



T.C.  
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# FOTOVOLTAİK UYGULAMALAR İÇİN GÜÇ KONVERTÖRLERİNİN KONTROLÜ

ASLI ÜZÜM AYDIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2015

**T.C.**  
**KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLTAİK UYGUAMALAR İÇİN**  
**GÜÇ KONVERTÖRLERİNİN KONTROLÜ**

**ASLI ÜZÜM AYDIN**

**Bu tez,**  
**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında**  
**YÜKSEK LİSANS**  
**derecesi için hazırlanmıştır.**

**KAHRAMANMARAŞ 2015**

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Aslı ÜZÜM AYDIN tarafından hazırlanan “FOTOVOLTAİK UYGULAMALAR İÇİN GÜÇ KONVERTÖRLERİNİN KONTROLÜ” adlı bu tez, jürimiz tarafından 15/06/2015 tarihinde oy birliği ile Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ahmet Serdar YILMAZ (DANIŞMAN) .....  
Elektrik-Elektronik Müh.  
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa ŞEKKELİ (ÜYE) .....  
Elektrik-Elektronik Müh.  
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Tamer RIZAOĞLU (ÜYE) .....  
Jeoloji Müh.  
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa ŞEKKELİ .....  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

ASLI ÜZÜM AYDIN

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

# FOTOVOLTAİK UYGULAMALAR İÇİN GÜÇ KONVERTÖRLERİNİN KONTROLÜ (YÜKSEK LİSANS TEZİ)

ASLI ÜZÜM AYDIN

## ÖZET

Bu tezde, PV sistem bileşenleri olan DA / DA dönüştürücü, fotovoltaik hücre, fotovoltaik yük ve modül ele alınarak PV sistem modellemesi anlatıldı. İlk adımda, güneş pili ve PV modülü modellendi. Bir PV modül elektriksel modeli Shockley diyot denkleminde dayalı sunulmaktadır. İkinci adımda, PV dizi modeli, düşürücü tipi dönüştürücü ve kontrol devresi, evirici ve kontrol devresi, son olarak da yük temsil edildi. Her sistemin simülasyon sonucu, belirtilen aynı sürekli simülasyon zamanında ele alındı. Modelleme Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirildi. Eviriciye gerilim kontrolü uygulama durumuna göre sistem iki şekilde incelendi.

PV sisteme DA/DA dönüştürücü ve DA/AA dönüştürücü üzerinden bağlanmış olan yükün değişim davranışları analiz edildi. Eviriciye kontrol sistemi uygulandığında, sistemin veriminin daha yüksek olduğu görüldü.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik, Dönüştürücü, Evirici

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Haziran / 2015

Danışman: Doç. Dr. A.Serdar YILMAZ

Sayfa sayısı: 47

**CONTROL OF POWER CONVERTERS FOR PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS  
(M.Sc. THESIS)**

**ASLI ÜZÜM AYDIN**

**ABSTRACT**

In this thesis, PV system modeling explained with the PV system components such as DC/DC converters, photovoltaic cells, photovoltaic module and load. In first step, solar battery and PV module modeled. A PV module electrical model presented based on Shockley diode equation. In second step, PV array model, buck type converter and its control circuit, inverter and its control circuit, finally electrical load represented. All systems simulation result, discussed with same continuous simulation time that has been specified. Modeling was performed in Matlab/Simulink environment. Depending on the inverter voltage control application, system examined in two ways. The loads variation behavior was analysed which is connected PV system over DC/DC converters and DC/AC inverter. When control system applied to the inverter, systems efficiency was higher.

**Key words:** Photovoltaic, Converter, Inverter

University of Kahramanmaraş Sütçü İmam

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electric-Electronic Engineering, June / 2015

Supervisor: Assoc. Prof. A.Serdar YILMAZ

Page Numbers: 47

## TEŞEKKÜR

Öncelikle bu tez alışmamım her aşamasında bana sabırla yardımcı olan, bilgi ve deneyimiyle yol gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. A.Serdar YILMAZ'a, tezimin başlangıç aşamasında ve laboratuvar çalışmaları sırasında bana yardımcı olan ve imkân sağlayan meslektaşım Francesco Antonio GERVASIO'ya, çalışmam sırasında sürekli bilgi ve fikir alışverişinde bulunduğum, bana yardımlarını esirgemeyen araştırma görevlisi arkadaşlarıma, lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca bana katkıda bulunan bütün hocalarıma teŐekkürlerimi sunarım.

Bugünlere beni getiren, her türlü maddi ve manevi desteklerini grdğum aileme ve her zaman yanımda olan eşim Mücahit AYDIN'a sonsuz sevgimi ve saygımı arz ederim.

Çalışmamın, arkamdan gelenlere bir nebze dahi olsa ışık tutması dileğiyle...

Aslı ÜZÜM AYDIN

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
TABLolar DİZİNİ .....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Dünya Enerji Talebi.....	1
2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER.....	3
2.1. Fotovoltaik Sistem Çeşitleri .....	3
2.1.1. Şebekeden bağımsız sistemler (Stand-alone) .....	3
2.1.2. Şebekeye bağlantılı sistemler .....	4
2.2. Fotovoltaik Sistemin Tarihsel Gelişimi .....	5
2.3. Fotovoltaik Sistemin Avantajları ve Dezavantajları.....	6
2.3.1. Avantajları .....	6
2.3.2. Dezavantajları.....	6
3. FOTOVOLTAİK DİZİ ANALİZİ VE MODELLENMESİ .....	8
3.1. Fotovoltaik Hücre Modellemesi.....	8
3.1.1. Klasik PV hücresinin MATLAB ile modellenmesi .....	9
3.2. Fotovoltaik Modül Modellenmesi.....	10
3.2.1. PV modülün MATLAB ile modellenmesi.....	11
3.2.1.1. Fotovoltaik modülün standart V-I karakteristik eğrisi .....	12
3.2.1.2. Fotovoltaik modülün V-I ve P-V karakteristik eğrisi üzerine ışınımın etkisi ..	13
3.2.1.3. Fotovoltaik modülün V-I ve P-V karakteristik eğrisi üzerine sıcaklığın etkisi ..	15
3.3. PV Dizinin MATLAB ile Modellenmesi.....	16
3.3.1. PV dizisinin çıkış gerilimi.....	17
4. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN DA/DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ TOPOLOJİLERİ.....	18
4.1. DA/DA Dönüştürücü Uygulamaları.....	18
4.2. DA/DA Dönüştürücü Çeşitleri.....	18
4.3. DA/DA Dönüştürücülerin Çalışması.....	19
4.3.1. Düşürücü (Buck) konvertör.....	19
4.3.2. Örnek tasarım ve simulink uygulaması.....	22
4.3.2.1. Dönüştürücü parametre değerleri .....	22

	<b><u>Sayfa No</u></b>
4.3.2.2. Düşürücü (Buck) konvertörün simülasyon modeli.....	23
4.3.2.3. Düşürücü konvertör çıkış sinyali.....	24
5. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN EVİRİCİ TOPOLOJİLERİ.....	25
5.1. MATLAB/Simulink ile Evirici Modellemesi .....	25
6. YÜK BAĞLI PV SİSTEM UYGULAMASI.....	26
6.1. Fotovoltaik Dizi ve Düşürücü Konvertör Bağlantısının Modellenmesi.....	26
6.1.1. Düşürücü konvertör gerilim kontrolü .....	26
6.1.2. Düşürücü konvertörün gerilim kontrolünün simülasyon sonuçları .....	29
6.2. Fotovoltaik Dizi, Düşürücü Konvertör ve Evirici Bağlantısının Modellenmesi .....	30
6.2.1. Eviricinin akım kontrolü .....	30
6.2.1.1 PLL (Faz kilitlemeli döngü).....	32
6.2.1.2 abc/dq dönüşümü.....	32
6.3. Kontrollü PV Sistemin Simulink Modeli .....	34
6.3.1. Simülasyon sonuçları .....	35
6.4. Kontrolsüz PV Sistemin Simulink Modeli .....	39
6.4.1. Simülasyon sonuçları .....	40
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	44
KAYNAKLAR.....	45
ÖZGEÇMİŞ .....	47

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1: Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem.....	3
Şekil 2 : Tipik bir şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemin blok şeması.....	4
Şekil 3: PV hücresinin basit elektriksel eşdeğer modeli.....	8
Şekil 4a: Kısa devredeki iletimini gösteren diyagram b: Açık devre iletimi gösteren diyagram	8
Şekil 5: Fotovoltaik hücre eşdeğer devresi.....	9
Şekil 6 : PV hücre modeli.....	10
Şekil 7 : PV modül eşdeğer devresi.....	10
Şekil 8 : Hücrelerin seri bağlantısı.....	11
Şekil 9 : Hücrelerin paralel bağlantısı.....	11
Şekil 10: Fotovoltaik modülün I-V karakteristik eğrisi.....	12
Şekil 11: Sabit sıcaklıktaki fotovoltaik modülünün V-I ve P-V karakteristik eğrisi üzerinde değişen ışınımın etkisi.....	14
Şekil 12 : Sabit ışınımdaki fotovoltaik modülünün I-V ve P-V karakteristik eğrisi üzerinde değişen sıcaklığın etkisi.....	15
Şekil 13 : PV dizinin MATLAB ile modellenmesi.....	16
Şekil 14 : PV dizisinin çıkış sonuçları.....	17
Şekil 15 : Düşürücü tip dönüştürücü.....	19
Şekil 16 : Lineerleştirilmiş güç katı, (a) anahtarın iletim durumu ve (b) anahtarın kesim durumu.....	20
Şekil 17 : Sürekli çalışma modu için dalga şekilleri.....	20
Şekil 18 : Düşürücü konvertörün simülasyon modeli.....	23
Şekil 19 : Düşürücü konvertör çıkış sinyali.....	24
Şekil 20 : IGBT yarı iletkenler tarafından oluşturulmuş üç fazlı evirici.....	25
Şekil 21 : DA/ DA dönüştürücü ve evirici üzerinden fotovoltaik sisteme bağlı üç fazlı yükün blok şeması.....	26
Şekil 22 : Gerilim modlu kontrolün blok diyagramı.....	27
Şekil 23 : Fotovoltaik dizi ve düşürücü konvertör bağlantısının modellenmesi.....	28

Şekil 24: Düşürücü konvertör çıkış gerilimi.....	29
Şekil 25: Düşürücü konvertör çıkış akımı .....	29
Şekil 26: Düşürücü konvertör çıkış gücü.....	30
Şekil 27 : PI kontrolör girişi.....	30
Şekil 28 : Eviricinin akım kontrolü .....	31
Şekil 29 : PLL'nin şematik diyagramı .....	32
Şekil 30 : abc/dq dönüşümünün blok diyagramı.....	33
Şekil 31 : Kontrollü PV sistemin simulink modeli.....	34
Şekil 32 : Eviricinin giriş geriliminin anlık değeri.....	35
Şekil 33: Eviricinin giriş akımının anlık değeri .....	35
Şekil 34: Eviricinin çıkış geriliminin anlık değeri .....	36
Şekil 35: Eviricinin çıkış akımının anlık değeri.....	36
Şekil 36: PI kontrol giriş değeri .....	37
Şekil 37: Yük akımı .....	37
Şekil 38 :Yük gerilimi .....	38
Şekil 39 : Doluluk oranı.....	38
Şekil 40 : Kontrolsüz PV sistemin simulink modeli .....	39
Şekil 41 : Eviricinin giriş gerilimi.....	40
Şekil 42 : Eviricinin giriş akımı .....	40
Şekil 43 : Eviricinin çıkış gerilimi .....	41
Şekil 44: Eviricinin çıkış akımı.....	41
Şekil 45 : PI kontrol giriş değeri .....	42
Şekil 46 : Yük akımı .....	42
Şekil 47 : Yük gerilimi.....	43

## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1 : International Energy Outlook 2010 referansına göre farklı yıllarda küresel enerji tüketimi .....	1
Tablo 2 : Shell SQ160PC PV modülünün karakteristik özellikleri .....	12
Tablo 3 : Kontrollü ve kontrolsüz sistemlerin karşılaştırılması .....	43

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$I_L$	: Bobin Akımı
$V_L$	: Bobin Gerilimi
$V_i$	: Giriş Gerilimi
$V_o$	: Çıkış Gerilimi
$E$	: Bobinin Enerjisi
$\Delta I_L$	: Dalgalanma Akımı
$\Delta V_o$	: Dalgalanma Gerilimi
$D$	: Doluluk Oranı (Duty Cycle)
$F$	: Frekans
$I_{sc}$	: Kısa Devre Akımı
$V_{oc}$	: Açık Devre Gerilimi
$I_{PV}$	: Fotovoltaik Çıkış Akımı
$V_{PV}$	: Fotovoltaik Çıkış Gerilimi
$I_{ref}$	: Referans Gerilim
$I_D$	: Diyot Akımı
$I_O$	: Diyot Ters Doyma Akımı
$V_D$	: Diyot Gerilimi
$K$	: Boltzmann sabiti ( $1.381 \cdot 10^{-23}$ J/K)
$R_s$	: Seri Hücre Direnci
$R_p$	: Paralel Hücre Direnci
$G$	: Işınım
$I_{ph}$	: Foton Akımı
$Q$	: Elektron Yüğü ( $1.602 \cdot 10^{-19}$ C)
$I$	: PV Hücresinin Çıkış Akımı
$R$	: Yük

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Dünya Enerji Talebi

Çevreye zarar vermemesi nedeniyle büyük önem taşıyan yenilenebilir kaynaklara olan enerji talebi günden güne artmaktadır. Bu enerji talebi artışındaki ana etken ekonomik büyümedir. International Energy Outlook 2010 referansına göre, dünya enerji tüketimi her yıl yüzde 1.4 artar. 1990 yılında enerji tüketimi miktarı 355 katrilyon Btu iken 2007 yılında 495 katrilyon Btu haline geldiği belirlendi. Tablo 1’de International Energy Outlook 2010 referansına göre farklı yıllardaki küresel enerji tüketimi gösterilmiştir. Bu referansa göre, 2035’de bu miktar 739 katrilyon Btu olacak.

Tablo 1 : International Energy Outlook 2010 referansına göre farklı yıllarda küresel enerji tüketimi

Yıl	Enerji tüketimi (Katrilyon Btu)	Yıl	Enerji tüketimi (Katrilyon Btu)
1990	355	2015	355
1995	375	2020	590
2000	406	2030	687
2007	495	2035	739

Enerji talebindeki artışa bağlı olarak, küresel fosil yakıt kullanımında yükselişler fark edilecektir. Günümüzde, küresel ısınma ve kirlilik, enerji elde etmek için fosil madde esaslı yakıtların ağırlıklı olarak kullanılmasının da etkisiyle, dünyadaki yaşamsal faaliyetleri tehdit edecek bir boyuta ulaşmıştır. Bu nedenle, bugün, günlük hayatta ve sanayide kullanılması zorunlu elektrik enerjisinin, çevreye en az zarar verecek biçimde üretimi, iletimi ve tüketiminin gerçekleştirilmesi konusu çözülmesi gereken en önemli sorunlardan biri haline gelmiştir. Yenilenebilir ve temiz enerji teknolojileri arasında belki de en fazla dikkat çekenlerden bir tanesi, sınırsız güneş enerjisini kullanarak elektrik enerjisi üretilmesini sağlayan fotovoltaik teknolojisidir.

Bugün kullanımı dünyada en hızlı artan endüstri fotovoltaik (PV) endüstrisidir ve söz konusu endüstriyi kullanan ülkelerin, başta Almanya olmak üzere, güneş ışınım potansiyelleri Türkiye ile kıyaslanamayacak kadar düşüktür. PV sistemlerin ağırlıkta kullanıldığı güneş enerjisi

uygulamaları ile ilgili Avrupa Birliği Parlamentosu tarafından yayınlanan ‘Güneş enerjisiyle üretim’ raporunda, 2020 yılında güneşenerjisiyle üretilen elektriğin dünyada;

- 1 milyar insana ulaşacağı,
- 2.2 insana bu alanda iş açılacağı,
- CO2 gazı emisyonunun yılda 169 milyon-ton azalacağı bildirilmektedir.

Bugün PV sistemleri yaygın olarak trafik uyarı ışıkları, telekomünikasyon, güvenlik sistemleri ve bunun gibi birçok uygulama için kullanılır. PV sistemi, taşınabilirlik, düşük işletme maliyetleri, çevresel faydalar, modülerlik, güvenlik ve güvenilirlik gibi birçok faydası vardır. Ancak, diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında, fotovoltaik üretilen elektrik hala daha pahalıdır. Bu durumda, PV sistemlerinin güvenilirliğini artırmak ve enerji kayıplarını azaltmak son derece önemlidir.

