir. Salınımın bu şekilde kontrol altına alınması güneşli havalarda istenilen sonuçlar verirken bulutlu ve yağışlı günlerde sistemin kararsız davranışları cevabı geciktirmektedir (Nikraz ve ark. 2009).



Şekil.3.19. Bozulma ve gözlem algoritması

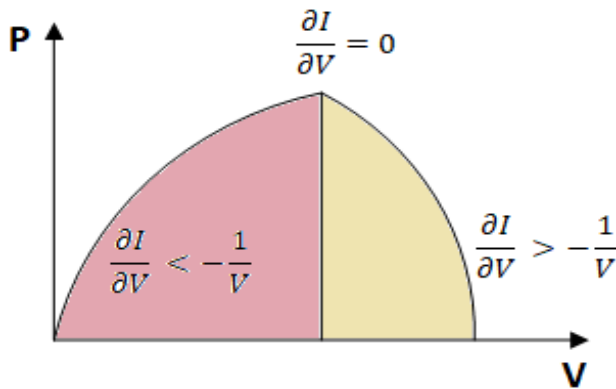
3.11.7. Bulanık Mantık Yöntemi

Bulanık Mantık yönteminde modelin bilgisine gereksinim duyulmadan güçlü ve oldukça kolay tasarım yapılabilir (Esram ve Chapman 2007). Güvenilir ve hızlı bir şekilde cevap vermesi avantajları arasındadır. Bulanık Mantık kontrolörünün kendisine ait olan bir dil yapısı ile mikro denetleyici içerisine yerleştirilen kurallar tablosuna göre algoritma çalışarak yanıtlar oluşturmaktadır. Bulanık Mantık kontrolörünün kendisine ait olan bu dil yapısında: Pozitif Büyük (PB), Pozitif Küçük (PK), Sıfır (ZO), Negatif Küçük (NK) ve Negatif Büyük (NB) üyelik fonksiyonlarının birbiriyle olan ilişkisi bulunmaktadır (Lingareddy ve ark. 2013).

3.11.8. Artan İletkenlik Algoritması

Artan İletkenlik MGNİ algoritması FV panelin iletkenliği ($G_{fv}=I_{fv}/V_{fv}$) ve artan iletkenliği ($\Delta G_{fv}=dI_{fv}/dV_{fv}$) parametrelerinin karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Buna bağlı olarak panelin gerilimi, panelden maksimum güç ($dI_{fv}/dV_{fv}=0$) şeklinde artırılır veya azaltılır. Bahsedilen işlemi gerçekleştirmek için, panelin FV çıkışına bir da-da çevirici bağlanır ve bu çeviricinin doluluk oranı MGNİ algoritması ile değiştirilir.

Artan iletkenlik algoritmasının, FV panelin akım gerilim grafiği üzerinde gösterilimi Şekil 3.20’de verilmiştir.



Şekil.3.20. FV panelin karakteristik eğrisi ve artan iletkenlik

Bu algoritmanın oluşturulması için panelin gücünden yola çıkılmaktadır.

$$P = VI \quad (3.5)$$

Güç eşitliği gerilime göre kısmi türevi alınırsa

$$\frac{\partial P}{\partial V} = \partial(VI) \quad (3.6)$$

Buradan

$$\frac{\partial P}{\partial V} = I + V \frac{\partial I}{\partial V} \quad (3.7)$$

ve maksimum güç noktasında, gücün türevi

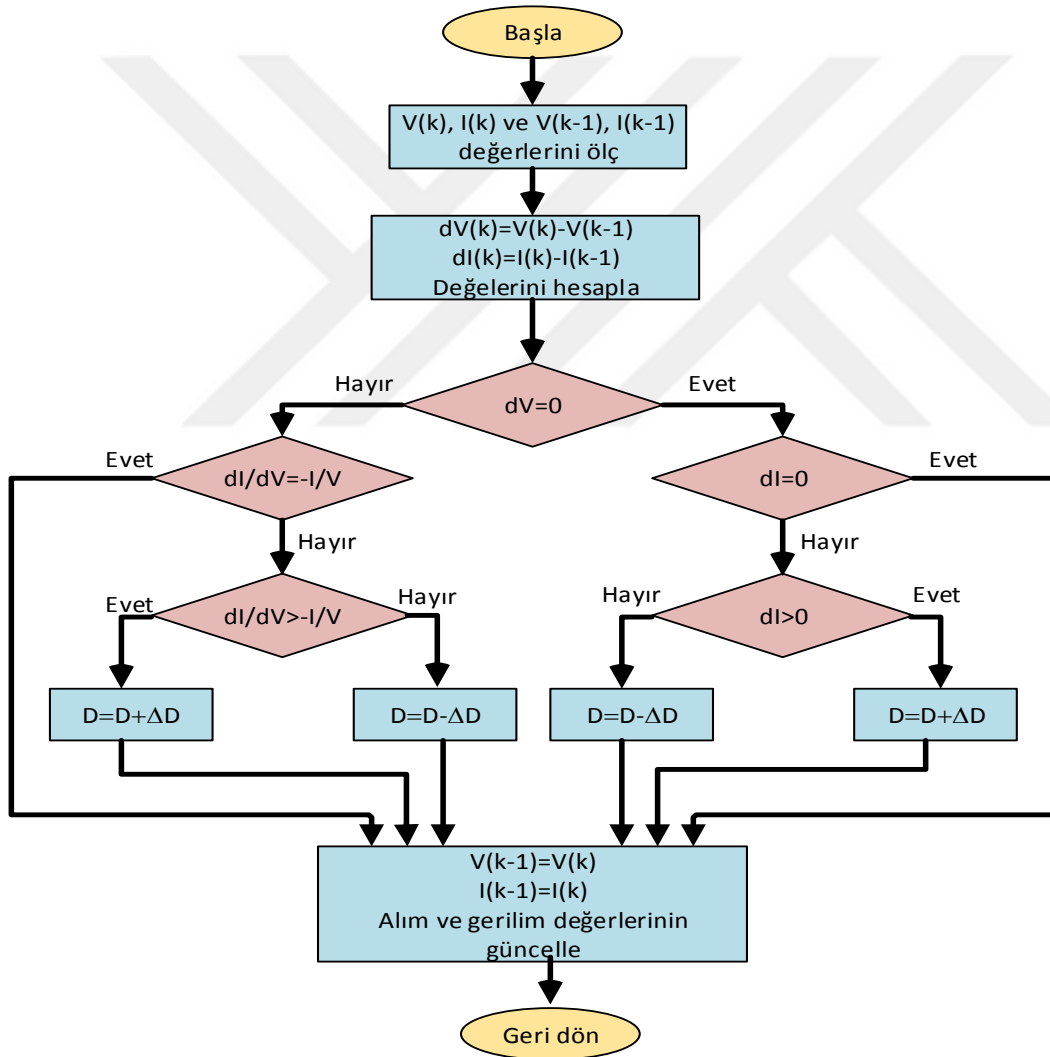
$$\frac{\partial P}{\partial V} = 0 \quad (3.8)$$

olacağından

$$\frac{\partial I}{\partial V} = -\frac{I}{V} \quad (3.9)$$

olarak elde edilir.

Bu algoritmanın akış diyagramı Şekil 3.21'de verilmiştir;



Şekil.3.21. Artan iletkenlik algoritması

3.12. Karşılaştırılmalı Olarak MGNİ Teknikleri

Maksimum Güç Nokta İzleyici Algoritmalarından önceki bölümde detaylı olarak bahsedildi. Önceki bölümde bahsedilen sekiz algoritma literatürde en çok karşılaşılan ve kullanılan algoritmalar. Bunlara ek olarak Eğri Uydurma, Tek Çevrim Kontrol, Farklılaşma, DA Bağlantılı Kapasite Gerilimi kontrol yöntemi, Dalgalanma Korelasyon Kontrol Yöntemi, Gerilim ve Akım ile Güç Geri bildirim Değişimi Yöntemi, Yük Akımı veya Yük Gerilimi Maksimizasyonu Yöntemi vardır. Bu algoritmaların bazıları yalnız başına akım bilgisi gereksinimi varken bazılarının gerilim ve akım bilgisine ihtiyaç duyulur. Metodlar arasındaki farklılıklar ve benzerliklerin anlaşılır olabilmesi adına tüm algoritma tiplerinin devre sistemi, maliyet, uygulama olanakları, kullanılan dönüştürücü tipine bağlı olarak değişiklik gösteren parametreleri aşağıdaki çizelge 3.1.'de gösterilmektedir (Subudhi ve Pradhan 2013).

Çizelge 3.1. Maksimum Güç nokta izleyici algoritmalarının karşılaştırılması

Yöntem isme	Kont. Parametresi	Devre Sistemi	Maliyet	Uyg. Zorluğu	Dönüştürücü Türü
Sabit Gerilim	Gerilim	Sayısal	Ucuz	Basit	DA/DA
Eğri Uydurma	Gerilim	Sayısal	Ucuz	Basit	DA/DA
Değiştir Gözle	Gerilim, Akım	Sayısal Analog.	Pahalı	Kompleks	DA/DA
Artan İletkenlik	Gerilim, Akım	Sayısal	Pahalı	Kompleks	DA/DA
Açık Devre Gerilimi	Ger. veya Akım	Sayısal. Analog.	Ucuz	Basit	DA/DA
Kısa Devre Akımı	Ger. veya Akım	Sayısal. Analog.	Ucuz	Basit	DA/DA
Bak Hatırla Tablosu	Gerilim, Akım	Sayısal	Ucuz	Basit	DA/DA, DA/AA
Bulanık Mantık	Gerilim, Akım	Sayısal	Pahalı	Kompleks	DA/DA, DA/AA
Yapay Sinir Ağları	Ger. veya Akım	Sayısal	Pahalı	Kompleks	DA/DA, DA/AA
Tek Çevrim Kontrol	Akım	Sayısal. Analog.	Ucuz	Basit	DA/DA
Farklılaşma	Ger. veya Akım	Sayısal	Pahalı	Kompleks	DA/DA
Geri bildirim Ger. ve Akım	Ger. veya Akım	Sayısal Analog.	Ucuz	Basit	DA/DA, DA/AA
Dalgalanma Kur. Kon.	Ger. veya Akım	Analog	Pahalı	Kompleks	DA/DA
DA bağlantılı Kapasite Gerilimi Kontrolü Yöntemi	Gerilim	Dijital. Analog.	Pahalı	Basit	DA/DA+DA/AA

Ger. ve Akım ile Güç Geribildirim Değişimi	Gerilim, Akım	Dijital	Pahalı	Kompleks	DA/DA, DA/AA
Yük Akımı veya Yük Gerilimi Maksimizasyonu	Gerilim	Analog	Ucuz	Basit	DA/DA

3.13. DA-DA Dönüştürücü

Doğru akım gerilim çeviriciler, ayarlanmış anahtarlamalı DA-DA güç kaynaklarında, DA motor sürücü uygulamaların kullanım alanlarını oluşturmaktadır. Bu çeviricilerin girişinde hat gerilimin doğrultulması sonucunda elde edilen, genellikle ayarsız doğru gerilim bulunmaktadır. Bu nedenden ötürü de girişte, hat gerilimindeki değişimlerin sonucunda iniş çıkışlar meydana gelmektedir. Anahtarlamalı DA-DA çeviriciler, ayarsız DA girişi, istenilen gerilim kademesinde, kontrollü DA çıkışa çevirmek için kullanılır. Bu dönüştürücüler de frekansın yükselmesine bağlı olarak kondansatör, bobin ve transformatörün ebatları küçülür. Bu ve benzeri sebeplerden ötürü bobin, kondansatör ve transformatörün tasarımı oldukça önemli bir yer tutmaktadır (Tuncay ve Gökaşan 2007). Yüksek frekansta çalıştırılan dönüştürücüler, devre üzerinde olumlu ve olumsuz durumlara neden olabilmektedir. Yüksek frekanstan ötürü akım gerilim yükselme hızları, akım ve gerilimin maksimum değerleri ile anahtarlama güç kayıplarının artması olumsuz bir durum olarak değerlendirilir (Abhinav ve Kanchan 2014).

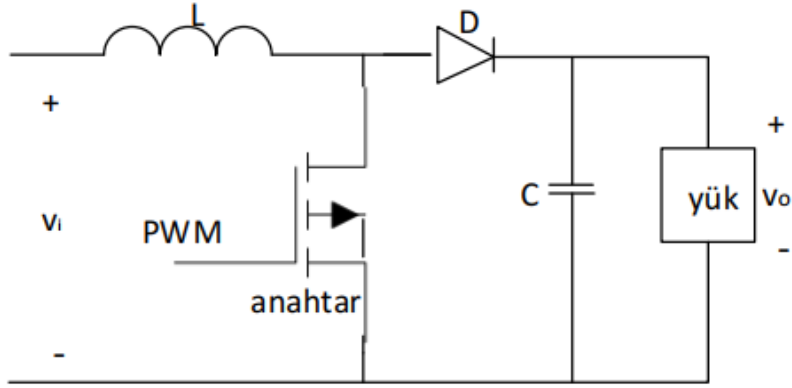
Aynı zamanda Da-da dönüştürücüler bir güneş hücresi ya da bir doğrultucu batarya çıkışındaki düzensiz DA gerilimi düzenli DA gerilime dönüştürebilen yapılardır (Bodur,2010).

Çeşitli özellikte DA-DA Dönüştürücüler bulunmaktadır. Bunlar: Alçaltıcı(Buck) Çevirici, Yükseltici(Boost) Çevirici, Alçaltıcı-Yükseltici(Buck-Boost) Çevirici, Cuk Çevirici ve Tam Köprü Çeviricilerdir. Bu Bölümde Yükseltici (Boost) Çeviricilere değinilmiştir.

3.13.1. Yükseltici (Boost) Çevirici

Yükseltici tip çeviricilerin adından anlaşılacağı üzere çıkış gerilimi, her zaman giriş geriliminden büyük olmalıdır. Yükseltici tip çevirici devresinde yarı iletken, bobin, diyot, kondansatör bulunmaktadır. Aşağıdaki şekil 3.22'de DA-DA yükseltici çevirici nahtarın iletme geçmesi halinde diyot ters kutuplama yaşar, buna bağlı olarak çıkış

devresini giriş devresinden ayırır. Aynı zamanda girişten endüktansa enerji uygulanır. Anahtarın kesim durumuna geçmesiyle de devrenin çıkışına, hem girişten hem de endüktanstan enerji gider.

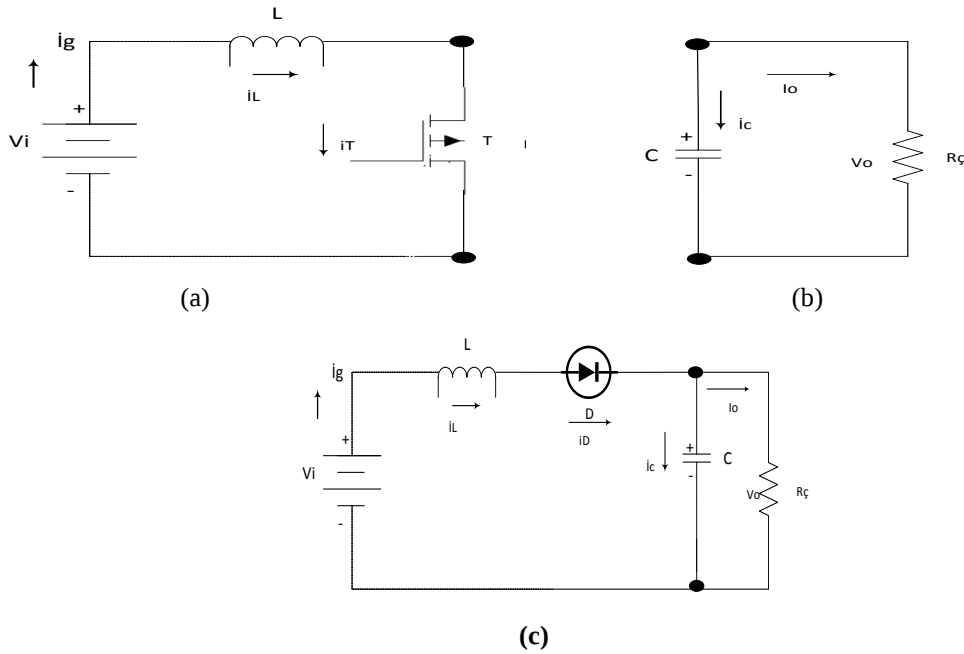


Şekil.3.22. DA-DA yükseltici çevirici

Yukarıdaki devrede anahtarın iletimde kaldığı süre boyunca, L endüktörünün akımı artar ve içerisinde enerji depolanır (Rashid, 2015). Daha sonra anahtar kesime girdiğinde, depolanan enerji D diyotu üzerinden yüke aktarılmaktadır. Eğer devre akımının sürekli olarak akacağı varsayılıyorsa, ortalama çıkış gerilimi,

$$v_o = V_i \frac{1}{1-d} \quad (3.10)$$

olarak bulunur. Burada v_i giriş gerilimi, v_o çıkış gerilimi ve d doluluk oranıdır.



Şekil.3.23. Yükseltici DA-DA dönüştürücünün iletim ve kesim durumu

Bir başka deyişle; Yükseltici DA-DA dönüştürücü devrenin b durumunda iken transistör iletimde c durumunda ise diyot kesimdedir. Endüktansı V_i kaynağı besler. Burdan geçen akım doğrusal bir şekilde artış gösterir. Ve endüktans enerji ile dolar. İletim durumundayken bu durum yaşanırken yük kondansatör aracılığıyla beslenim yapar.