Bu çalışmada PV sistemlerin verimliliğini artırmak amaçlanmıştır. Sistem iki şekilde ele alınmıştır ve çalışmalar MATLAB/Simulink kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

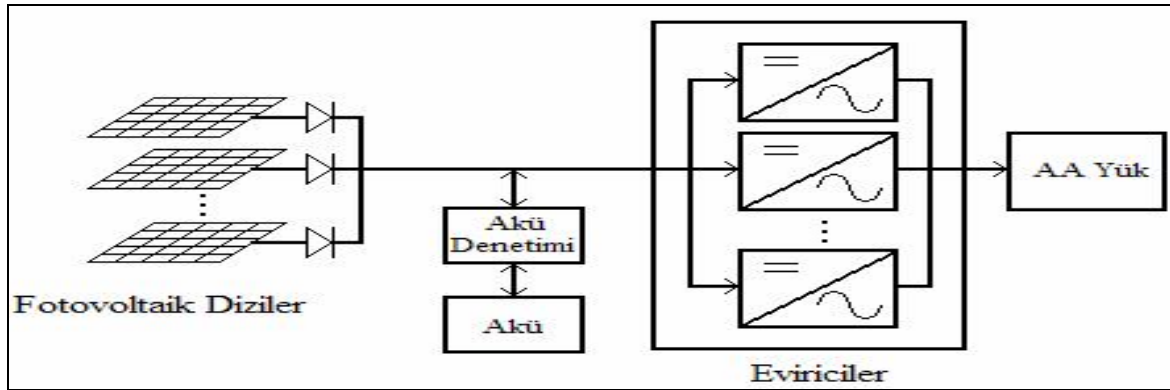
## 2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

### 2.1. Fotovoltaik Sistem Çeşitleri

Fotovoltaik güç sistemleri, genellikle fonksiyonlarına, yaptığı işlere, konfigürasyonlarındaki parçalarına ve donanımlarının diğer güç kaynaklarına ve elektrik yüklerine nasıl bağlandığına göre sınıflandırılırlar. Bunlar: şebekeden bağımsız (stand alone), Şebeke bağlantılı (utility interactive-grid connection, ) ve karma sistemlerdir. Fotovoltaik sistemler, DA veya AA güç üretmek, şebekeye bağlı ya da bağlı olmadan elektrik üretmek, diğer enerji kaynaklarıyla veya depolama sistemleriyle bağlantı kurmak amacıyla tasarlanır.

#### 2.1.1. Şebekeden bağımsız sistemler (Stand-alone)

Şebekeden bağımsız sistemler, ihtiyaç duyulan elektrik enerjisini sağlamak amacıyla kurulan küçük güç sistemleridir. Şebekenin ulaşmadığı kırsal bölgelerde, ulaşmasının ekonomik olmadığı yerleşim birimlerinde, enerji sıkıntılarının had safhaya ulaştığı dönemlerde fotovoltaik diyotların kullanımı reel bir çözümdür. Şekil 1’de Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem yapısı görülmektedir.



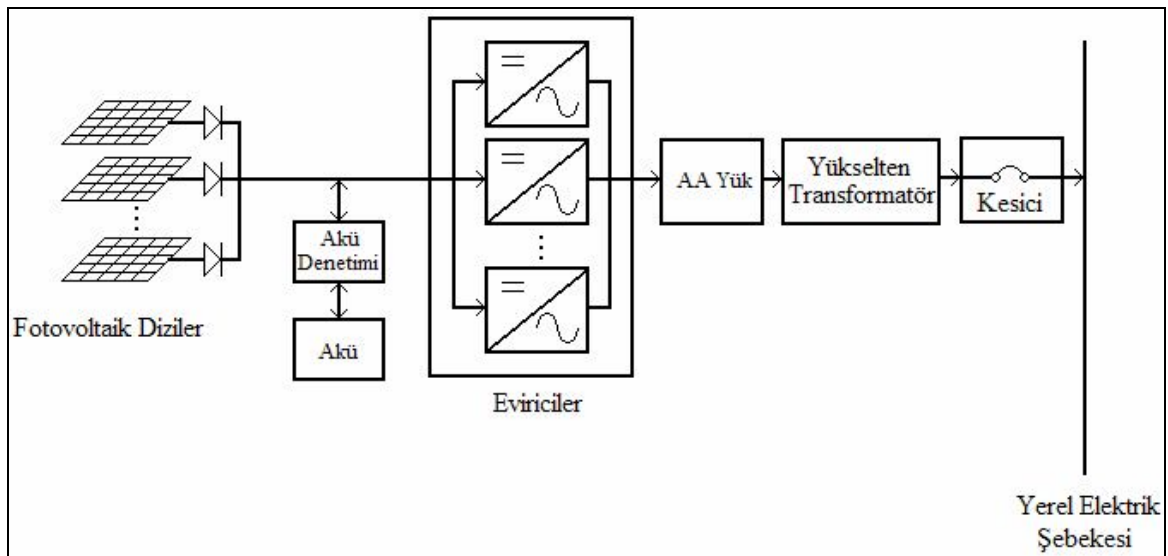
Şekil 1: Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem

Bu tür sistemlerde yeterli sayıda fotovoltaik modül, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akü bulundurulur. Fotovoltaik modüller gün boyunca elektrik enerjisi üretir, bunu aküler depolar, yüke gerekli olan enerji akülerden alınır. Akülü sistemlerde akü ile modül arasındaki akü sistemi güneş ışınım şiddetindeki değişimleri direkt olarak sisteme yansıtmadan sabite yakın bir gerilim ile sistemi çalıştırır (Al-Sahaban ve Mohmoud, 2000), ancak sisteme ulaştırılan akım ve gerilim değerleri maksimum güce karşılık gelen akım ve

gerilim değerlerinin altında seyrederek. Söz konusu bu iki kombinasyona alternatif olarak ortaya çıkan maksimum güç noktası izleyicili (MPPT) sistemlerin, PV modüllerin her zaman maksimum güç üretecek noktada çalışmasını temin etmesinden dolayı çalışma performansları daha yüksektir (Zaki ve Eskandar, 1996). Şebeke uyumlu alternatif akımın gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir evirici eklenerek akümülatördeki DA gerilim, 220 V, 50 Hz'lik sinüs dalgasına dönüştürülür.

### 2.1.2. Şebekeye bağlantılı sistemler

Bu tip sistemler, elektrik şebekesine bağlı olacak şekilde tasarlanır. Güçleri 10kW ile onlarca MW arasında değişen PV sistemler olup, çoğunlukla yerel enerji gereksinimlerine destek olmak üzere kurulmuşlardır. Enerji ihtiyacının fazla olduğu saatlerde devreye sokularak enerji sistemi rahatlatılmakta ve aynı zamanda enerji üretilen yerden fazla uzaklarda kullanılmadığı için kayıpların asgari seviyede kalması sağlanmış olmaktadır. Bu sistemlerde örneğin bir konutun elektrik gereksinimi karşılanırken, üretilen fazla elektrik şebekeye satılır, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Bu sistemlerin en önemli parçası eviricidir (PCU- power conditioning unit). Basit bir şebeke bağlantılı sistem (UI) PV modülünün çıkışına PCU olarak bilinen eviricinin bağlanmasıyla elde edilir. Güneşten gelen ışınlar PV modüllerine gelir, modülleri oluşturan PV diyotlar sayesinde bu ışınlar, DC elektriğe dönüştürülür. Üretilen DA elektriğin AA elektriğe dönüştürülmesi ve şebekeye uyumlu olması gerekmektedir. Bunun için, DA/AA eviriciler kullanılır. Şekil 2'de bir Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemin blok şeması görülmektedir.



Şekil 2 : Tipik bir şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemin blok şeması

Şebekeye bağlantılı sistemlerde, enerjinin depolanmaya ihtiyacı olmadığı için şebekeden bağımsız sistemlere göre maliyetleri daha düşüktür. Avrupa Birliği'nin 2010 yılına kadar bir milyon küçük fotovoltaik sistem kurmayı hedeflediği açıklanmıştır. Benzer şekilde Clinton 2010 yılına kadar binaların çatılarına bir milyon PV panel yerleştirmeyi hedeflemiştir. Aynı hedeften yola çıkarak Kaliforniya valisi 2017 yılına kadar bir milyon PV sistem kurulmasını hedeflemiştir (Solar news, 2004) Hollanda, PV sistemlerini çatıda kur-işlet-sahip ol programını başlatmıştır.

## **2.2. Fotovoltaik Sistemin Tarihsel Gelişimi**

Fotovoltaik etki 1839 yılında Fransız fizikçi Edmond Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Buna göre bir eriyikte bulunan iki platin elektrotuna güneş ışığı düştüğünde, bir elektrik akımı meydana gelir. Ancak bu önemli buluşun etkisi, o yıllarda teknolojinin temelini iyi anlayamaması ve geliştirilip uygulama alanı yaratılamaması nedeniyle çok küçük olmuştur. 1904 yılında ise Albert Einstein, fotoelektrik etki ve ışığın kuantum doğası hakkındaki ünlü çalışması ile bu teknolojiye ışık tutmuştur. Bu çalışması Einstein'a 1921 de Nobel Ödülü kazandırmıştır. 1946 yılında ise Russell Ohl modern jonksiyon yarıiletken solar hücrelerin patentini almıştır. Uygulamalarda kullanılabilen bir fotovoltaik hücrenin yapımı ise ancak yarıiletken teknolojisi geliştikten sonra mümkün olmuştur. Özellikle yüksek derecede saf silisyumun geliştirilmesi, önemli bir adım olmuştur. Silisyum günümüzde de fotovoltaik hücre üretiminde kullanılan en önemli malzemedir. İlk silisyumlu fotovoltaik hücre ABD'deki Bell Laboratuvarlarında, Chapin, Fuller ve Pearson adlı bilim adamları tarafından 1954 yılında geliştirilmiştir. Bu hücre o yıllarda % 6 oranında bir verime sahiptir ve kısa süre içinde bu verim % 10 'a kadar yükseltilmiştir.

Fotovoltaik teknolojinin ilk yıllardaki en önemli uygulama alanı uzay çalışmaları olmuştur. İlk önemli kullanımı, Vanguard adlı uyduda 108 tane fotovoltaik hücre ile 1958 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu hücreler beklentilerin üzerinde performans göstererek uyduya beklenenden çok daha uzun süreyle elektrik sağlamıştır. Böylelikle, kısıtlı ama yüksek kaliteli bir fotovoltaik hücre piyasası gelişmeye başlamıştır. Yüksek maliyeti nedeniyle, fotovoltaik teknolojinin uzay teknolojisi dışındaki alanlarda kullanılması ise uzun süre mümkün görülüyordu. Yine de bu hücrelerin sağladığı avantajlar hem bilim adamlarını, hem de toplumun hayal gücünü tetiklemeye devam ediyordu. Bu nedenle konuyla ilgili araştırmalar hiçbir zaman tamamıyla durmadı.

Fotovoltaik hücreler zamanla şebekeden bağımsız elektrik tedarik sistemlerinde uygulanmaya başlandı. Uygulamalar hesap makineleri ve saatlerle başlayıp zamanla daha büyük cihaz ve tesislere yayıldı.

Günümüzde de bu sektöre gösterilen ilginin ve dolayısıyla üretimlerin artmasıyla birim maliyetler uygun seviyelere inmekte böylelikle yüzlerce MW lık güneş enerjisi santralleri kurulabilmektedir. Özellikle ABD, Almanya ve İspanya güneş enerjisine oldukça önem vermekte ve ciddi yatırımlar yapmaktadırlar. Ülkemizde de, potansiyelin çok yüksek olması sayesinde, gelecekte önemli bir sektör oluşacağı düşünülmektedir.

### **2.3. Fotovoltaik Sistemin Avantajları ve Dezavantajları**

#### **2.3.1. Avantajları**

- Her şeyden önce güneş, bol ve tükenmeyen enerji kaynağı (en azından milyonlarca yıl)
- Temiz bir enerji türüdür; çevreyi kirletici, duman, gaz, karbon monoksit, kükürt ve radyasyon gibi külfetleri yoktur.
- Dışa bağlı olmadığından ekonomik bunalımdan bağımsızdır.
- Birçok uygulaması için karmaşık teknolojiye gerek duyulmamaktadır.
- Yerel uygulamalar için elverişlidir. Ulaşım problemi yoktur, güneşin her yerde olduğu düşünülünce enerji gereksinimi olan bölgeye kurulabilir.
- PV kurulumdan sonra herhangi bir sorun vermeden uzun yıllar çalışabilir.
- Kurulan sistemlerin bakım maliyetleri yoktur veya çok azdır.
- Boş alan olarak duran çatıların işlev kazanarak enerji üretmesi sağlanabilir.

#### **2.3.2. Dezavantajları**

- Aşırı ısınma PV panellerin üretim gücünü azaltır. Bazı araştırmalara göre 10 ° C'lik her artış % 1 oranında verimi azalttığı belirlenmiştir. Ancak aşırı ısınma, eğimin doğru seçilmesi ve arka yüzeyin havalandırılması ile azaltılabilir.
- Yüzeyin kirliliği elde edilen enerji miktarını etkiler. Bazı araştırmalar yüzeyin kirliliğinin, verimi % 3,5 azalttığını göstermektedir. Bu nedenle, PV yüzeyin zaman zaman temizlenmesi gerekir.

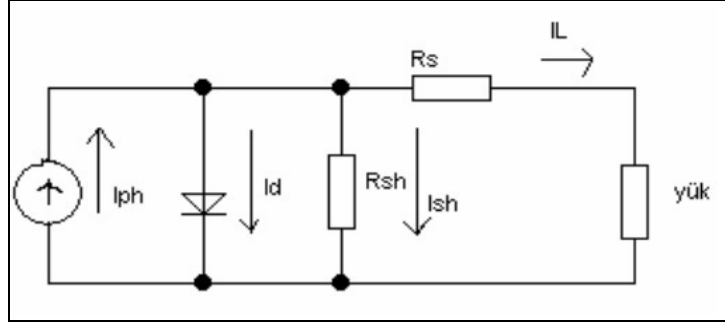
- İlk kurulum maliyeti yüksektir. Bu nedenle pek ekonomik bir sistem olarak görülmez.
- Güneş ışınımı sürekli olmadığından depolanması gerekmektedir, akü veya yeni gelişmekte olan hidrojen şeklinde depolanabilmektedir.
- Enerji ihtiyacının çok olduğu kış aylarında güneş ışınımı az ve ayrıca ışınım geceleri hiç yoktur.
- Güneş ışınımından faydalanan sistemin güneş ışınını sürekli alabilmesi için çevrenin açık olması gerekir.
- Güneş ışınımının daha verimli çalışması için sisteme dik gelmesi gerekmektedir, bunun için de güneşi takip eden sistemler de kullanılmaktadır.
- Su ısıtma sistemlerinde %60'a yakın verim sağlanırken güneş pillerinde bu oran %15 civarındır fakat yeni melez sistemler ile (hidrojen üretimi) elektrik üretimi için bu oran %55 değerlerine gelebilir.

### 3. FOTOVOLTAİK DİZİ ANALİZİ VE MODELLENMESİ

#### 3.1. Fotovoltaik Hücre Modellemesi

Bir PV hücresinin karakteristik modelini elde etmek için eşdeğer devresi kullanılabilir. Eşdeğer devre simülasyonları için MATLAB programı kullanılmaktadır. Bir PV modülü modellemek için de, aynı modelleme tekniği geçerlidir.

Bir PV hücresinin basit elektriksel eşdeğer modeli aşağıda Şekil 3'deki gibidir.



Şekil 3: PV hücresinin basit elektriksel eşdeğer modeli

Devredeki ideal akım kaynağı maruz kaldığı güneş akısı ile doğru orantılı olarak akım verir. Genellikle PV hücreyi karakterize etmek için iki temel parametre kullanılır ve bunlar;

- Kısa devre akımı
- Açık devre gerilimi

Şekil 4a'da ve Şekil 4b'de bu durumlardaki iletim gösterilmiştir.

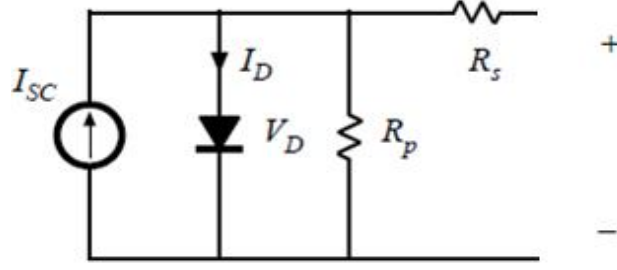


Şekil 4a: Kısa devredeki iletimini gösteren diyagram b: Açık devre iletimini gösteren diyagram

Yukarıdaki eşdeğer devre modeli kullanılarak aşağıdaki matematiksel model elde edilebilir.

$$I = I_{sc} - I_D \quad (1)$$

$I_{sc}$  kısa devre akımı ve  $I_D$  diyot akımıdır. Fotovoltaik hücre eşdeğer devresi Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5: Fotovoltaik hücre eşdeğer devresi

$I_D$  diyot akımı Shockley diyot denklemleriyle verilir:

$$I_D = I_o \left[ e^{\frac{V_D * Q}{k * T}} - 1 \right] \quad (2)$$

Burada,  $T$ ,  $I_o$ ,  $Q$ ,  $V_D$  ve  $k$  sırasıyla birleşme sıcaklığı (Kelvin K), ters diyot doyma akımı, elektron yükü ( $1.602 * 10^{-19}$  C), diyot üzerindeki gerilim ve Boltzmann sabitidir ( $1.381 * 10^{-23}$  J/K).  $R_s$  ve  $R_p$  ise sırasıyla seri hücre direnci ve paralel hücre direncidir.

2. eşitlikteki  $I_D$ 'nin 1. denklemden yerine yazılması, PV hücresinin akım-gerilim ilişkisini verir.

$$I = I_{sc} - I_o (e^{qV/kT} - 1) \quad (3)$$

$V$ , fotovoltaik hücre üzerindeki gerilim,  $I$  ise PV hücresinin çıkış akımıdır.

Diyodun ters doyma akımı ( $I_o$ ) sabit sıcaklıkta değişmez ve açık devre modeli kullanarak bulunur.

$I = 0$  olarak alınırsa,

3. eşitlikteki denklem kullanılarak,

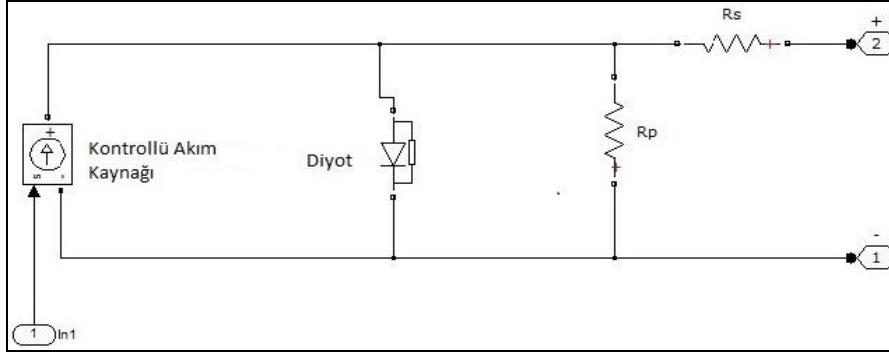
$$I_{sc} = I_o (e^{qV/kT} - 1) \quad (4)$$

$$I_o = \left( \frac{I_{sc}}{e^{qV/kT} - 1} \right) \quad (5)$$

### 3.1.1. Klasik PV hücresinin MATLAB ile modellenmesi

Fotovoltaik hücre klasik modeli, negatif kutup tarafı katot, pozitif kutup tarafı anot olan bir diyot içerir. Işığın oluşturduğu akım bir akım kaynağı ile temsil edilir. Bu kaynak tarafından üretilen akımın değeri ışınlama seviyesinin şiddetiyle ilişkilidir. Klasik fotovoltaik

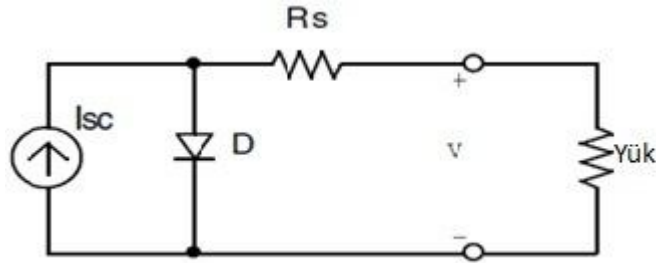
hücre modeli, Şekil 6 'da gösterilmiştir. Hücre modeli aynı zamanda kuvvetli I-V eğrileri ve panelin (ya da tek hücre) verimliliğini etkileyen seri ve paralel dirençler içerir.



Şekil 6 : PV hücre modeli

### 3.2. Fotovoltaik Modül Modellenmesi

Tek bir PV hücresi, 1V'dan daha az, örneğin kristal silikon (Si) hücreleri için yaklaşık 0.6V civarı bir çıkış gerilimi üretir. Bu nedenle istenen çıkış gerilimini elde etmek için PV hücre dizileri birbirine bağlanır. Bu hücreler bir çerçeve içine yerleştirilir ve modül olarak adlandırılır. Kristal-Si hücreleri ile ticari olarak temin edilebilir PV modüllerinin çoğu ya 36 ya da 72 dizi halinde bağlanmış hücrelerdir. 36'lık hücre modülü, 12V'luk bir pili şarj etmek için uygun olan gerilimi üretir ve 72'lik hücre modülü bir 24 V'luk bir akü için uygundur. PV hücreleri seri olarak bağlandığında çıkış akımı tek bir hücre ile aynıdır ancak çıkış gerilimi her bir hücre geriliminin toplamıdır. Bir PV modülün modellenmesi, PV hücrenin modellenmesine benzer. Parametreler aynıdır, yalnızca bir gerilim parametresi açık devre gerilimi farklıdır ve bağlı hücre sayısına bölünmesi gerekir. Şekil 7'de PV modül eşdeğer devresi gösterilmiştir.



Şekil 7 : PV modül eşdeğer devresi

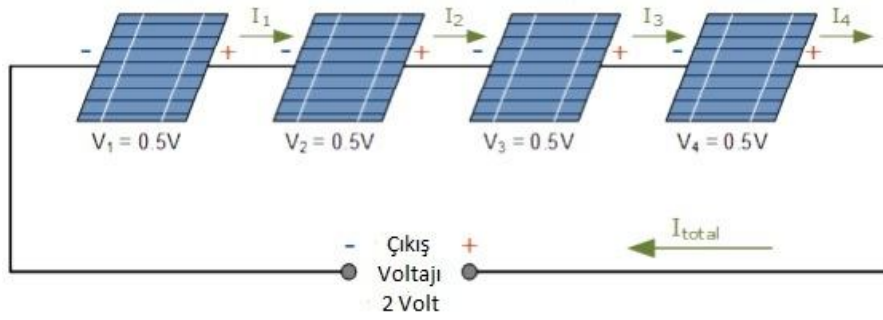
$$I = I_{sc} - I_o \left[ e^{q^* \left( \frac{V + IR_s}{nkT} \right)} - 1 \right] \quad (6)$$

Burada  $n$  idealite faktörü olarak bilinir ve bu değer 1 ve 2 arasındadır.

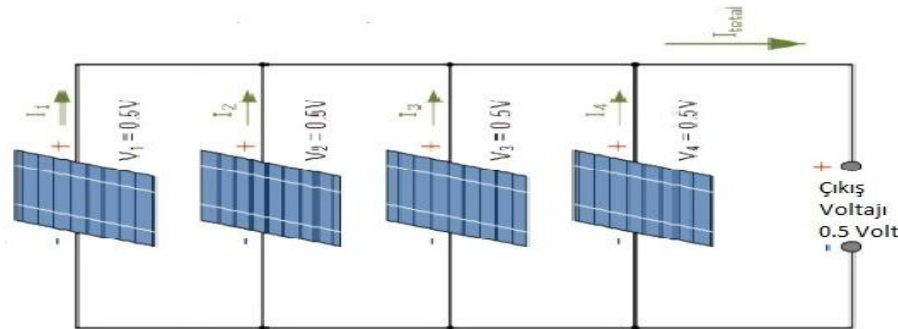
$V$  hücre gerilimidir. Modül geriliminin seri hücre sayısına bölünmesiyle  $V$  bulunabilir.

Burada,  $I$ ,  $I_{sc}$ ,  $T$ ,  $I_0$ ,  $Q$ , ve  $k$  sırasıyla PV hücresinin çıkış akımı, kısa devre akımı, birleşme sıcaklığı (Kelvin K), ters diyot doyma akımı, elektron yükü ( $1.602 \cdot 10^{-19}$  C) ve Boltzmann sabitidir ( $1.381 \cdot 10^{-23}$  J/K).

Güneş hücreleri, güneş pilleri gibi düşünülebilir. Bu hücreler seri halde bağlandığında akım aynı kalır ve gerilim artar. Diğer yandan bu hücreler paralel olarak bağlandığında, gerilim aynı kalır, ancak akım artar. Şekil 8 ve Şekil 9'da hücrelerin seri ve paralel bağlantı durumları gösterilmiştir.



Şekil 8 : Hücrelerin seri bağlantısı



Şekil 9 : Hücrelerin paralel bağlantısı

### 3.2.1. PV modülün MATLAB ile modellenmesi

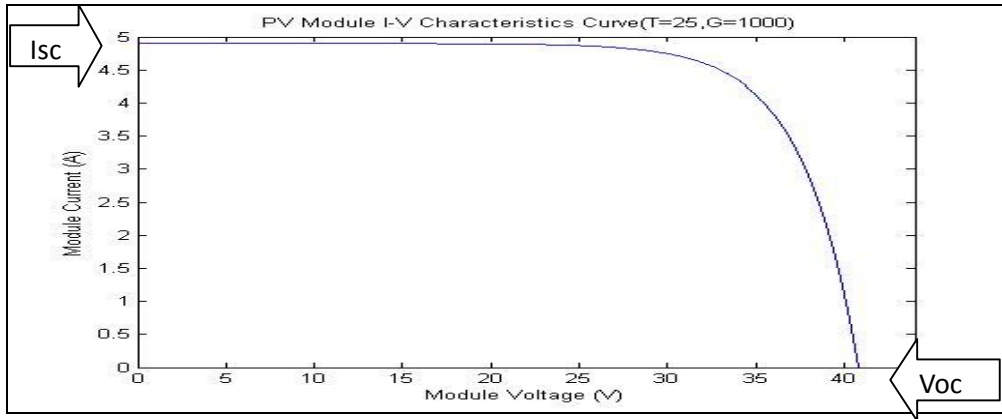
MATLAB simülasyonu için Shell SQ160PC modül seçildi. Modül, seri olarak bağlanmış 72 multi-kristal silikon hücreden yapılmıştır ve maksimum nominal gücü 160 W. Bu PV modülün karakteristik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2 : Shell SQ160PC PV modülünün karakteristik özellikleri

Shell SQ160PC PV modülünün karakteristik özellikleri	
Maksimum Güç (Pmax)	160W
Pmax Gerilimi (Vmp)	35V
Pmax Akımı (Imp)	4.58V
Açık Devre Gerilimi (Voc)	43.5V
Kısa Devre Akımı (Isc)	4.9 A
Hücre Sıcaklığı, TC (Kelvin) (K)	298
İdealite faktörü, A (m2)	0.4
Boltzman sabiti, K (Nm/K)	1.3805e-23
Elektron Yüğü, q (Coulomb)	1.6e-19
Akımın sıcaklık katsayısı, $\alpha$ (/C)	0.006
Gerilimin sıcaklık katsayısı, $\beta$ (/C)	0.004

### 3.2.1.1. Fotovoltaik modülün standart V-I karakteristik eğrisi

Bir fotovoltaik modül devresindeki direnç yok olduğunda maksimum akım üretir. Pozitif ve negatif uçları arasında bir kısa devre olur. Bu maksimum akım kısa devre akımı olarak bilinir ve  $I_{sc}$  olarak kısaltılır. Modül kısa devre yaptığında devre gerilimi sıfırdır. Modülün I-V karakteristik eğrisi aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.



Şekil 10: Fotovoltaik modülün I-V karakteristik eğrisi

Bunun tersine, devrede bir kesme olduğunda maksimum gerilim üretilir. Bu  $V_{oc}$  olarak kısaltılmış, açık devre gerilimidir. Bu koşul altında devre tamamlanmamış olduğundan akım yoktur ve direnç sonsuz büyüklüktedir. Akım, dikey Y-ekseni üzerinde amper olarak ifade

edilmiştir. Gerilim ise şekilde gösterildiği gibi yatay X ekseninde volt olarak ifade edilmiştir.

Yukarıda Şekil 10'da görüldüğü gibi, gerilimin sıfır olduğu yerde eğri üzerinde bir noktada kısa devre akımı oluşur. Akımın sıfır olduğu yerde açık devre gerilimi oluşur. Eğri boyunca herhangi bir noktada fotovoltaik modülden elde edilen güç watt olarak ifade edilir. Geriliminin sıfır olduğu, kısa devre akımı noktasında güç çıkışı sıfırdır. Açık devre gerilimi noktasında da güç çıkışı sıfır olur, fakat bu kez akım sıfırdır. Bu nedenle maksimum güç 160 watt.

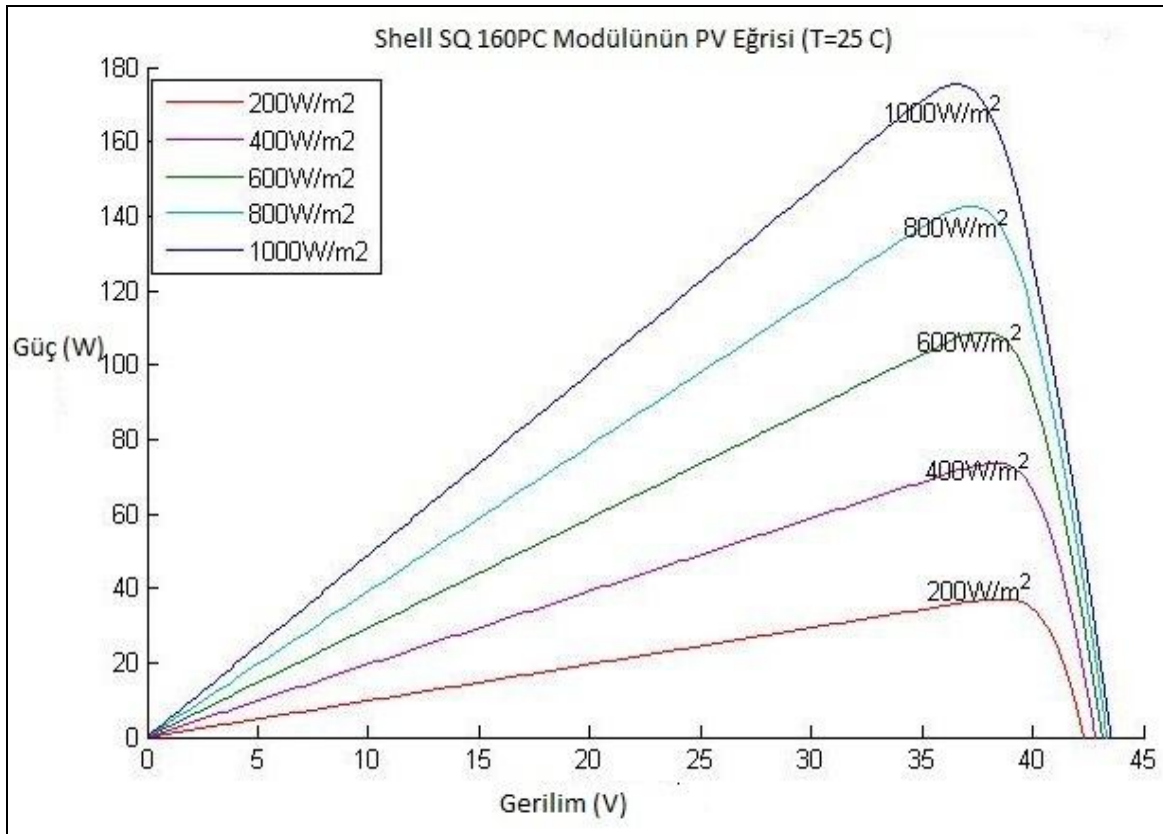
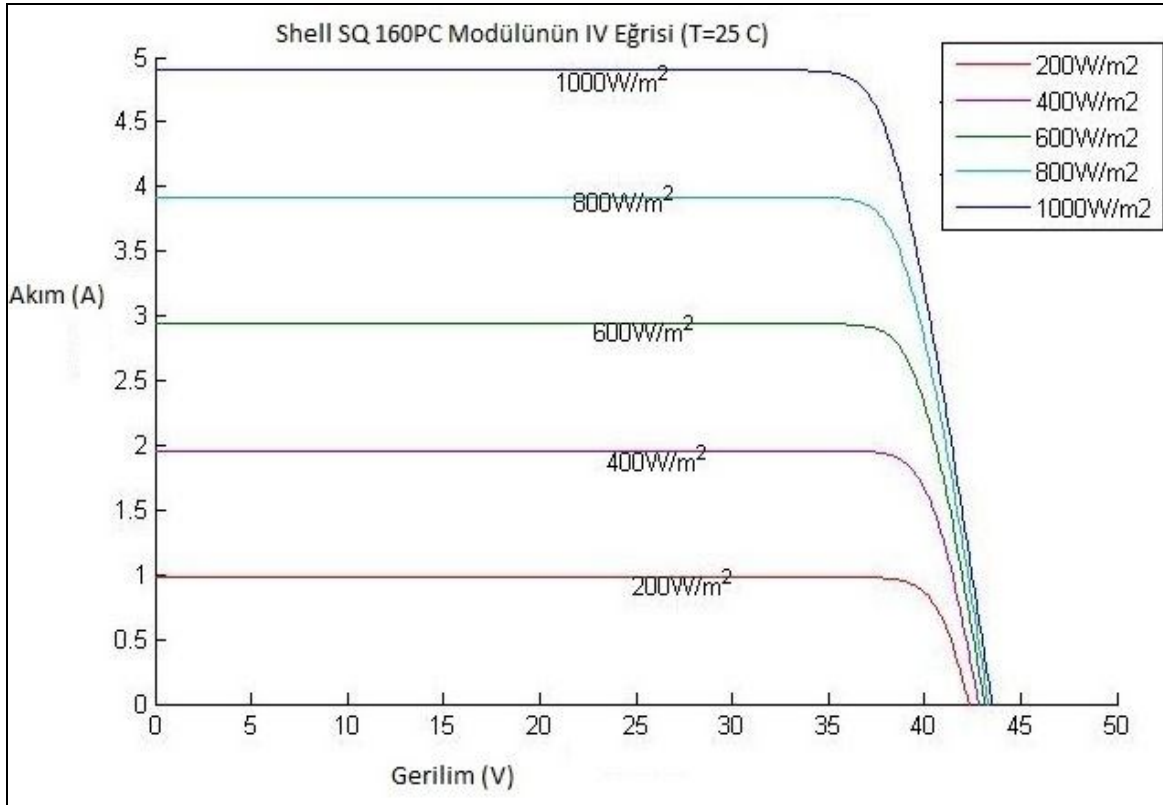
Akım-gerilim eğrisi, ışınımın ( $1000\text{w}/\text{m}^2$ ) ve sıcaklığın ( $25^\circ\text{C}$ ) standart koşulları altında olan modüle dayanır. Bu modül üzerinde hiçbir gölgeleme olmadığını varsayar.