İkinci durumda $t=T_d$ durumunda ise, sinyali kesilen transistörün kesime geçmesiyle enerji yüklü olan endüktansın ürettiği gerilimle birlikte diyot iletime girer. V_i kaynağı ve endüktansta biriken enerji aracılığıyla yük beslenir. Endüktanstan geçen akım doğrusal bir şekilde azalım gösterir.

Transistörün iletimde olduğu c durumunda ise V_o gerilimi endüktansı besler, diyotun iletim durumunda ise endüktans akımını devam ettirmek için $V_o - V_i$ kadarlık bir gerilim üretir. Endüktans gerilimin salınım şekline göre ise;

$0 < t < T_d$ aralığında, transistör iletim durumunda:

$$\Delta I L_p = \frac{V_i}{L} T_d \quad (3.11)$$

$T_d < t < T_p$ aralığında, diyot durumunda:

$$\Delta I L_n = \frac{V_o - V_i}{L} T_b \quad (3.12)$$

Denklemleri yazılabilir. Kararlı durumda endüktans geriliminin pozitif ve negatif alanlarının denkliğinden ortalama DA çıkış gerilimi için aşağıdaki denklik yazılabilir.

$$V_o = \frac{1}{1-D} V_i \quad (3.13)$$

Çıkışta elde edilen gerilim değeri girişteki gerilim değerinden büyük olması durumuna DA-DA yükseltici tip dönüştürücü adı verilir. Giriş ve çıkış güçlerinin eşitliğine bağlı olarak da akım için ise aşağıdaki denklem yazılır.

$$I_g = \frac{1}{1-D} I_{\varphi} \quad (3.14)$$

Yükseltici tip dönüştürücüde endüktansın akımı giriş akımına denktir.

$$I_L = I_g \quad (3.15)$$

MGNİ sistemlerinde yükseltici tip DA-DA dönüştürücünün uygulanması halinde güneş panelinin eş değer direnci devrede gösterilen R_g , aşağıda gösterilen denklem ile edlde edilir.

$$V_o = \frac{1}{1-D} I_g R_g \quad (3.16)$$

$$V_o = \frac{1}{(1-D)^2} I_c R_g \quad (3.17)$$

$$\frac{V_o}{I_{\varphi}} = \frac{1}{(1-D)^2} R_g \quad (3.18)$$

$$R_g = R_{\varphi} (1-D)^2 \quad (3.19)$$

3.14. FPGA ve System Generator

FPGA programlanabilir lojik elemanlar ailesinden olup, yapısı itibariyle programlanabilen ara bağlantılarla bağlanan programlanabilen lojik bloklardan oluşmaktadır. FPGA günümüz led tv, cep telefonu, modem gibi vb. birçok elektronik cihazda kullanıldığı gibi evirici kontrolü, çeviriciler, matris çeviriciler, elektrik makinaları sürücüleri ve yapay sinir ağı bulanık mantık kontrolörleri gibi elektriksel sistem kontrolünde kullanılmaktadır (Monmasson 2007). FPGA'nın saat hızının, cpu ve gpu ile karşılaştırıldığında düşük olmasına rağmen, sahip olduğu yüksek performans herhangi bir uygulamaya yönelik tamamıyla optimize edilmiş devre dizaynı ve paralel işlem yapabilmesi için gerekli hafızanın yonga üzerinde olmasından kaynaklanmaktadır. (Asano ve ark.2009)

3.14.1. FPGA'nın Tarihçesi

Field Programmable Gate Array (Sahada programlanabilir Kapı Dizisi) programlanabilir ara bağlantılarla birbirine bağlanabilen tamamıyla programlanabilen lojik bloklardan oluşan bir yapıdır. İlk olarak 1985 yılında Xilinx firmasının kurucu olan Ross Freeman ve Bernard Vonderschmitt tarafından ortaya çıkmıştır. İlk FPGA ise 64

mantık hücresi, 64 CPLD, 38 Maksimum G/Ç pin sayıları diferansiyel multi-gigabit alıcı-verici özelliklerine sahip XC-2064-33'tür. (<https://forums.xilinx.com/t5/>). Complex Programmable Logic Device (CPLD) 1980'li yıllarda FPGA'nın zeminini oluşturan devre yapılarıdır. İlk FPGA tanıtıldıktan sonra günümüze kadar hızlı bir şekilde gelişme göstermeye başlamıştır.

1990'lu yıllara gelindiğinde ise Xilinx sektörün öncü firması haline gelmiştir. (Sarıtış ve Karataş, 2013) 1990'lı yıllar FPGA'nın patlama yaşadığı dönemlerdir. İlk zamanlarda telekomünikasyon ve network alanında kullanılmaya başlanmıştır. 2000'li yıllarda otomotiv, uzay ve savunma sanayisinde yaygın hale gelmiştir.

Günümüzde sektörün %90'nını Altera ve Xilinx firması paylaşmaktadır. Altera Firması Apex, Flex, Max, Stratix-5, Arria-5, Cyclone-5 gibi devreleri piyasaya sürmüştür. Bu iki firmanın FPGA yapılarına baktığımız zaman Xilinx donanımsal olarak, Altera yazılımsal olarak anlaşılır ve kullanışlı devrelerdir. Bu iki firmanın FPGA mantık hücreleri farklı isimle bilinmesine karşın temel olarak bir flip-flop, bir LUT (Look Up Table) ve ek donanımlardan oluşmaktadır.

3.14.2. FPGA'nın Özellikleri

FPGA'nın temel özellikleri arasında sahada programlanabilme, paralel işlem kabiliyeti, tasarımın test edilip doğrulanabilmesi, FPGA'e işlemci gömülmesi sıralanabilir. Fpga'nın En önemli özelliklerinden biri paralel işlem yapabilme kabiliyetidir. Görüntü ve sinyallerin işlenmesi sırasında hızın önemli bir parametre olması paralel işlem özelliğinin önemine dikkat çekmektedir. Tasarımın test edilip doğrulanması özelliğiyle de kullanıcılara büyük avantajlar sağlayabilmektedir (Sarıtış ve Karataş, 2013). Özellikle SRAM Tabanlı FPGA'lar tekrar programlanabilme özelliğine sahiptirler.

Yaygın olarak kullanılan FPGA'lar SRAM tabanlı FPGA'lardır. Bu FPGA'ların enerjisi kesilene kadar içerisindeki program silinmez. Buna bağlı olarak sürekli olarak programlanabilir. Bu FPGA'ların temel programlama yapısı içerisinde bir SRAM ve mux'un olduğu look up table (bakma tablosu) ve ardışıklığın sağlanması için flip flop mevcuttur. Ayrıca bu FPGA'lar da matematiksel işlemleri yapabilmek için yazılımsal ve donanımsal DSP(Digital Signal Processor) çekirdekleri de bulunmaktadır (Garisa ve Korkinb 2002).

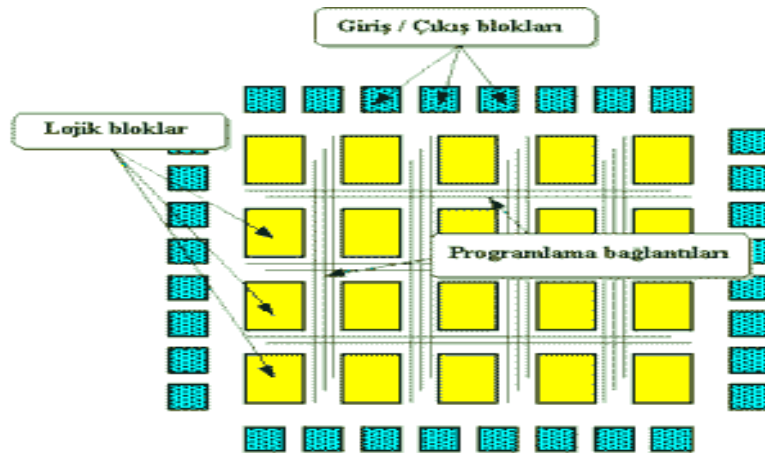
Aynı zamanda FPGA içerisinde sayısal bir devre oluşturulmasına olanak sağlayan çok sayıda look-up table logic kapı blokları vardır. Bu şekilde gerekli fonksiyon yapısına bağlı olarak bu kapı blokları programlanır. Bu programlama ise Verilog ve VHDL(Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language) gibi donanım gerektiren tasarlama dilleriyle sağlanır (Won, 2007; Çavuşoğlu, 2006).

3.14.3. FPGA Çalışma Prensibi

SRAM tabanlı FPGA'ların çalışması prensibine baktığımız zaman 2 türde devre ile karşılaşırız. Bunlardan ilki kombinasyonel devrelerdir, ikincisi ardışıl devrelerdir. Kombinasyonel devrelerin çalışma sisteminde tüm girişler dıştaki kaynaklardan beslemesini tamamlar Buna bağlı olarak da herhangi bir geri besleme söz konusu değildir. Kombinasyonel devrelerde çıkışlar girişlerin o anki değerlerine bağlıdır. (Saritaş ve Karataş, 2013). Kombinasyonel devreler, programlama teknolojilerinden SRAM hücre tabanlı FPGA içerisinde LUT'lar ile gerçekleştirilmektedirler.