Güneş pillerinin performansını iki ana faktör etkileyebilir. Bunlar;

- i. Sıcaklık
- ii. Işınım

### **3.2.1.2. Fotovoltaik modülün V-I ve P-V karakteristik eğrisi üzerine ışınımın etkisi**

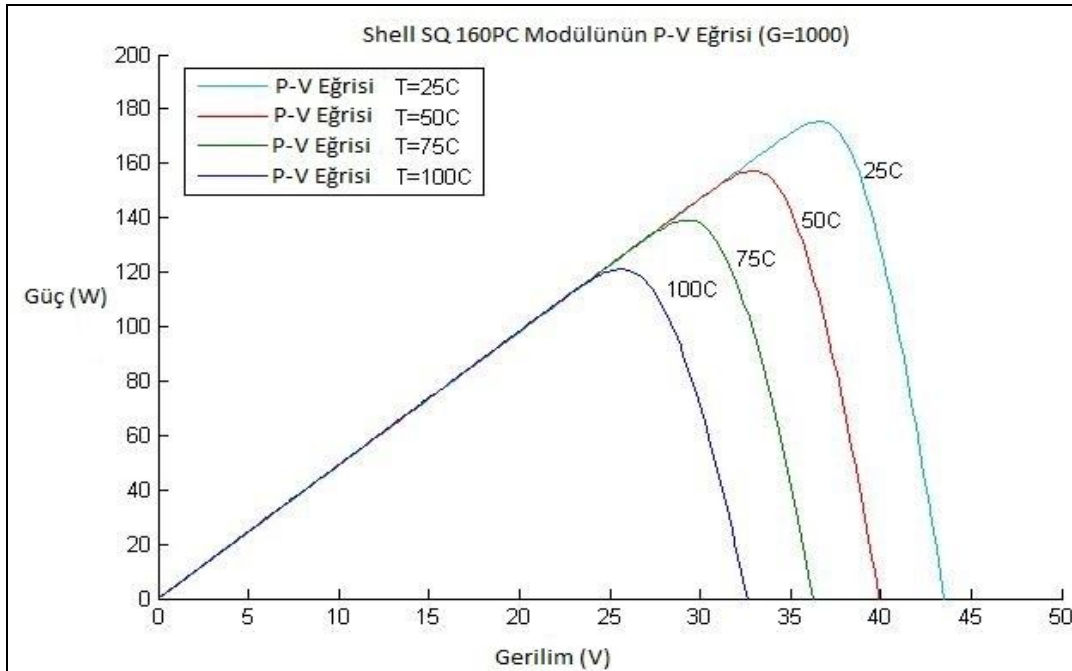
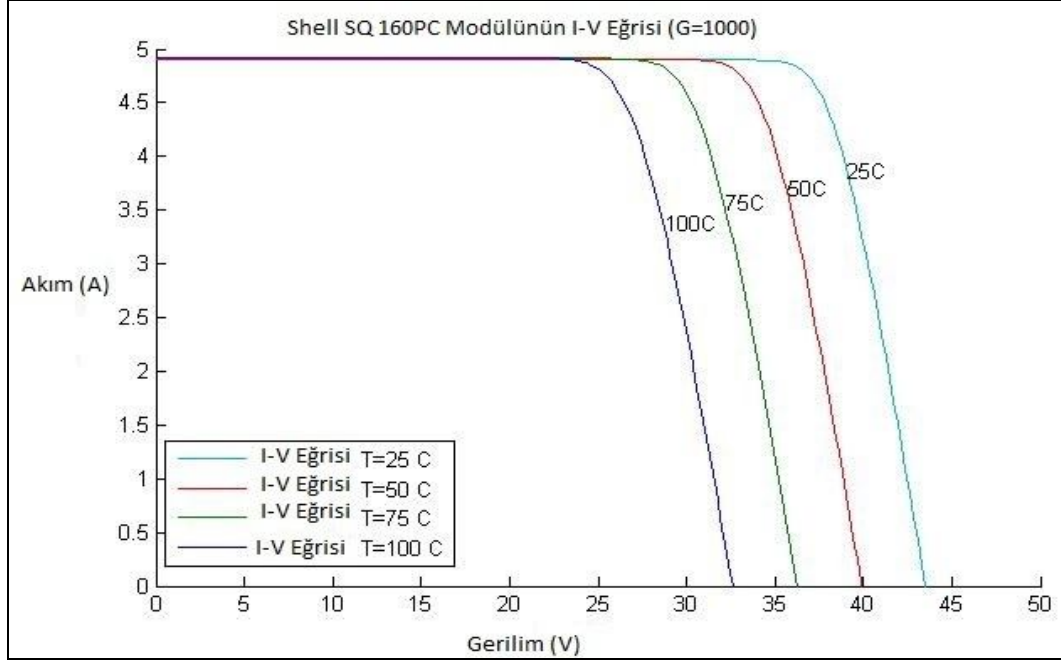
Açık bir günde standart güneş ışığı koşullarında, metrekaresindeki güneş enerjisinin 1000 watt olduğu varsayılır ( $1000\text{ V}/\text{m}^2$ ). Daha az güneş, orantılı bir miktarda modülün çıkış akımını azaltacaktır. Şekil 11'de ışınımın  $200\text{w}/\text{m}^2$  olduğu yerde modülün çıkış akımı yaklaşık 1amper iken, ışınımın  $1000\text{w}/\text{m}^2$  olduğu yerde 4.90 ampere yükseldiği görülmektedir.  $25^\circ\text{C}$ 'de değişken ışınım için gerilim değişikliklerine bakarsak, bu farkın çok küçük olduğunu görebiliriz.



Şekil 11: Sabit sıcaklıktaki fotovoltaik modülünün V-I ve P-V karakteristik eğrisi üzerinde değişen ışınımın etkisi

### 3.2.1.3. Fotovoltaik modülün V-I ve P-V karakteristik eğrisi üzerine sıcaklığın etkisi

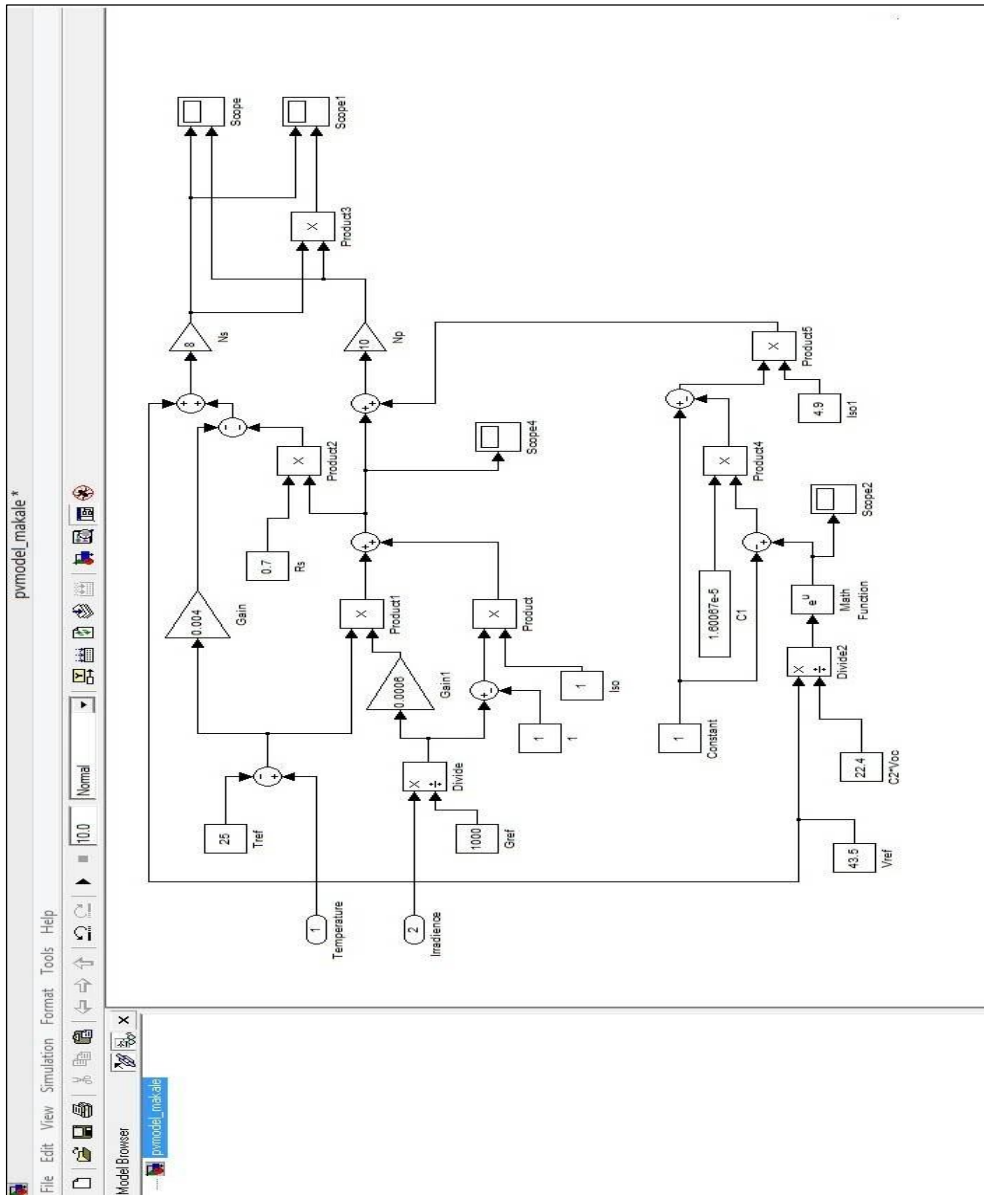
Sıcaklık çıkış gerilimini tersine etkiler. Modül sıcaklığının daha yüksek değeri, gerilimi her bir santigrat derecelik artış için 0.04 ile 0.2 volt azaltacaktır. Şekil 12’de sabit ışınımında ( $G=1000\text{w/m}^2$ ), farklı sıcaklıklardaki ( $T= 0^\circ, 25^\circ, 50^\circ, 75^\circ\text{C}$ ) modülün I-V eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 12 : Sabit ışınımındaki fotovoltaik modülünün I-V ve P-V karakteristik eğrisi üzerinde değişen sıcaklığın etkisi

### 3.3. PV Dizinin MATLAB ile Modellenmesi

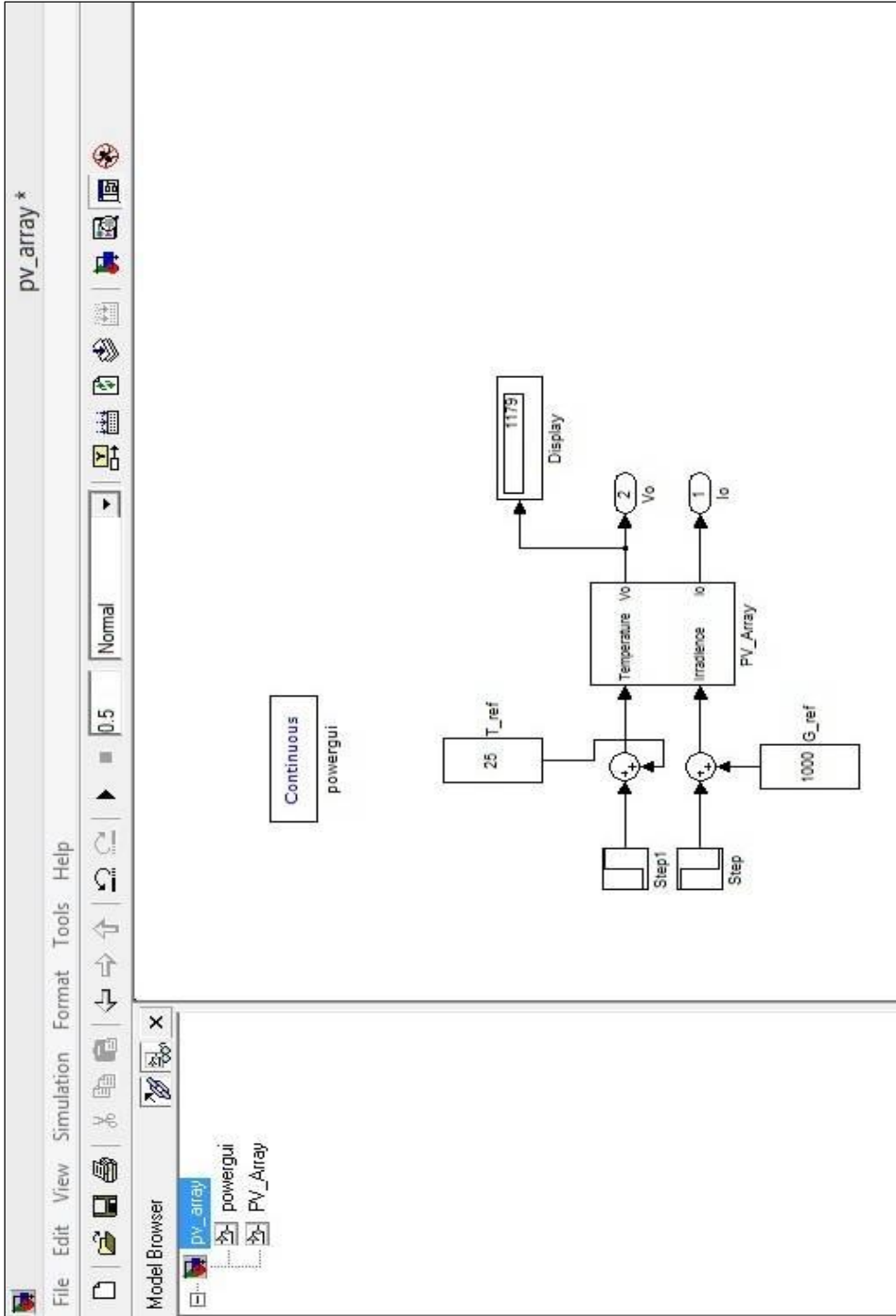
PV dizinin simulink modeli Şekil 13'de gösterilmiştir. Yüksek güçler elde edebilmek için birçok PV hücre seri ve paralel olarak bağlanır ve büyük bir alana sahip bir modül elde edilir. Bir PV güneş paneli ise ihtiyac olan akım ve gerilimi üretecek şekilde modüllerin seri-paralel kombinasyonlarını içerir. Özetle, hücreler modülü, modüller paneli, panellerin bir araya gelmesi ile de diziler oluşur. Hücrelerin seri bağlanmasıyla modül gerilimi artırılır. Modüllerin paralel bağlanmasıyla, modülün sağlayacağı akımın miktarı ayarlanır. Seri-paralel modül bağlantıları ile arzu edilen güç seviyesi elde edilmiş olur. Bir güneş hücresinin çıkış gerilimi, çalışması sırasında güneş ışınımı seviyesine bağlı foton akımının bir fonksiyonudur.