3.14.4. FPGA Yapısı

FPGA'lar yarı iletken teknolojisi ile üretilmektedir. Giriş çıkışlar, Mantık hücreler, Programlanabilir ara bağlantılardan oluşmaktadır. Mantık hücreleri yapılanabilme özelliğine sahiptir. Mantık hücrelerinin yerleşimi de FPGA içerisine matris şeklindedir. Mantık hücreleri FPGA'daki basit işlemlerin gerçekleştirildiği hücre yapılarıdır. Mantık hücrelerinin iç ve dış kısımlarında pinler bulunmaktadır. Bu pinler için giriş çıkış blokları bulunur. Bu blokların işlevi FPGA ile arayüz arası bağlantıyı sağlamaktır. FPGA içerisinde birden fazla sayısal işlemi paralel yapan DSP blokları ile giriş saatine bağlı farklı frekans ve fazlarda çoklu saatler üretebilen PLL modülleri de bulunmaktadır.



Şekil.3.24. FPGA iç yapısı

3.14.5. System Generator

System Generator Xilinx firması tarafından MATLAB/Simulink grafik editörü için sağlanan bir araçtır. Böylelikle simülasyon modellerine Xilinx ile ilgili spesifik bloklar eklenebilmektedir(UG948). System Generator'un kullanılmasıyla oluşturulan modelde, kullanılan Xilinx spesifik bloklar için program, otomatik olarak istenilen FPGA için oluşturulabilmektedir. Böylelikle karmaşık olan tasarım metodolojileri ve donanım programlama dili kullanılmadan, FPGA için gerekli konfigürasyon dosyası görsel olarak oluşturulur.

System Generator aracının MATLAB programına eklenmesiyle, bu araç Simulink kütüphanesine Xilinx özgü araç kutularını eklemektedir. Bu araç kutuları temel elemanlar, lojik kontrol, DSP, haberleşme, hafıza elemanlarını içermektedir. Xilinx özgü bloklarla hem sabit noktalı hem de kayan nokta matematiksel işlemler yapılabilir. Ayrıca FPGA'da yapılacak işlemler ayrık olduğu için bloklar için bir örnekleme zamanına ihtiyaç duyulmaktadır.

3.15. Basys3 Kartı ve Kosimülasyon

Basys3 deneme kartı Xilinx firmasının üretmiş olduğu Artix-7 FPGA'ya sahip, ucuz bir eğitim aracıdır. Artix-7 5200 dilim içerisindeki 33280 lojik hücreden oluşmaktadır, 5 tane saat yönetim kuyruğu vardır, 90 DSP dilimine sahip Basys3 kartı bir geliştirme kartı olduğundan üzerinde 16 tane anahtar, 16 tane LED, 5 tane buton, 4 tane 7 segment Display, 3 Pmod portuna sahiptir. Bu kart Şekil 3.25'te gösterilmektedir [Digilent,2019].



Şekil.3.25. BASYS3 FPGA deneme kartı

Kosimülasyon, oluşturulan algoritmanın simülasyon esnasında donanım içerisinde çalıştırılmasına denmektedir. Bu işlemle algoritmanın donanım içerisinde çalışmasından dolayı simülasyon hızı artmakta ve ayrıca donanım üzerinde algoritmanın

alışması doğrulanmaktadır. System Generator, Xilinx firmasına ait FPGA'ların kosimölasyon seçeneğini de sağlamaktadır.

System generator Simulink modelinde tanımlanmış FPGA spesifik blokların tamamını içeren bir blok oluşturur. İlgili donanım bilgisayara bağlandıktan sonra, simölasyon çalıştırıldığında bit stream dosyası ilgili donanıma yüklenir. Simölasyondaki ilgili giriş sinyalleri ilgili donanıma aktarılır, donanım içerisinde işlem yapıldıktan sonra donanım ıkışları tekrar simölasyon modeline gönderilir.

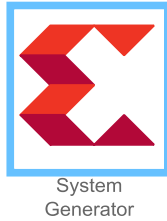




4. BULGULAR VE TARTIŞMA

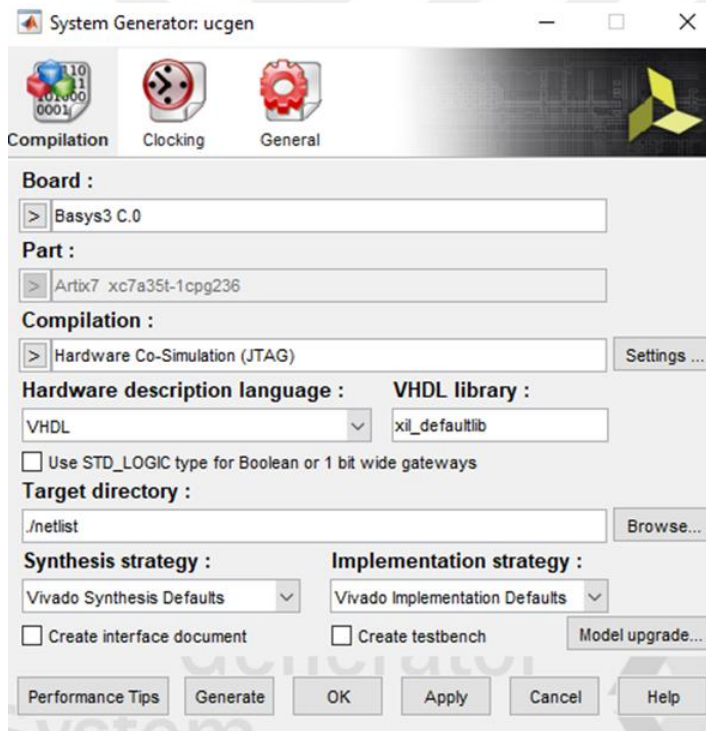
4.1. System Generator İle Model Oluşturma

Xilinx firması tarafından üretilmiş FPGA'ları Simulink modeliyle çalıştırmak için System Generator bloğunun boş Simulink modeline ilk eklenmesi gerekmektedir. System generator ikonu Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



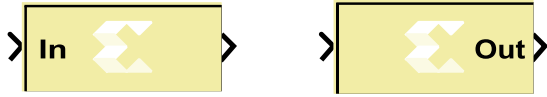
Şekil.4.1. System Generator İkonu

System Generator ikonu çift tıklandığında Şekil 4.2.'deki pencere açılmaktadır.



Şekil.4.2. System Generator penceresi

Burada ilgili donanımın seçilebildiği, kosimülasyon, donanım tanımlama dili gibi seçenekler mevcuttur. Ayrıca Simulink sistem saat hızı da belirlenebilmektedir. Simulink bloklarından FPGA bloklarına giriş ve Şekil 4.3'te verilen IN ve OUT bloklarıyla yapılmaktadır.



Şekil.4.3. System Generator penceresi

Model oluşturulduktan sonra öncelikle Xilinx blokları içeren simülasyonun istenildiği şekilde çalışıp çalışmadığı test edilir. Daha sonra Şekil 4.2’de gösterilen System generator penceresinde bulunan **Generate** tuşuna basılarak simülasyondaki bütün Xilinx bloklarını içeren özel bir blok oluşur. Simülasyonda mevcut olan Xilinx bloklarına bağlı olan giriş ve çıkış uçları bu özel bloğa bağlanarak kosimülasyon modeli elde edilir. Sonuç olarak ilgili donanım bilgisayara bağlandıktan sonra model çalıştırılırsa, bloktaki bitstream dosyası donanıma eklenir ve kosimülasyon yapılır.

4.2. Şebeke Bağlı Sistemler ve DÜGES

Şebekeye bağlı fotovoltaiik sistemler diğerlerine göre, daha avantajlıdır. Bu tip sistemlerin avantajlı olmasının en önemli nedenlerinden birisi yükün fazla olması durumunda şebekeden enerji almaları ve bu sistemlerin ürettikleri enerji miktarının fazlalığında şebekeye enerji vermeleridir (Atig, 2016).

Dicle üniversitesinde bünyesinde 250 kW gücünde bir FV sistem 2015 yılında kurulmuştur. Bu sistemde viessmann vitovolt 300 panelleri kullanılmıştır. Bu panellerin etiket değerleri aşağıdaki tabloda mevcuttur.