Şekil 13 : PV dizinin MATLAB ile modellenmesi

### 3.3.1. PV dizisinin çıkış gerilimi

Şekil 13'de yapmış olduğumuz PV dizisinin çıkış gerilimi aşağıda Şekil 14'de gösterilmiştir.



Şekil 14 : PV dizisinin çıkış sonuçları

Fotovoltaik dizinin çıkış gerilimi 1179 Volt, çıkış akımı 46.52 Amper, çıkış gücü ise 54847.08 Watt olarak ölçülmüştür.

## 4. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN DA/DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ TOPOLOJİLERİ

DA/DA dönüştürücü girişindeki düzensiz DA gerilimi alarak, çıkıştan sabit veya düzenlenmiş gerilim verir. Düzenleyiciler esas olarak doğrusal ve anahtarlama regülatörler diye sınıflandırılabilir. Bir DA/DA dönüştürücü, bir DA giriş gerilimini kabul ederek, bir DA çıkış gerilimi üreten cihazdır. Tipik olarak, çıkışta, girişten daha farklı gerilim seviyesi üretilir.

Bu popüler DA/DA dönüştürücü topolojilerinin bir özeti:dir:

### 4.1. DA/DA Dönüştürücü Uygulamaları

1. DA dönüştürücüler DA motorların rejeneratif frenleme sistemlerinde kullanılabilir. Bu ise sık duraklı ulaşım sistemlerinde enerji tasarrufu sağlar. Örneğin;

- a) Elektrikli otomobillerde çekiş motor kontrolü
- b) Tramvay
- c) Deniz Kaldırıcıları
- d) Forkliftler
- e) Maden kırma makinaları

2. Ayrıca, DC gerilim regülatörleri olarak kullanılan ve aynı zamanda, özellikle akım kaynağı evirici için bir DC akım kaynağı oluşturmak için bir indüktör ile bağlantılı olarak kullanılır.

### 4.2. DA/DA Dönüştürücü Çeşitleri

DA/DA konvertörlerin farklı çeşitleri vardır. Bu dönüştürücü isimleri bu bölümde yer almaktadır.

1. Düşürücü Tip (Buck) Konvertör
2. Yükseltici Tip (Boost) Konvertör
3. Düşürücü-Yükseltici (Buck-Boost) Konvertör
4. CUK Konvertör
5. Fly-back Konvertör
6. Forward Konvertör

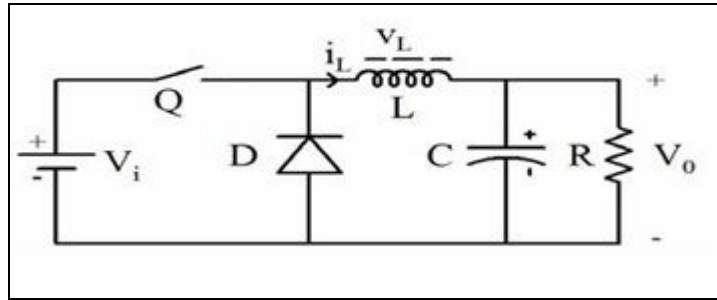
7. Push-pull Konvertör
8. Tam Köprü Konvertör
9. Yarım Köprü Konvertör
10. Current Fed Konvertör

### 4.3. DA/DA Konvertörlerin Çalışması

Burada birçok DA/DA dönüştürücü çeşitleri mevcuttur. Fakat konvertör listesinden yalnızca izolesiz giriş çıkış terminallerini temel alan ilk konvertör yani düşürücü (buck) konvertör tanımlanacaktır.

#### 4.3.1. Düşürücü (Buck) konvertör

Şekil 15’de düşürücü tip dönüştürücü yapısının basitleştirilmiş bir şeması görülmektedir. L bobini ve C kapasitesi çıkış gerilimini filtrelemek için kullanılmaktadır. Devrede çıkış yükü R direnci ile gösterilmektedir. D diyotu genellikle serbest geçiş diyotu diye isimlendirilir.



Şekil 15 : Düşürücü tip dönüştürücü

Dönüştürücünün güç katı bobinin akımı için sürekli ya da süreksiz akım modunda çalışır. Kararlı hal için, sürekli akım modunda bobin içerisinde kesintisiz olarak akım geçişi olur. Süreksiz çalışma modunda bir periyotta bobin akımı sıfırdan başlar tepe değerine yükselir ve anahtarlama periyodu bitmeden tekrar sıfıra düşer. Pratikte dönüştürücü her iki çalışma modunda çalıştırılabilmektedir. Bu nedenle dönüştürücü tasarımında her iki çalışma modunda göz önünde bulundurulması gerekir. Bu çalışmada sadece süreli akım modu göz önünde bulundurulacaktır.

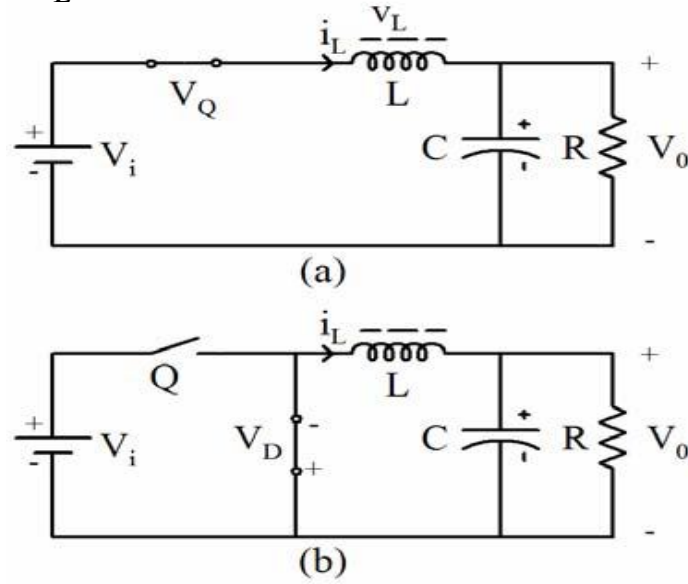
#### Süreli akım Modu;

Düşürücü güç katının iki farklı durumu göz önüne alınır. İlk olarak yarı iletken güç anahtarı, Q iletimde ve D1 diyotu kesimdedir. Süreksiz akım modunda ise Q kesimde ve D1 iletimdedir. Şekil 16’da basitleştirilmiş bir lineer devrede anahtar yerine eşdeğeri eklenerek bu iki durum gösterilmiştir.

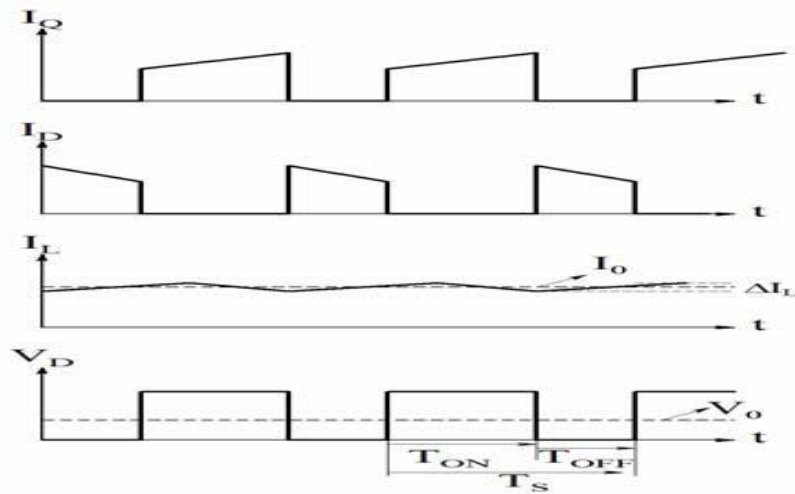
Yarı iletken anahtarın iletimde olduğu durum  $D \times T_s = T_{ON}$  süresi ile ifade edilir ve burada D kontrol devresi tarafından belirlenen  $T_s$  periyodundaki iletim süresidir. Kesim süresi ise  $T_{OFF}$  sembolü ile ifade edilir.

Şekil 16 ve Şekil 17’ye göre bobin akımındaki artış uç denklemleri kullanılarak elde edilebilir.

$$V_L = L \frac{di_L}{dt} \longrightarrow \Delta I_L = \frac{V_L}{L} \Delta T \quad (7)$$



Şekil 16 : Lineerleştirilmiş güç katı, (a) anahtarın iletim durumu ve (b) anahtarın kesim durumu



Şekil 17 : Sürekli çalışma modu için dalga şekilleri

Buradan iletim durumu için bobin akımındaki yükselme aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\Delta I_L(+)=\frac{V_i-(V_Q-I_LR_L)-V_O}{L}T_{ON} \quad (8)$$

Burada RL bobin eşdeğer devresindeki direnci, VQ iletimdurumunda yarı iletken üzerindeki gerilim düşümünü ve  $\Delta I_L(+)$  bobinin akımındaki dalgalanma miktarının göstermektedir. Kesim durumu için bobin akımındaki azalma aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$\Delta I_L(-)=\frac{V_O+(V_D+I_LR_L)}{L}T_{OFF} \quad (9)$$

Burada da  $\Delta I_L(-)$  bobinin akımındaki dalgalanma miktarının göstermektedir.

Kararlı hal çalışma şartlarında akımın, iletimdeki artma miktarı  $\Delta I_L(+)$  ve kesimdeki azalma miktarı  $\Delta I_L(-)$  eşit kabul edilmektedir. Bu nedenle, Eşitlik 8 ve Eşitlik 9 denklemleri eşitlenip sürekli hal için dönüştürücü çıkış gerilimi  $V_o$  bulunabilir.

$$V_o=(V_i-V_Q)\left(\frac{T_{ON}}{T_{ON}+T_{OFF}}\right)-V_D\left(\frac{T_{ON}}{T_{ON}+T_{OFF}}\right)-I_LR_L \quad (10)$$

ve

$$V_o=\frac{T_{ON}}{T_{ON}+T_{OFF}}= \frac{T_{ON}}{T_S} \quad (11)$$

$$(1-D)=\frac{T_{OFF}}{T_S} \quad (12)$$

Eşitlikleri kullanıldığında çıkış gerilimi aşağıdaki şekilde elde edilebilir.

$$V_o=(V_i-V_Q)D-V_D(1-D)-I_LR_L \quad (13)$$

Yukarıdaki dönüşüm ilişkileri göstermektedir ki  $V_o$  çıkış gerilimi iletim süresi (D) ile belirlenmektedir. Bu nedenle çıkış gerilimi her zaman giriş geriliminden düşük olmaktadır.

Genel bir basitleştirme yapmak için VQ,  $V_d$ , ve RL değerlerinin yeterince küçük olduğu kabul edilirse çıkış gerilimi aşağıdaki şekilde sadeleştirilebilir.

$$V_o=V_iD \quad (14)$$

## 4.3.2. Örnek tasarım ve simulink uygulaması

### 4.3.2.1. Dönüştürücü parametre değerleri

Kaynak gerilimi=1200 V

R=50  $\Omega$

Doluluk oranı=0,5

Anahtarlama frekansı= 1 KHz

Ripple akımı  $\Delta I_{Lon} = 2.4$  A

Ripple gerilimi  $\Delta V_o = 4.8$  V

$$D * V_i = V_o$$

$$\Rightarrow 0.5 * 1200 = V_o$$

$$V_o = 600V$$

$$\Delta I_{Lon} = \int_0^{ton} (V_L \div L) dt = ((V_i - V_o) / L) t_{on}, t_{on} = DT$$

$$2.4 = \left(\frac{1}{L}\right) * (1200 - 600) * (0.5) * (1 / 1000)$$

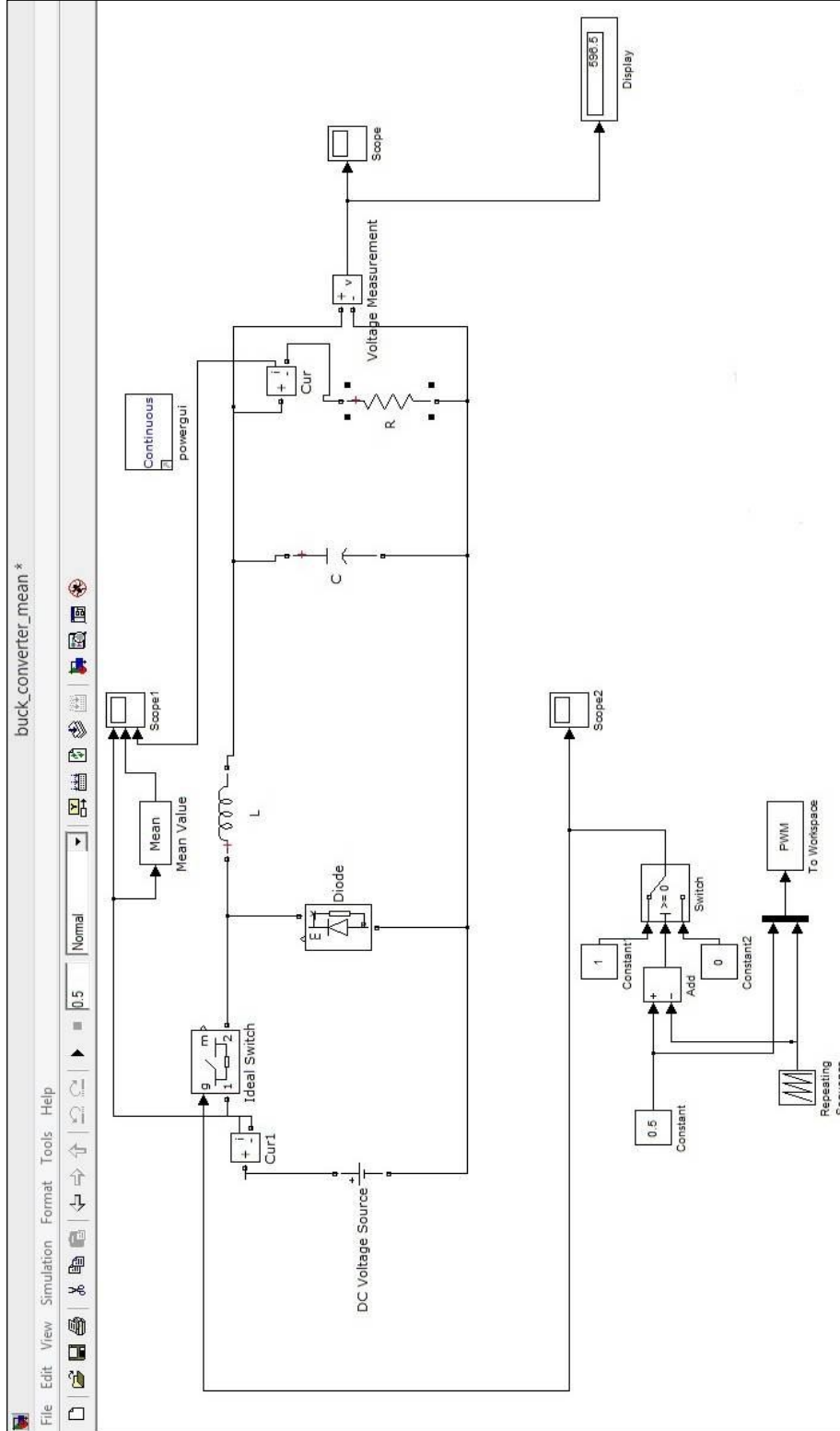
$$\Rightarrow L = 0.125H$$

$$C_{out} \geq \Delta I_L / (8 * f_s * \Delta V_o)$$

$$\Rightarrow C_{out} \geq 0.0000625F$$

#### 4.3.2.2. Düşürücü (Buck) konvertörün simülasyon modeli

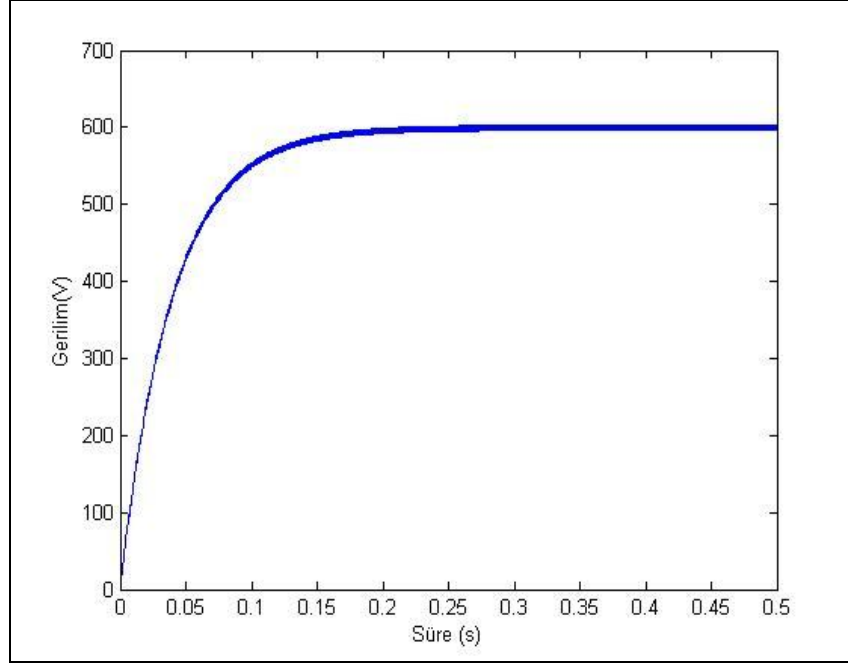
Yukarıda parametrelerini hesaplamış olduğumuz dönüştürücünün simülasyon modeli Şekil 18'de gösterilmiştir.



Şekil 18 : Düşürücü konvertörün simülasyon modeli

#### 4.3.2.3. Düşürücü konvertör çıkış sinyali

Yukarıda modellediğimiz konvertörün çıkış sinyali Şekil 19’da gösterilmiştir. Düşürücü tipi dönüştürücü olduğundan çıkış gerilimi ise giriş gerilimine göre azalmıştır.



Şekil 19 : Düşürücü konvertör çıkış sinyali

DA/DA düşürücü dönüştürücülerde, darbe modülatörü (PWM) görev döngüsü azalır, çıkış gerilimi düşer. Giriş geriliminin 0.5 kat daha düşük olması için görev döngüsünün de 0.5 olması gerekir. PWM görev döngüsü değeri, bu devrede 0.5 olduğundan çıkış gerilimi giriş gerilimini yarısı kadar düşmektedir.

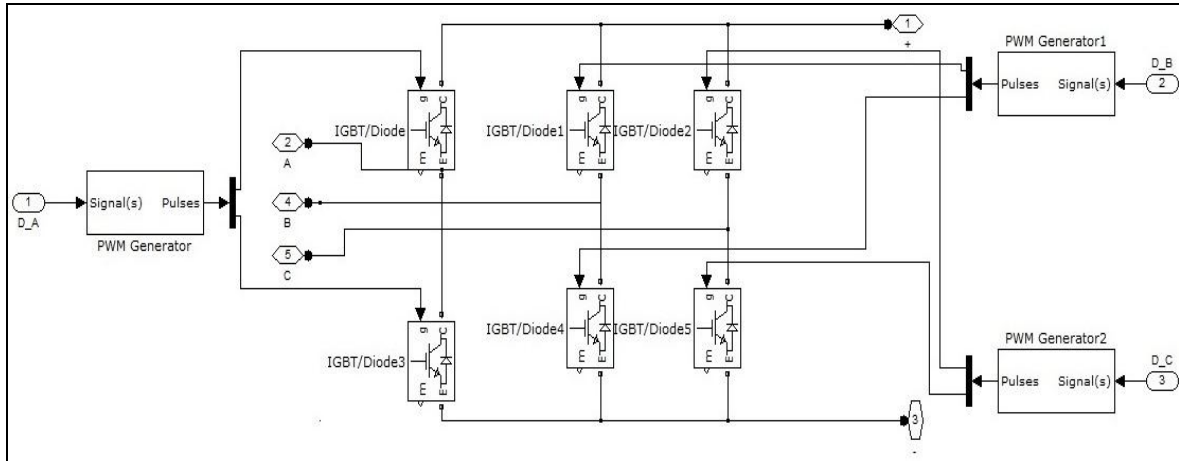
## 5. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN EVİRİCİ TOPOLOJİLERİ

Güneşpanelleri (fotovoltaik) doğru akım üretirler (DA) ve bataryalarda doğru akım olarak depolanırlar. Fotovoltaik sistemlerde alternatif akım (AA) ile çalışan cihazlar kullanılmak istenirse, evirici ile DA AA'ya dönüştürülür. Eviriciler, 12-24 volt olan doğru akımı 220 volt 60 Hz şebeke elektriğine çevirir. Verimleri %90 civarındadır.

- Rezonans eviriciler, temelde bir L-C rezonans bölümünü içerirler. L-C devresi içinde osilasyon halinde bulunan gerilim ve akım yüke uygulanır. Seri ya da paralel L-C devresi kullanılabilir. Bu konvertörlerde yüke aktarılan güç, rezonans ve anahtarlama frekanslarınınca kontrol edilir.
- PWM (Pulse Width Modulated-darbe genişlik modülasyonu) eviricilerde, evirici çıkışının belirlenebilmesi için, bir referans sinyali oluşturulur. Referans sinyalinin frekansı evirici çıkış frekansını, gerilim tepe değeri ise etkin çıkış gerilim değerini belirler. Her yarım döngüdeki darbe sayısı, taşıyıcı (genellikle üçgen dalga) frekansına bağlıdır. Bu eviricilerde DA giriş gerilimi sabittir. Evirici, AA çıkış geriliminin değerini ve frekansını kontrol eder.

Aşağıda Şekil 20'de 3 fazlı gerilim kaynaklı evirici (VSI) modeli oluşturulmuştur.

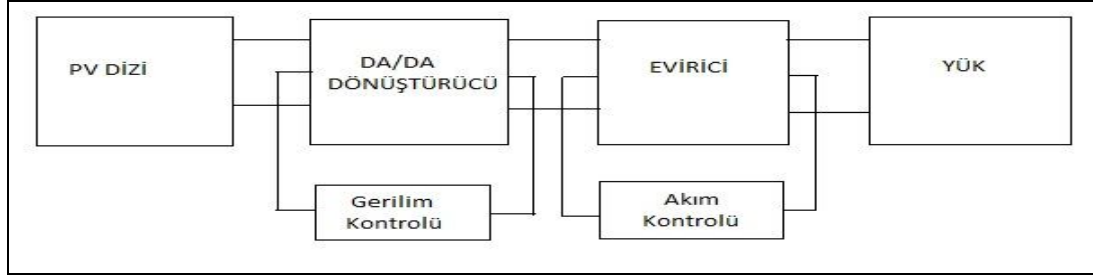
### 5.1. MATLAB/Simulink ile Evirici Modellemesi



Şekil 20 : IGBT yarı iletkenler tarafından oluşturulmuş üç fazlı evirici

## 6. YÜK BAĞLI PV SİSTEM UYGULAMASI

Çalışmamın bu aşamasında; Matlab kullanarak elde etmiş olduğumuz sisteme yük bağlanarak, ve bu yükten önceki eviriciye kontrol sistemi uygulanarak, yükteki değişim analizleri elde edilmiştir. Sistemin verimi hesaplanmıştır. Şekil 21’de sistemimizin son halinin blok şeması gösterilmiştir.



Şekil 21 : DA/ DA dönüştürücü ve evirici üzerinden fotovoltaik sisteme bağlı üç fazlı yükün blok şeması

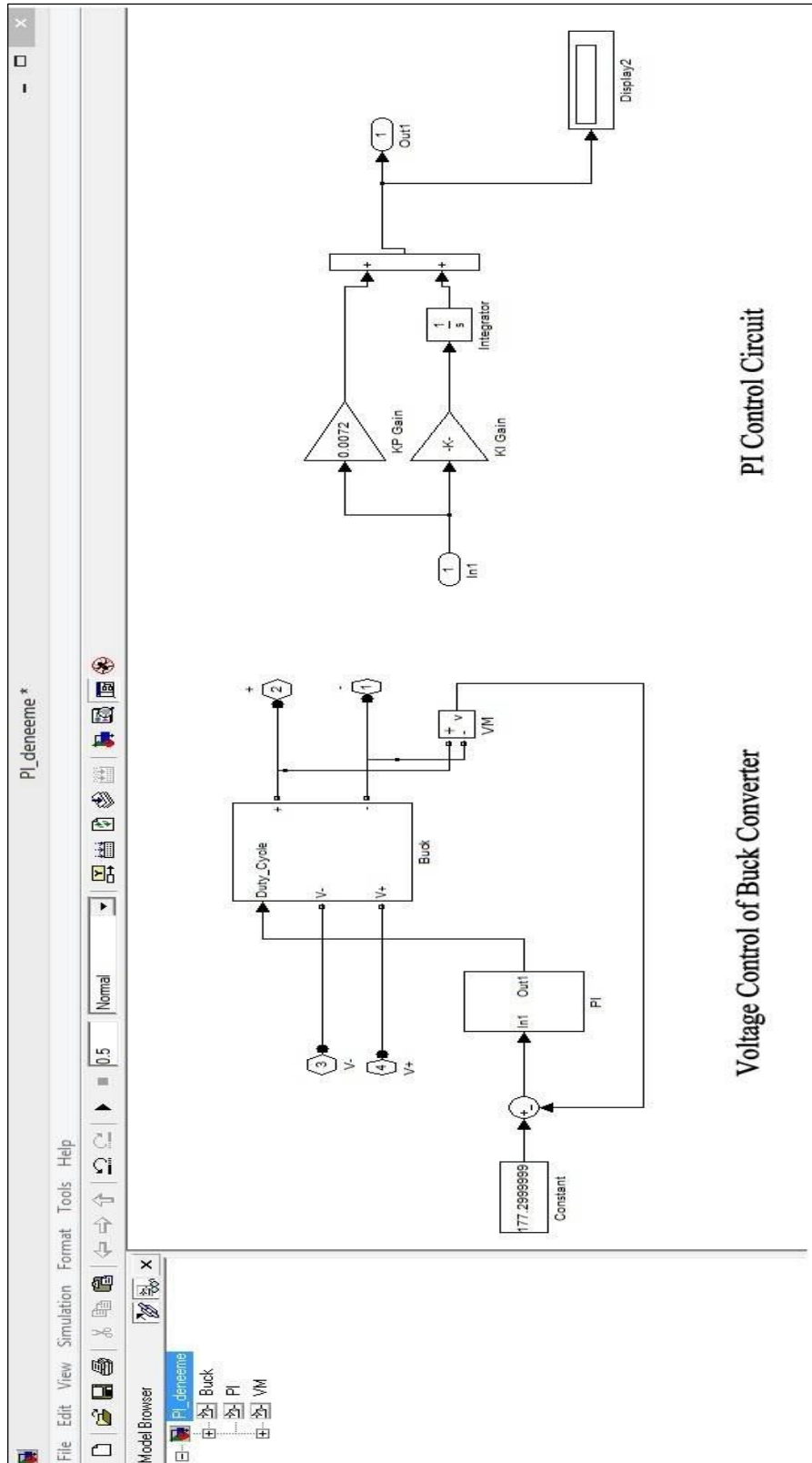
### 6.1. Fotovoltaik Dizi ve Düşürücü Konvertör Bağlantısının Modellenmesi

#### 6.1.1. Düşürücü konvertör gerilim kontrolü

Giriş bozuklukları ne olursa olsun yüksek bir doğrulukla istenen çıkışı elde etmek için farklı dönüştürücü kontrol teknikleri kullanılır. DA/DA dönüştürücülere uygulandığında, gerilim beslemeli düzenleme gerilim modlu kontrol olarak bilinir. Gerilim modlu kontrol (VMC) yaygın olarak kullanılır, çünkü tasarım ve uygulanması kolaydır. Gerilim modlu kontrol çıkış geriliminden sadece tek bir geri besleme döngüsü içerir. Gerilim modlu kontrol dönüştürücünün çıkış gerilimini algılar ve bir referans gerilimi ile karşılaştırır. Karşılaştırıcı hatayı hesaplar. Daha sonra PI kontrol devresinin anahtarlama darbelerini sağlamak için PWM modülatöre giriş oluşturur. PV sistem kaynağı veya yükteki herhangi bir değişiklik bir çıkış değişimi olarak algılanır ve daha sonra geri besleme döngüsü tarafından düzeltilir. Gerilim modlu kontrol döngü kazancı, aynı zamanda giriş gerilimindeki değişiklik ile değişir. Şekil 22 gerilim modlu kontrolün blok diyagramını göstermektedir.

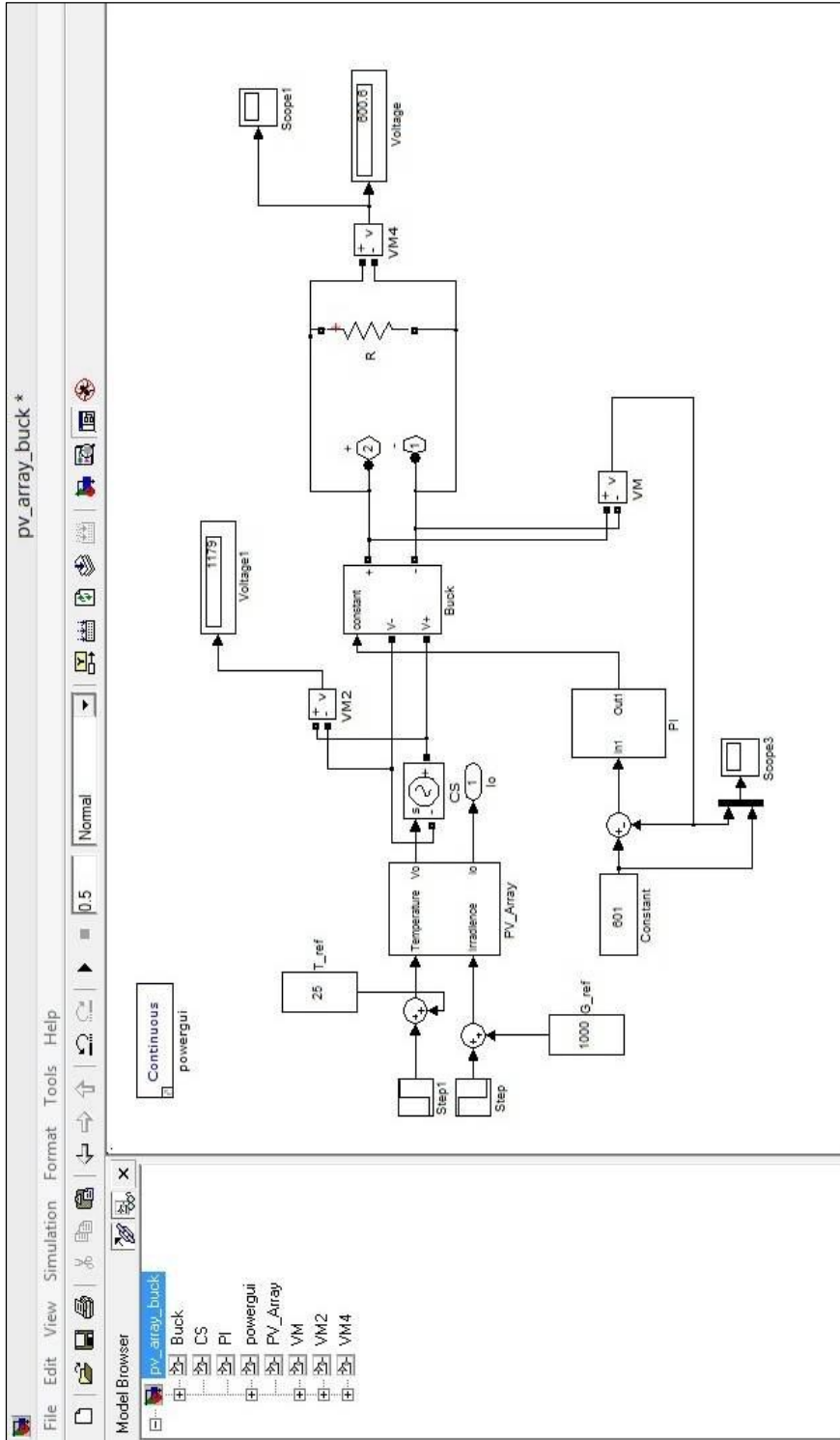
PI kontrol endüstride yaygın olarak kullanılan geri besleme döngülü kontrol mekanizmasıdır. İsmi veren P-I harfleri Türkçe olarak sırasıyla Oransal-İntegral manasına gelir. Şekil 22’de sağ tarafta PI kontrol devresi de görülmektedir. Bir PI denetleyici sisteme verilen referans sinyali ile çıkış sinyali arasındaki hata sinyalini sıfıra indirmeye çalışarak kontrol sağlamayı hedeflemektedir. P mevcut olan hataya bağlı iken, I geçmiş hataların toplamıdır. PI kontrolörün sisteme yararları ve sakıncalarını şu şekilde özetleyebiliriz.