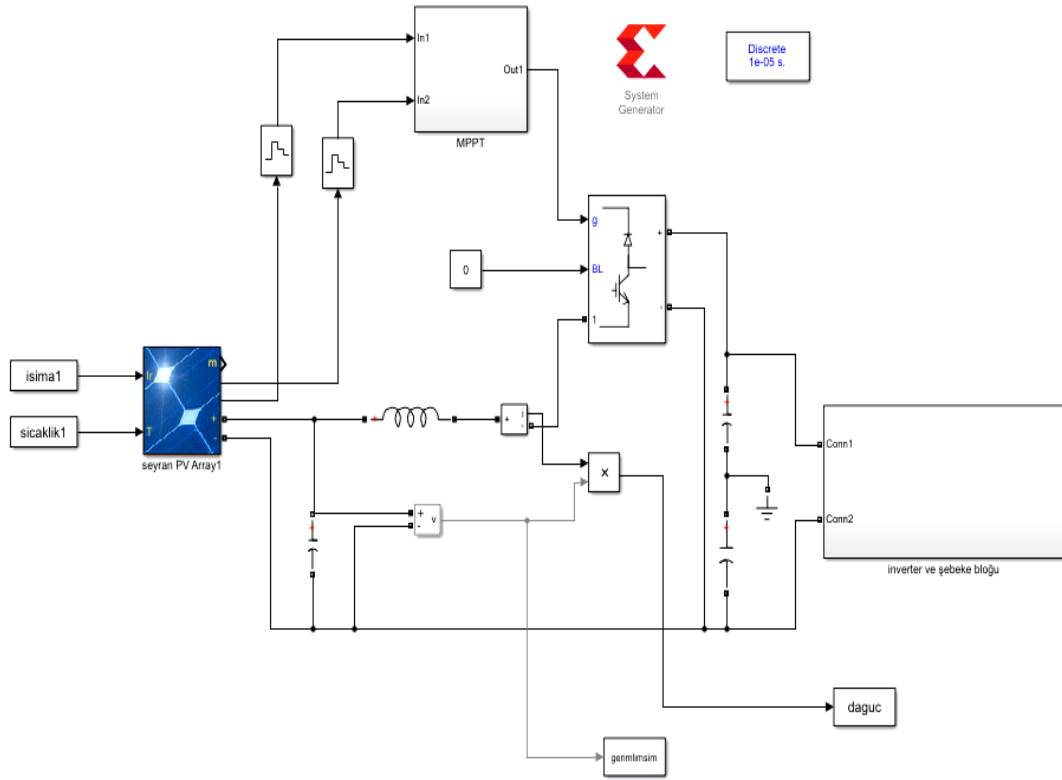
Çizelge 4.1.Panellerin etiket değerleri

	Ölçülen Değer	Oran Değer
Nominal güç	253.1438 W	250 W
Maksimum güçte gerilim	30.3639 V	30.38 V
Maksimum akım	8.337 A	8.29 A
Açık devre gerilimi	37.1664 V	37.12 V
Kısa devre akımı	8.796	8.76
Maksimum sistem gerilimi		1000 V

Şebeke gerilimini elde etmek üzere bu panellerin 20 tanesi seri olarak bağlanmıştır. Bununla birlikte bu sistemde ABB firması tarafından 8 tane 30 kW'lık 1 tane 10 kW'lık dokuz diziden oluşan bir santral bulunmaktadır. 8 tanesinde 30 KW ABB TRIO-27.6 TL-OUTD harici tip ve 1 tanesinde ise ABB FV1-10-TL-OUTD harici tip eviriciler kullanılmıştır. Bu eviricilerde ise 2 tane MGNİ girişi bulunmaktadır. Bu sistemin FV enerjisi, FV güç, DA gerilim, akım, üretilen güç, üretilen enerji, frekans, evirici sıcaklığı gibi çok sayıdaki değerler ise firmanın sağlamış olduğu Aurora Vision programı kullanılarak anlık olarak izlenebilmektedir. Aurora Vision programı ile geçmişe dönük değerler de kayıt altında alındığından günlük, haftalık, aylık, yıllık tüm değerlere erişim sağlanabilmektedir. Bu program her eviriciyi ayrı ayrı takip edebilme olanağı da sağlamaktadır (Haydaroğlu,2017). Ayrıca DÜGES 34.5 kV gerilim değerine yükseltilip şebekeye bağlanmaktadır.

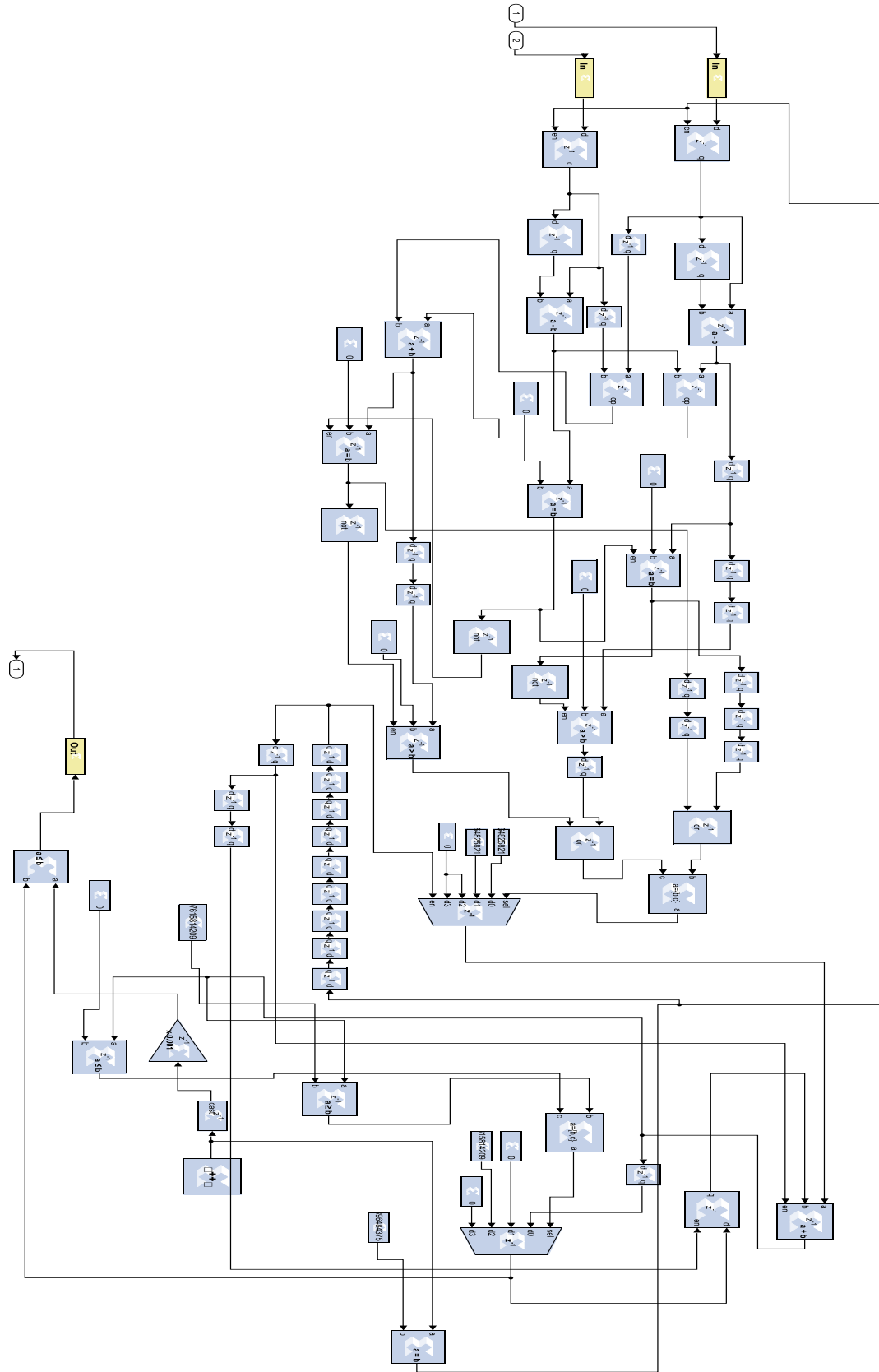
4.3. Simülasyon Modeli

Yapılan bu tez çalışmasında 10 kW gücünde şebeke bağlı bir fotovoltaik sistem MATLAB/Simulink editörü kullanılarak Şekil 4.4'te gösterildiği gibi modellenmiştir. Kullanılan maksimum güç noktası izleyici algoritması bütünüyle System Generatör aracı ile sağlanan Xilinx spesifik blokları oluşturulmuştur. DÜGES'de bulunan 10 kW'lık ABB FV1-10-TL-OUTD tipteki eviricinin verileri esas alınarak bu eviricinin ürettiği DA güç ile benzetim modelinde elde edilen DA güç karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil.4.4. Matlab/simulink simülasyon modeli