- Yükselme zamanı (Rise Time) artar lakin sönüm azalır. Aşım (Overshoot) azalır.
- Yüksek frekans gürültüleri süzülür.



Şekil 22 : Gerilim modlu kontrolün blok diyagramı

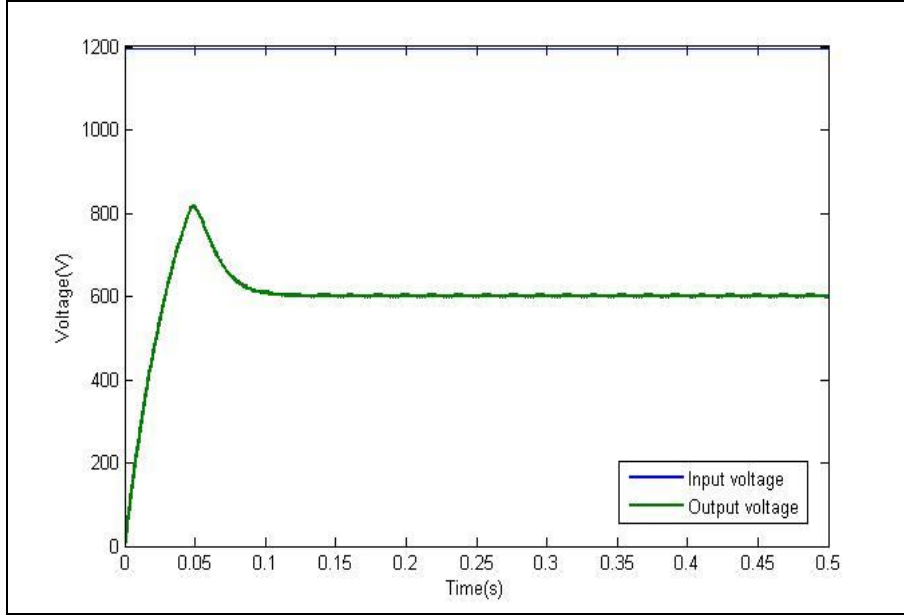
Fotovoltaik dizi ve düşürücü konvertörün bağlantı modeli Şekil 23’de gösterilmiştir.



Şekil 23 : Fotovoltaik dizi ve düşürücü konvertör bağlantısının modellenmesi

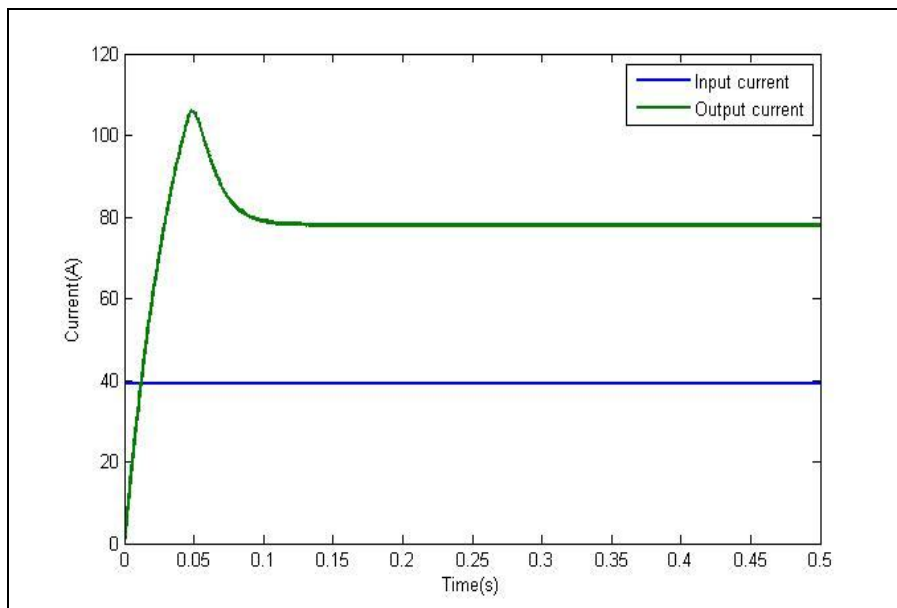
### 6.1.2. Düşürücü konvertörün gerilim kontrolünün simülasyon sonuçları

Düşürücü konvertörümüzün çıkış gerilimi Şekil 24’de gösterilmiştir. Doluluk oranının 0,5 olması sebebiyle 1200V olan giriş geriliminin, çıkışta yaklaşık 600V olduğu gözlenmektedir.



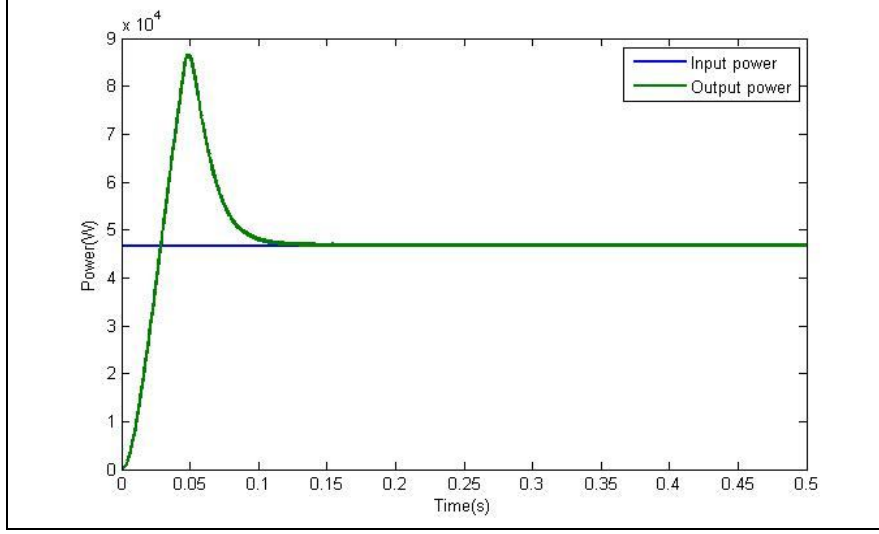
Şekil 24: Düşürücü konvertör çıkış gerilimi

Düşürücü konvertörümüzün çıkış akımı Şekil 25’de gösterilmiştir. Doluluk oranının 0,5 olması sebebiyle yaklaşık 40A olan giriş akımının, çıkışta yaklaşık 80A olduğu gözlenmektedir.



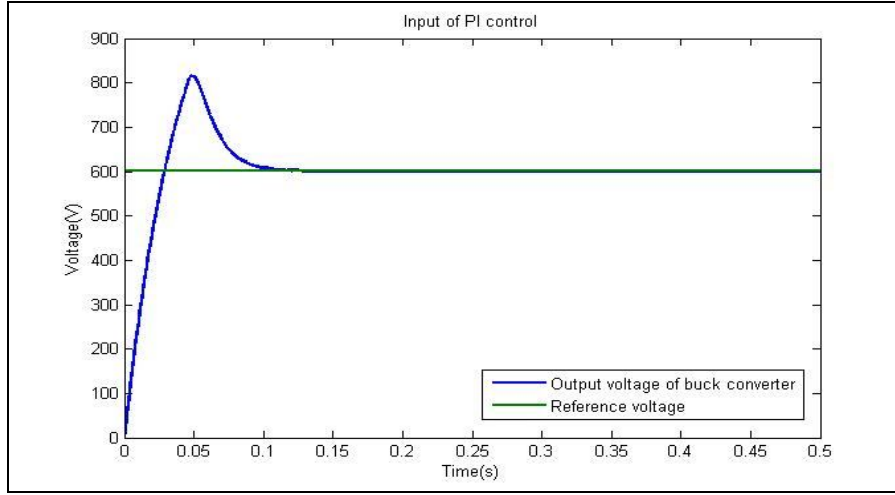
Şekil 25: Düşürücü konvertör çıkış akımı

Konvertörümüzün çıkış gücü Şekil 26'da gösterilmiştir. Burada görüldüğü üzere giriş gücü ve çıkış gücü aynıdır.



Şekil 26: Düşürücü konvertör çıkış gücü

PI kontrolör girişi Şekil 27'de gösterilmiştir. Kontrolörün girişinde iki parametre vardır. Biri konvertörün çıkış gerilimi, diğeri ise referans gerilimidir.



Şekil 27 : PI kontrolör girişi

## 6.2. Fotovoltaik Dizi, Düşürücü Konvertör ve Evirici Bağlantısının Modellenmesi

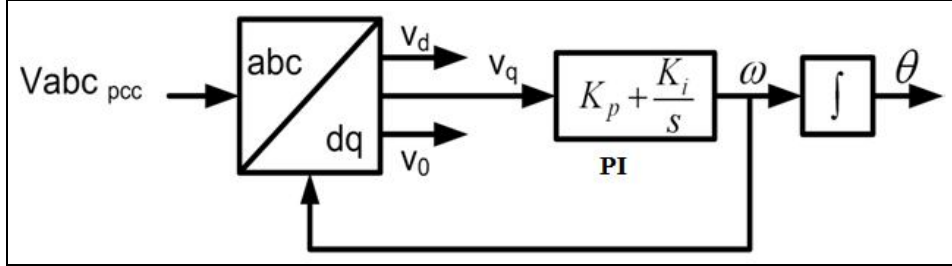
### 6.2.1. Eviricinin akım kontrolü

Şebekeye bağlı bir PV sistemde, gerilim kaynağının akım çıkışı şebekeye enjekte edilecektir. Eviricinin çıkışı şebeke gerilimiyle benzer frekansta ve fazda olmalıdır. Şebeke senkronizasyonları şebekeye bağlı sistemler için önemli bir rol oynamaktadır. Eviricinin şebekeye senkronizasyonu faz kilitlemeli döngü (PLL) ile sağlanmıştır ve Şekil 28'de gösterilmiştir.



### 6.2.1.1 PLL (Faz kilitlemeli döngü)

PLL, giriş referans sinyali ile faz ve frekansı senkronize olan çıkış sinyali üreten bir geri besleme kontrol sinyalidir. PLL'nin rolü evirici bağlandığında şebeke ile birleştirmeyi gerçekleştirmek için ve koordinat dönüşümleri için gerekli olan dönme frekansı sunmaktır. PLL'nin şematik diyagramı Şekil 29'da gösterilmiştir.



Şekil 29 : PLL'nin şematik diyagramı

$$\omega = K_p V_q + K_i \int V_q dt$$

$$\theta = \int \omega dt$$

Burada  $\omega$  rad/s cinsinden dönme frekansı

$\theta$  radyan cinsinden dönme açısı

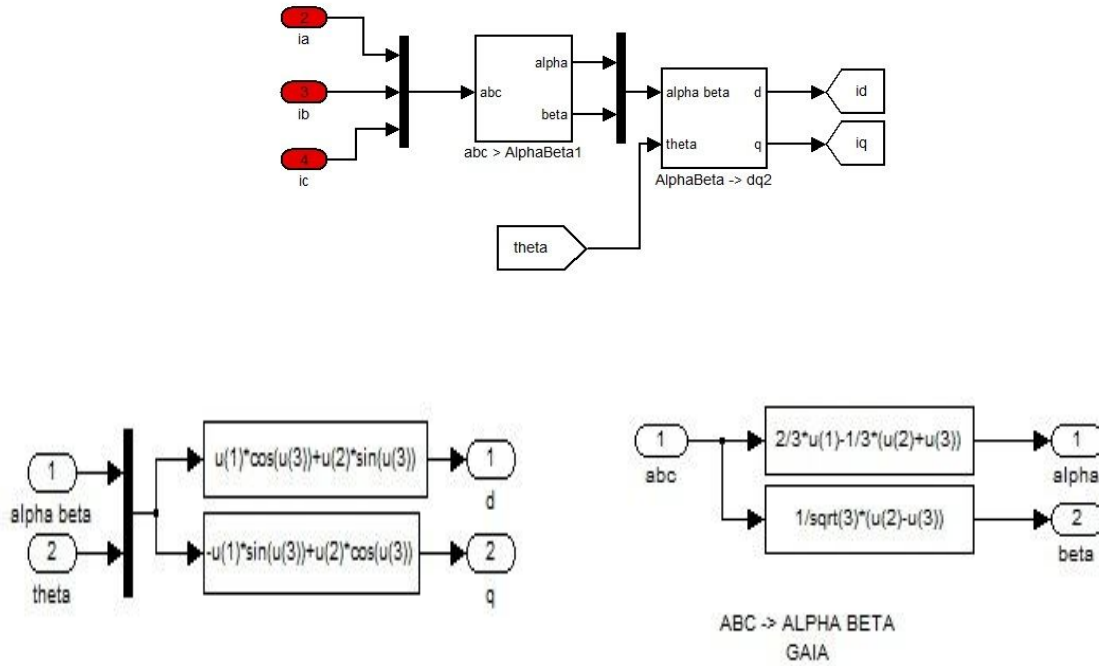
### 6.2.1.2 abc/dq dönüşümü

Evirici; Park dönüşümü (abc/dq0) temelli aktif–reaktif güç denetleyici ile karakterize edilmiştir. Bu dönüşüm tekniği; üç fazlı devrelerin analizini basitleştirmek için kullanılan matematiksel bir dönüşümdür. Dengeli üç fazlı sistemlerde Park dönüşümü ile üç AA bileşen iki DA bileşene indirgenmektedir. Bu teknik genellikle üç fazlı senkron makinelerin analizini veya üç fazlı eviricilerin kontrolü için gerekli hesaplamaları basitleştirmek için kullanılmaktadır. abc koordinatlarından dq0 senkron referans koordinatlarına dönüşüm yapabilmek için sistem geriliminin senkron bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Sistem gerilimiyle senkron olabilmek için PLL yapıları kullanılmaktadır. PLL girişine kaynak gerilimleri uygulanarak üretilen  $\omega t$ , sistemin  $\omega t$ 'ile senkronize olduğunda d-q-0 senkron referans yapı, sistem gerilimiyle senkron dönmektedir. d-q-0 yapıda gerilim vektörünün açısal konumu aynı zamanda senkron referans yapının da açısal konumunu göstermektedir.