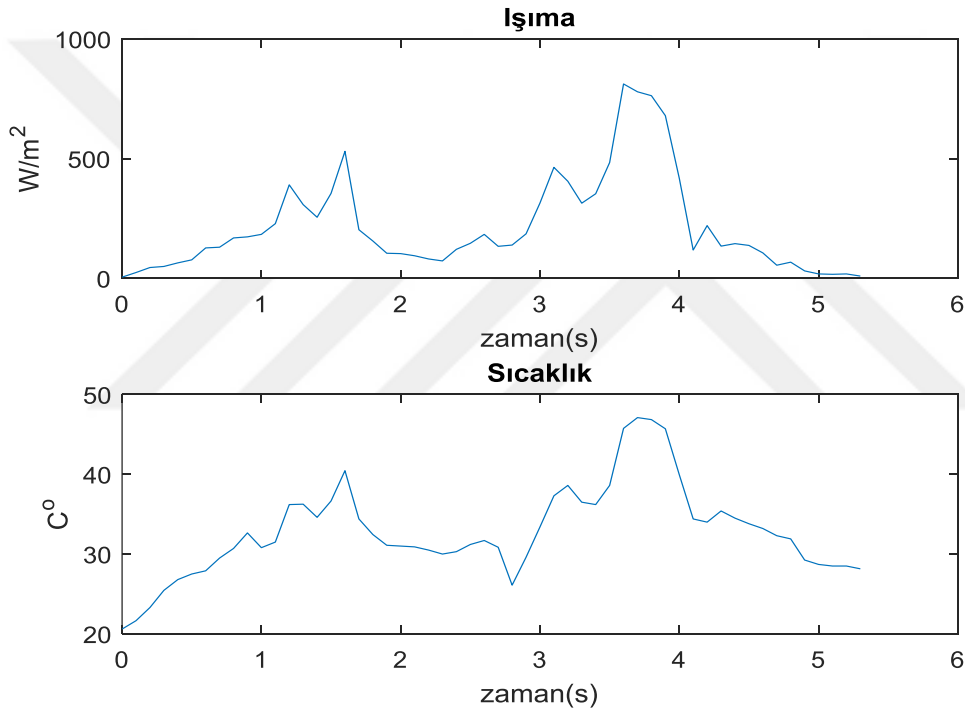
Gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra, yukarıdaki şekilde boost çeviricide kullanılan endüktans değeri 10mH ve çevirici çıkışındaki seri kondansatörlerin kapasitans değeri 200 μ F seçilmiştir. Şebekede bulunan transformatör, iletim hattı, kompanzasyon, filtre, yük, 3 fazlı kaynak, 3 fazlı inverter gibi elemanların hepsi inverter ve şebeke bloğunun içerisinde bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 4.4'te bulunan MPPT alt bloğunda Xilinx spesifik bloklarıyla oluşturulan artan iletkenlik algoritması mevcuttur. Burada PWM frekansı 10 kHz ve PWM işaretinin artım oranı 0.01 olarak seçilmiştir. Xilinx spesifik bloklarıyla oluşturulan artan iletkenlik algoritması Şekil 4.5.'te gösterilmiştir. Modeldeki FV dizisinin çıkış akım ve gerilim değerleri İki tane IN bloğuyla bu algoritmaya giriş olarak uygulanmış, algoritmanın çıkışı ise bir OUT bloğuyla boost çeviricinin girişine uygulanmıştır.



Şekil.4.5. Oluşturulan artan iletkenlik algoritması

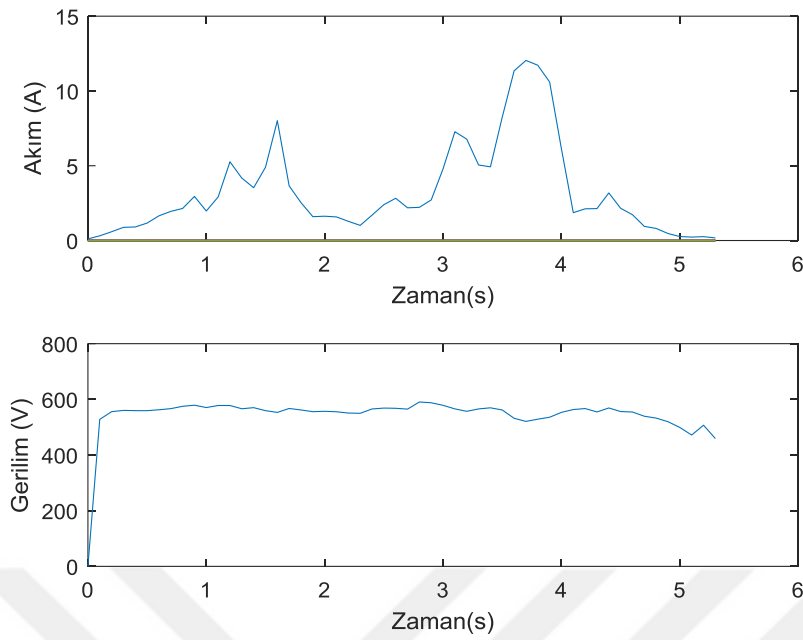
4.4. Modelin Simülasyon ve Kosimülasyon Sonuçları

DÜGES’de gerilim, akım, güç, gibi veriler 15’er dakika aralıklarla kaydedilmektedir. Yapılan çalışmada hava koşullarının çok değişken olduğu bir gün seçilmiş ve 13.5 saatlik veriler, her bir veri arasındaki zaman aralığı 0.1 s olacak şekilde düzenlenmiş ve modele uygulanmıştır. Modele uygulanan ısıma ve sıcaklık verileri Şekil 4.6’da gösterilmektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi 13.5 saatlik sürenin 5.3 saniyeye karşılık gelecek şekilde ölçeklenmesi, ısıma ve sıcaklık verilerinde çok ani artış ve düşüşlere sebep olmaktadır. Bunun yapılmasındaki amaç ilgili donanımın bu kadar hızlı değişimlere cevap verebilmesini test etmektir.



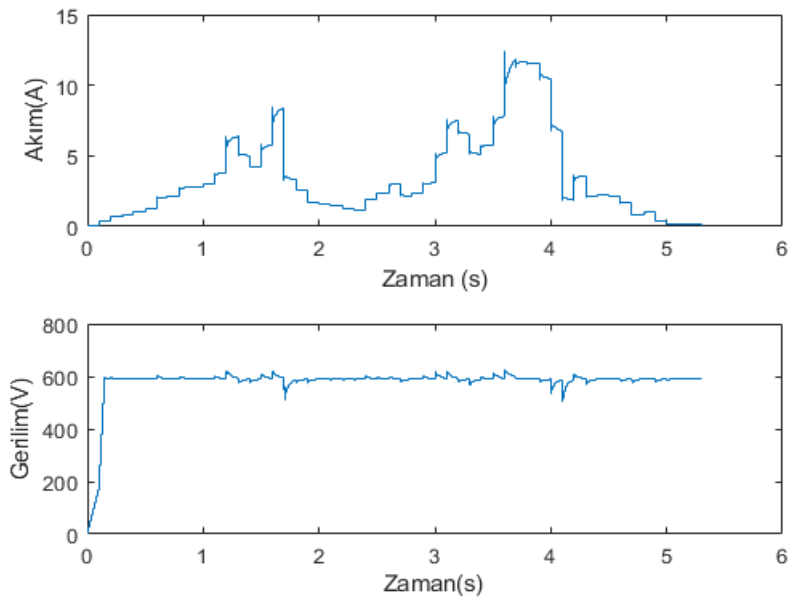
Şekil.4.6. Modelde kullanılan ısıma ve sıcaklık eğrileri

DÜGES’den alınan bu invertere ait DA çıkış akım ve gerilim değerleri 5.3 saniye için ölçeklenmiş olup Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



Şekil.4.7. İnvertöre ait akım ve gerilim çıkışları

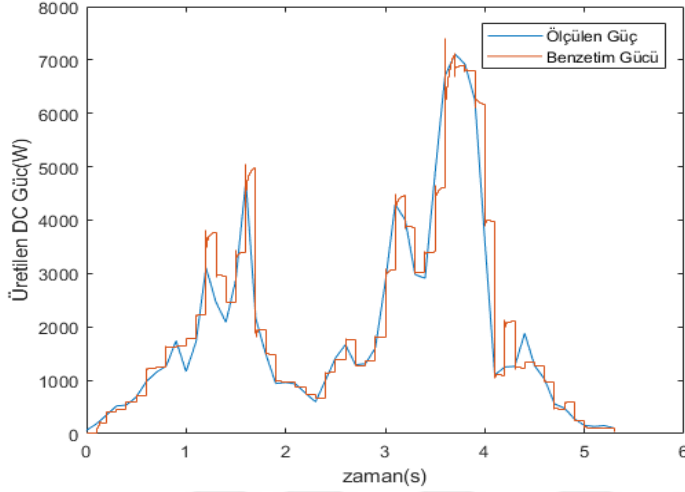
Bununla birlikte simülasyon modelinden alınan DA akım ve gerilim değerleri Şekil 4.8’de gösterilmektedir.



Şekil.4.8. Simülasyona ait akım ve gerilim çıkışları

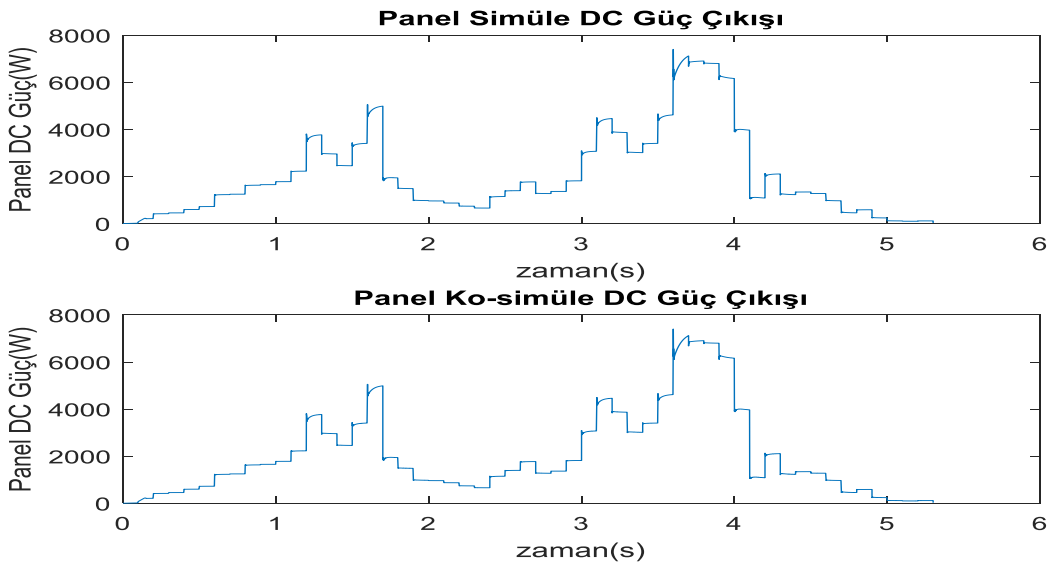
Şekil 4.7 ve 4.8 birlikte incelendiğinde çalışan inverterin DA akım ve gerilim değerleriyle, simülasyondan elde edilen değerlerin birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir.

Modelden elde edilen FV panel dizisinin ürettiği güç ve ölçülen DA güç aşağıdaki Şekil 4.9.'da gösterilmektedir. Aşağıdaki şekil 4.9'da görüldüğü üzere simülasyon sonucu elde edilen DA güç ile ölçülen DA gücü takip etmektedir.



Şekil.4.9. Simüle edilmiş ve ölçülmüş FV panel çıkış DA gücü

Daha sonra oluşturulan modelin kosimülasyonu BASYS3 FPGA deneme kartı kullanılarak yapılmıştır. Simülasyon ve Kosimülasyon sonuçları aşağıdaki şekil 4.10'da verilmiştir. Şekil 4.10 da verilen simülasyon ve kosimülasyon sonuçları aynı çıkmıştır. Bu sonuç, oluşturulan modelin donanımda simülasyon modeliyle aynı doğrulukta çalıştırılacağını göstermektedir.



Şekil.4.10. Simülasyon ve kosimülasyon DC güç çıkışları

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında Maksimum Güç nokta izleyicisi algoritmalarından çoğunlukla kullanılan artan iletkenlik algoritmasının FPGA ile gerçekleştirilmesi, simülasyonu ve kosimülasyonu yapılmıştır. Aynı zamanda uygulamada olan bir FV enerji sisteminin verileri ile model çalıştırılmıştır ve daha sonra bu sistemin DA güç çıkış verileri ile modelin DA güç çıkışı karşılaştırılmıştır. Işıma ve sıcaklık verileri Dicle Üniversitesi bünyesinde kurulu olan 250 kW güce sahip FV güneş santralinden elde edilmiştir. Bir önceki bölümde gösterilen gerçek DA akım, gerilim ve güç verilerinin simülasyon modelinin değerleriyle karşılaştırmalı olarak incelendiğinde birbirleriyle uyduğu gözlemlenmiştir.

Bununla birlikte simülasyon ve kosimülasyonun sonuçlarının aynı olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum kosimülasyon modelinin güvenli olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Kosimülasyon modelinde FPGA’da oluşturulan algoritmalar donanımsal olarak gerçekleştirildiği için işlem süresi çok daha kısadır.

Ardışıl gerilim ve akım verileri arasındaki süre 0.1 s olarak seçilmiş ve modele uygulanmıştır. Bu süre meteorolojik değişimler göz önüne alındığında çok kısa bir süredir. Bu süre ilgili donanımın performansını test etmek için seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve uygulama sonuçları uyumludur.

Oluşturulan modelde FV panelinin DA gücü, boost çevirici parametreleri ve AA şebekesinin parametreleri değiştirilerek farklı sistemlere uygulanabilir. Bununla birlikte 3-fazlı inverterin kontrolü ile ilgili çalışma yapılmamıştır. Bu kontrole ait algoritmalar Xilinx blokları kullanılarak oluşturulabilir.

Modelin kosimülasyon sonuçları da, ilgili donanımın pratik olarak kullanılabileceğini göstermektedir. BASYS3 deneme kartının ucuz olması inverterde kullanılan kontrol ünitesinin maliyetini düşürecektir. Bununla birlikte bu kartın analog giriş ve çıkışlarının çok fazla olmaması bir dezavantaj olarak görülebilir. Ancak ticari olarak buna benzer daha fazla çıkışı olan FPGA kartları da kullanılabilmektedir.

Gelecek çalışmalarda bu tezde oluşturulan artan iletkenlik algoritmasını bir FPGA donanımında çalıştırılabileceği gerçek bir inverterin tasarlanması planlanmaktadır.



6. KAYNAKLAR

- Araujo, R.G., Krout S., Onnekin K. ve Quaschnig V., 2001, "Photovoltaic Energy Systems", TU, Berlin
- Ahmad J., A fractional open circuit voltage based maximum power point tracker for Photovoltaic arrays, Second International Conference on Software Technology and Engineering, Porto Riko, 3-5 October 2010
- Asano, S., Maruyama, T., ve Yamaguchi, Y., (2009-09-29). "Performance comparison of FPGA, GPU and CPU in image processor" IEEE. Prague, Czech Republic CD-ROM ISBN: 978-1-4244-3892-1
- Amine A.M., Mohamed M., Mohammed O., A New Variable Step Size INC MPPT method for PV Systems, Multimedia Computing and Systems (ICMCS), 2014 IEEE Conference, Page(s): 1563 – 1568, (2014).
- Atiq, J., & Soori, P. K. (2016). Modelling of a Grid Connected Solar PV System Using MATLAB/Simulink. International Journal of Simulation--Systems, Science & Technology, 17(41).
- Ateş UĞUREL, Temiz Enerjiler Makalesi 2008 (<http://file.ttmd.org.tr/makale/27-3.PDF>).
- Batchheller, P., (1993), Microprocessor controlled maximum power point tracker for photovoltaic system, Ms Thesis B.S., Devry Institute of Technology.
- B.D. Bedford and R.G. Hoft, Principle of Inverter Circuits. New York: John Wiley&Sons 1964.
- Cem Haydaroglu, Dicle Üniversitesi Güneş Enerji Santrali Performans Analizi Yüksek Lisans Tezi Haziran-2017.
- Çavuşoğlu M.A. 2006. FPGA ile Yapay Sinir Ağı Eğitiminin Donanımsal Olarak Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi.
- David S., Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Applications, Master Thesis, Aalto University, Helsinki, 2010
- de Garisa H., Korkinb M. 2002. .The CAM-Brain Machine (CBM): an FPGA-based hardware tool that evolves a 1000 neuron-net circuit module in seconds and updates a 75 million neuron arti-cial brain for real-time robot control . Neurocomputing, Elsevier Sci., pp.35-68.
- D. Abhinav and Kanchan Pal. "Design of Buck Boost Converter for Constant Voltage Applications and Its Transient Response Due To Parametric Variation of PI Controller.", International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology 3.6.2014
- D.P. Hohm, M.E. Ropp Progress In Photovoltaics 11 (2003) 47-62
- Dolara A., Faranda R., Leva S., Energy Comparison of Seven MPPT Techniques for pv systems, Journal of Electromagnetic Analysis & Applications, 2009, 3, 152-162.
- Esram T, Chapman PL. "Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques". IEEE Trans Energy Convers 2007.
- Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumu, Elektrik Piyasa Sektör Raporu Ocak-2019

- Faraji, R., Rouholamini, A., Naji, H. R., Fadaeinedjad, R., & Chavoshian, M. R. (2014). FPGA-based real time incremental conductance maximum power point tracking controller for photovoltaic systems. *IET Power Electronics*, 7(5), 1294-1304
- Faranda R. and Leva S., 2008. Energy Comparison Of Mppt Techniques For Pv Systems, Department of Energy Politecnico di Milano, ISSN: 1790-5060, Issue 6, Volume 3,, Milano – Italy
- G. Walker, “Evaluating Mppt Converter Topologies Using a Matlab Pv Model,” *J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 21, no. 1, pp. 49–56, 2001
- Habitat Kalkınma ve Yönetişim Derneği, Güneş Pilleri, 1995-2015, Erişim Tarihi:25.03.2019 http://habitatkalkinma.org/dl/kaynaklar/yayin/TemizEnerjiYayinlari/G_Pilleri.pdf
- Hohm,D.P.,Ropp,M.E.,“ComparativeStudyofMaximum Power Point Tracking Algorithms Progressing Photovoltaics:ResearchandApplications, John Wiley and Sons, Ltd, pp.47-62, 2001
- Jakhrani A. , Othman A., 2012, A novel analytical model for optimal sizing of standalone photovoltaic systems, *Energy* 46 (2012) 675e682
- Kashif I., Zainal S., Saad M. and Amir S., Parameter Extraction of Solar Photovoltaic Modules Using Penalty-Based Differential Evolution, *ScienceDirect*, 99 (2012) 297-308
- Karagöl, Erdal ve Kavaz, İsmail (2017) “Dünyada Ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji”, <https://setav.org> (18.03.2019).
- Kanat TEMİZ, Alternatif Enerji Kaynakları Makalesi 2008(<http://file.ttmd.org.tr/makale/273.PDF>).
- Laplaze D, Youm I (1985) *Solar cells* 14:167
- Lingareddy V, Ravichandra G, Maddukrui PK. "Effective strategy for MPPT in PV/wind hybrid electric power system interconnected with electrical utility grid". *Int J Adv Res Comput Sci Softw Eng* 2013
- Liu, X., Zhang, F., Hackworth, S.A., Sclabassi, R.J., Sun, M., “Modeling and Simulation of a Thin Film Power Transfer Cell for Medical Devices and Implants”, *Circuits and Systems*, 2009. *ISCAS* 2009.
- IEEE International Symposium, Taipei, 3086-3089 (2009).
- M. El-Sharkawi, *Electric Energy: An Introduction*. Boca Raton, Florida: CRC Press.2008
- Muhammad. H. Rashid. 2003. *Power Electronics Circuits, Devices, and Applications*. 3th Edition. Prentice Hall: Pearson
- Martín, C., Belver, Z., Lesaka, L. and Guerrero, Z., Modelling of Photovoltaic Module, *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'10)*, March 2010, Granada, 1186-1190.).
- Mohan undeland robbins *Güç elektroniği Kitabı* 2. Basımdan çeviri, Nisan 2007

Monmasson, E., & Cirstea, M. N. (2007). FPGA design methodology for industrial control systems—A review. *IEEE transactions on industrial electronics*, 54(4), 1824-1842.

Messenger, R. ve Ventre, J., (2005). *Photovoltaic systems engineering*, Second edition, CRC Press, Boca Raton.

Öztürk, H., Kaya, D., Güneş enerjisinden elektrik üretimi Fotovoltaik teknoloji, umuttepe yayınları, yayın no:97, 2013 S-ISBN: 978-605-5100-00-1.

Öztürk, H.H.2008. Güneş enerjisi ve uygulamaları, Birsen Yayın evi, İstanbul,ISBN 978-975-511-502-3.

Özdemir Ş., 2007. Fotovoltaik Sistemler İçin Mikrodenetleyicili En Yüksek Güç Noktasını İzleyen Bir Konvertörün Gerçekleştirilmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, AnkaraPhotovoltaic applications solar center information. http://www.ncsc.ncsu.edu/include/_upload/.../pvapplication.pdf.

Rashid, M. H., Güç elektroniği, yarı iletken elemanlar,devrelerveuygulamaları, 4. Basımdan Çeviri, 2015.

Rashid, M.H., *Power Electronics Handbook*, Academic Press, Florida USA, 2001.

Subudhi B., Pradhan R., A comparative study on maximum power point tracking techniques for photovoltaic power systems, *Sustainable Energy*, 2013, 4, 89-98Sarıtaş, E., Karataş, S., Her Yönüyle FPGA ve VHDL 1990 Palme Yayıncılık 2013

Salas V., Oli'as, E., Barrado, A., ve La' zaro, A., (2006). "Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems", *Solar Energy Mater. Solar Cells*, 90:1555-1578.

Seyedmahmoudian, M.; Horan, B.; Soon, T. Kok; Rahmani, R.; Than Oo, A. Muang; Mekhilef, S.; Stojcevski, A. (2016-10-01). "State of the art artificial intelligence-based MPPT techniques for mitigating partial shading effects on PV systems – A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 64: 435–455.

Siti NBM (2010) Simulation design of a stand-alone photovoltaic (PV) inverter, a report submitted in partial fulfillment of the requirements for the award of the degree of bachelor of electrical engineering, faculty of electrical engineering, University Technology Malaysia).

Seyedmahmoudian, Mehdi; Horan, Ben; Rahmani, Rasoul; Maung Than Oo, Aman; Stojcevski, Alex (2016-03-02). "Efficient Photovoltaic System Maximum Power Point Tracking Using a New Technique". *Energies*. 9 (3): 147.

Seyedmahmoudian, M.; Rahmani, R.; Mekhilef, S.; Maung Than Oo, A.; Stojcevski, A.; Soon, Tey Kok; Ghandhari, A. S. (2015-07-01). "Simulation and Hardware Implementation of New Maximum Power Point Tracking Technique for Partially Shaded PV System Using Hybrid DEPSO Method". *IEEE Transactions on Sustainable Energy*.

S.Y. Tseng, C.T. Tsai, Hindawi Publishing Corporation *International Journal of Photoenergy*, 2012(Article ID 936843).

Tuncay N., Gökaşan M., Güç Elektroniği 2. Basımdan Çeviri, Literatür Yayınları, İstanbul,2007.

US Department of Energy, Renewable Energy Technologies- Energy Basics
<http://www.eere.energy.gov.basics/>. Accessed February 2012.

Volker, 2005, Pandiarajan, N. and Ranganath, M., Mathematical Modeling of Photovoltaic Module with Simulink, 1st International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES), March 2011, California, 258-263.

What is Renewable Energy?”, Australian Renewable Energy Agency, <http://arena.gov.au/about-renewable-energy>, (Erişim tarihi: 21.03.2018).

Won E. .2007 . A hardware implementation of artificial neural networks using field programmable gate arrays . Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 581, pp.816-820. https://www.xilinx.com/support/documentation/sw_manuals/xilinx2017_2/ug897-vivadosysgen-user.pdf.

IEA, 2018. Energy, Climate Change and Environment: 2018 Insights. World Energy Outlook Special Report 2018, pp.1200. Available at:
<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyOutlook2018ExecutiveSummaryEnglish.pdf>.

İnternet: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2018-12-13. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.eie.gov.tr%2Fyenilenebilir%2Fgunes.aspx&date=2017-12-13>, Son Erişim Tarihi: 2018-12-13 Renewables, 2018 Global Status Report.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı: Seyran AY

Doğum Yeri: DİYARBAKIR

Doğum Tarihi: 10.09.1991

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl):

Lise: 80.Yıl Cumhuriyet Anadolu Lisesi / DİYARBAKIR, 2009

Lisans: Munzur Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği /TUNCELİ, 2015

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

Dicle Yapı Denetim , Elektrik Mühendisi (2016 – 2017)

Rüzgar Ltd.Şti. , Satış Mühendisi (2015 – 2016)

Tunceli İl Özel İdare (Staj - 2014)

Limak Uzunçayır Hidroelektrik Santrali (Staj - 2013)



DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ İNTİHAL FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ

ADI VE SOYADI	Seyran AY
ÖĞRENCİ NO	17805204
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2018-2019
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	Elektrik Elektronik Mühendisliği
PROGRAM	Yüksek Lisans / Doktora
TEZ KONUSU	Maksimum Güç Nokta İzleyici İçin Kullanılan Artan İletkenlik Algoritmasının FPGA-Tabanlı Kosimülasyonu

İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ

RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	69
BENZERLİK ORANI	%22
RAPORLAMA TARİHİ	29/07/ 2019

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 69 sayfalık kısmına ilişkin, 29/07/2019 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin.adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 22 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☐ Kabul/Onay sayfaları hariç,
☐ Kaynakça hariç
☐ Alıntılar hariç/dâhil
☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Seyran AY
29.07.2019

Dr.Öğr. Üyesi M. Ali ARSERİM
Tez Danışmanı
29.07.2019

Doç.Dr. Bilal GÜMÜŞ
Anabilim Dalı Başkanı
29.07.2019

Formdaki bilgiler bilgisayar ortamında doldurulmalıdır. El yazısı ile doldurulan formlar geçersiz sayılmaktadır.