Evirici çıkış akımının bileşenleri fotovoltaik dizi sistemi için aktif ve reaktif çıkış gücünü kontrol etmek için kullanılabilir. Üç fazlı akıma uygulanan Park dönüşümü matris formatında aşağıda görülmektedir.

$$I_{dq0} = T I_{abc} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\theta) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

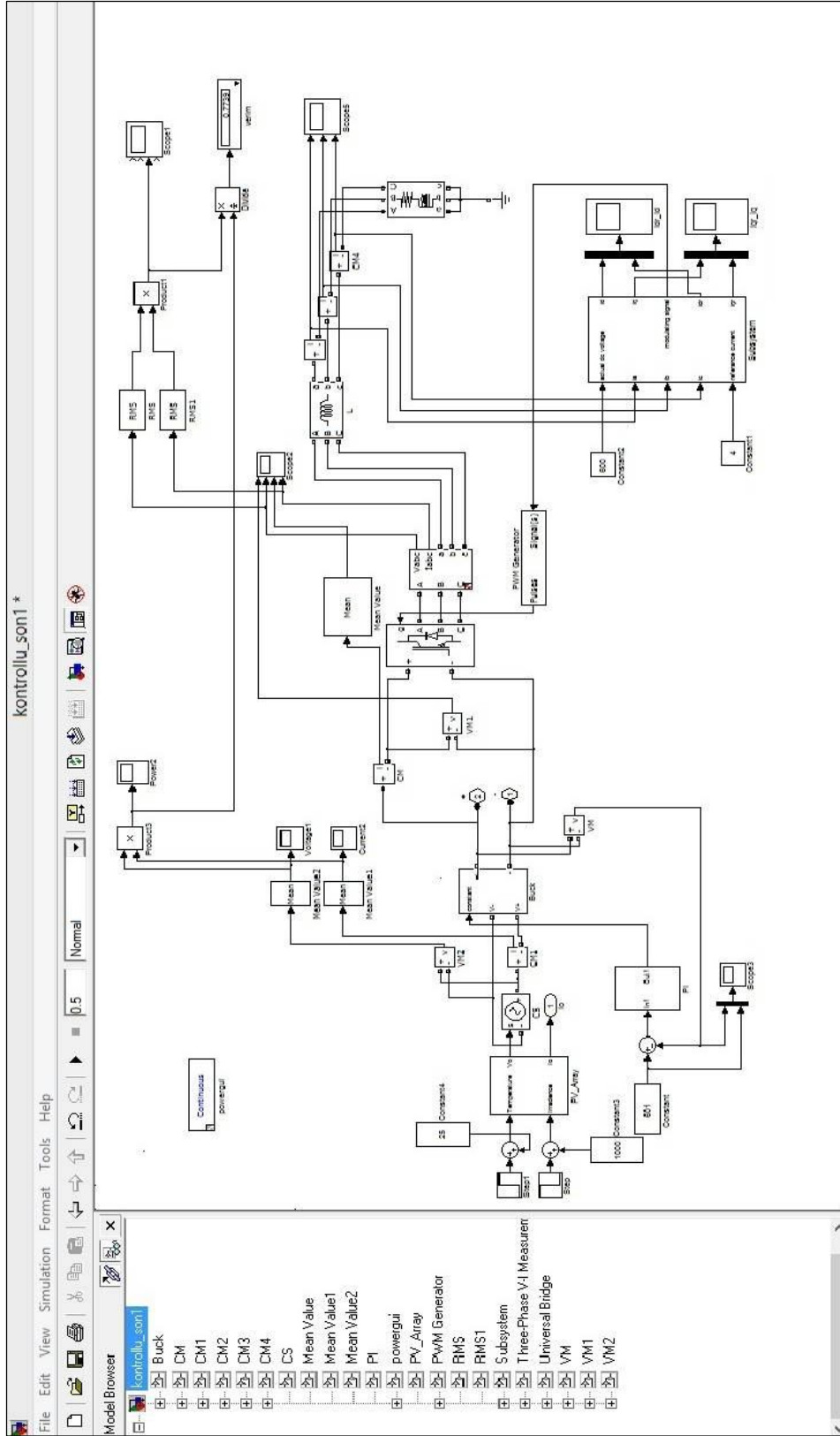
Üç fazlı sistemlerde, dq0 koordinatlarına dönüşümü yapılan akımın “d” ekseninde bulunan Id bileşeni gerilimle aynı fazda olduğu için pozitif sıralı aktif akıma karşılık gelmektedir. “q” ekseninde bulunan Iq bileşeni, Id bileşenine göre dik olduğu için negatif sıralı reaktif akımlara karşılık gelmektedir. Id ve Iq bileşenlerine dik olan “0” ekseninde bulunan I0 bileşeni ise akımın sıfır sıralı bileşenine karşılık gelmektedir. Akımın “q” ekseninde bulunan Iq bileşeni negatif ise, yükün endüktif bileşen içerdiğini, pozitif ise yükün kapasitif bileşen içerdiğini göstermektedir. abc/dq dönüşümü Şekil 30’da gösterilmiştir.



Şekil 30 : abc/dq dönüşümünün blok diyagramı

### 6.3. Kontrollü PV Sistemin Simulink Modeli

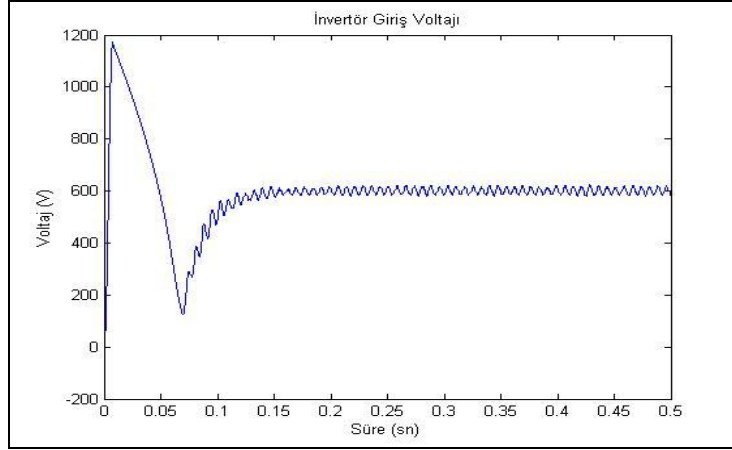
Eviriciye akım kontrolü uygulanmış şekliyle sistemin son hali Şekil 31’de verilmiştir.



Şekil 31 : Kontrollü PV sistemin simulink modeli

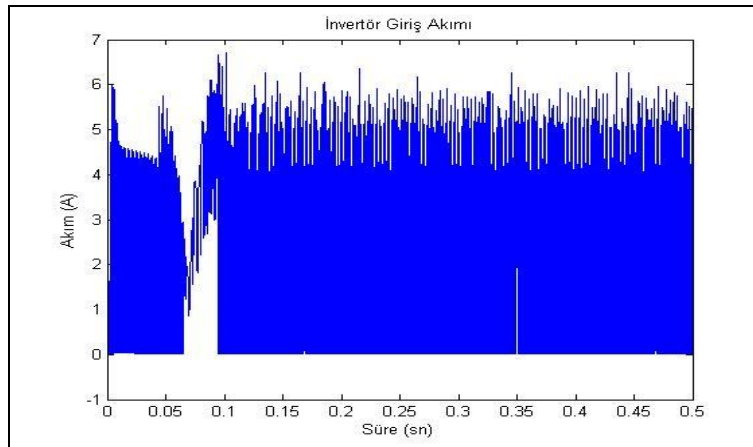
### 6.3.1. Simülasyon sonuçları

Eviricinin giriş gerilimi Şekil 32’de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere güneş panelinin ürettiği yaklaşık 1200 V olan geriliminin konvertörden geçirilerek 600V’a düşükten sonra eviriciye giriş durumudur. Şekil 32’de elde edilen eğrilere göre düşürücü konvertör çıkış işareti yani evirici giriş gerilimi 0.06 sn süresine kadar gerilim dalga şeklinde kuvvetli salınımlar mevcut olup, 0.06 sn süre sonunda salınımlar azalmaktadır. Evirici giriş gerilimin genliği yaklaşık 600V değerinde olduğu görülmektedir.



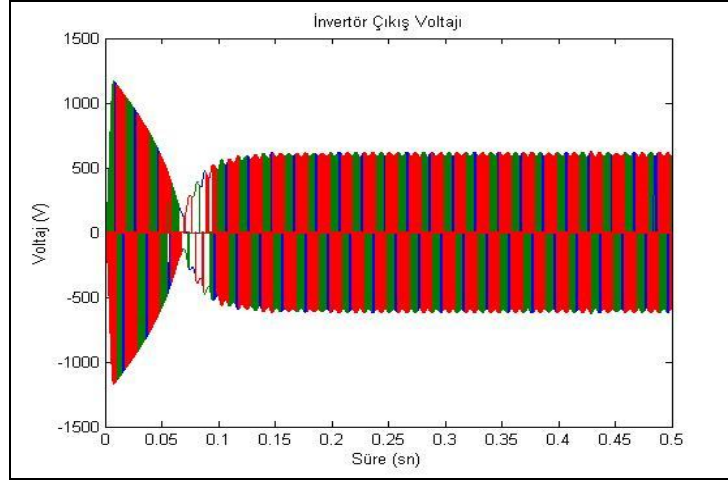
Şekil 32 : Eviricinin giriş geriliminin anlık değeri

Eviricinin giriş akımı Şekil 33’de gösterilmiştir. Şekil 33’de elde edilen eğrilere göre evirici giriş akımı 0.1 sn süresince şeklinde kuvvetli salınımlar mevcut olup, 0.1 sn süre sonunda salınımlar azalmaktadır. Evirici giriş akımının genliğinin yaklaşık 6A değerinde olduğu görülmektedir. 0-2.5A değer aralığında salınımlar (ripple dalgalanmaları) yaptığı görülmektedir.



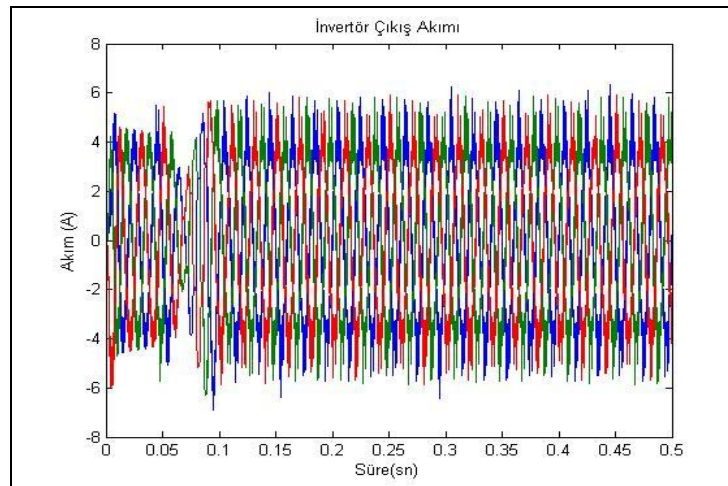
Şekil 33: Eviricinin giriş akımının anlık değeri

Simülasyon sonucunda evirici ve filtre çıkışında elde edilen zamana bağlı gerilim değişimlerinin görüldüğü grafikler Şekil 34’de görülmektedir. Evirici çıkışındaki ve yük üzerindeki alternatif gerilim dalga şeklinin 0.5 sn simülasyon süresince değişimleri incelendiğinde, 500V değerinde sinüs formuna çok yakın, alternatif akım işareti elde edildiği görülmektedir.



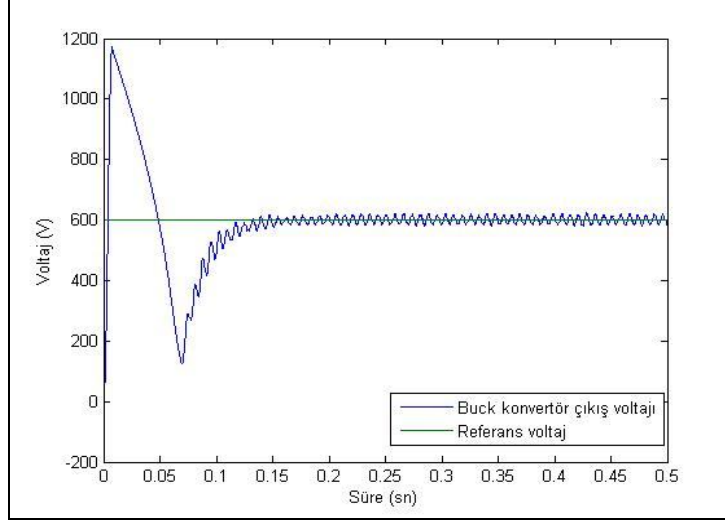
Şekil 34: Eviricinin çıkış geriliminin anlık değeri

Eviricinin çıkış akımı Şekil 35’de gösterilmiştir. Şekil 35’de elde edilen eğrilere göre evirici giriş akımı 0.1 sn süresince şekilde kuvvetli salınımlar mevcut olup, 0.1 sn süre sonunda salınımlar azalmaktadır. Evirici çıkış akımının genliğinin yaklaşık 6A değerinde olduğu görülmektedir.



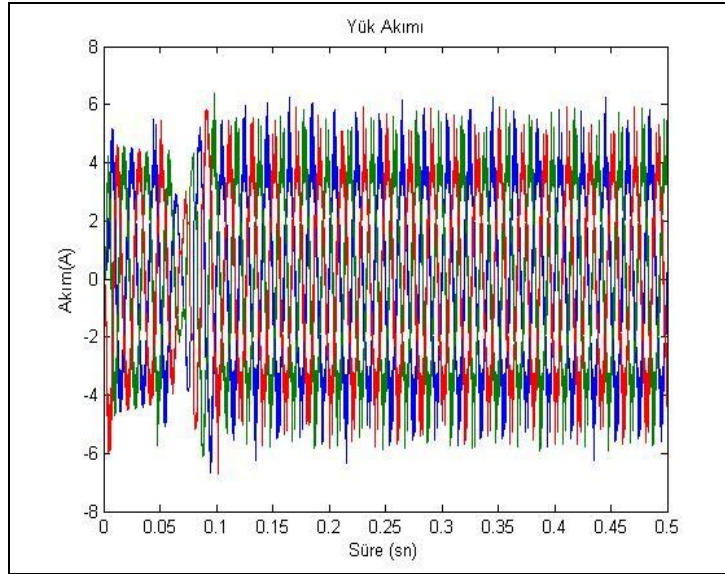
Şekil 35: Eviricinin çıkış akımının anlık değeri

PI kontrolörü giriş değerleri Şekil 36'da gösterilmiştir. Şekilde gördüğümüz üzere yeşil renkli işaret referans gerilimi olup 600V'dur. Mavi renkli işaret ise düşürücü konvertörünün çıkış gerilimidir. Şekil 36'daki grafiği incelediğimizde oturma zamanının 0.15 saniye olduğu görülmektedir.



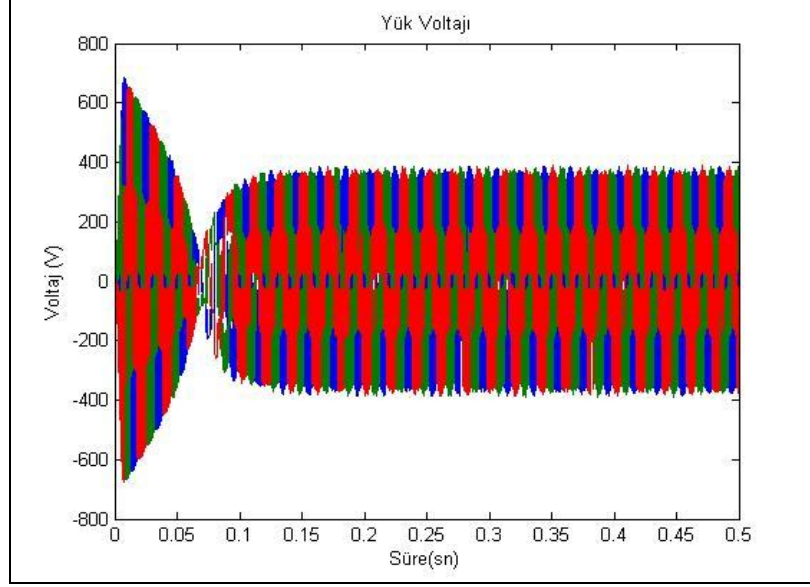
Şekil 36: PI kontrol giriş değeri

Yük akımının grafiği Şekil 37'de gösterilmiştir. Yük üzerindeki akım dalga şeklinin 0.5 sn simülasyon süresince değişimleri incelendiğinde, yaklaşık 5A değerinde bir işaret elde edildiği görülmektedir. 0.08 sn simülasyon süresince kuvvetli salınımlar olup, bu süreden itibaren akımın şeklinin dengeye girdiği görülmektedir.



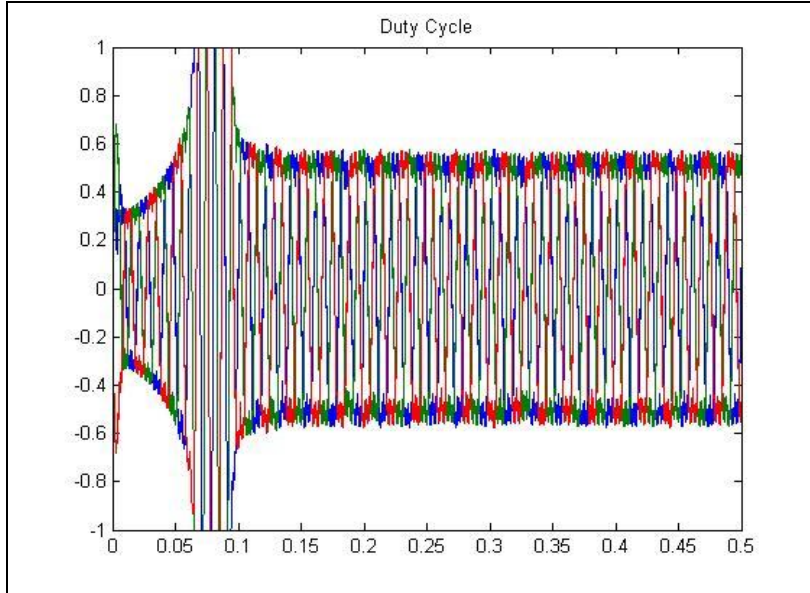
Şekil 37: Yük akımı

Yük geriliminin grafiği Şekil 38’de gösterilmiştir. Yük üzerindeki gerilim dalga şeklinin 0.5 sn simülasyon süresince değişimleri incelendiğinde, yaklaşık 400V değerinde sinüs formuna çok yakın, alternatif akım işareti elde edildiği görülmektedir. 0.08 sn simülasyon süresince kuvvetli salınımlar olup, bu süreden itibaren gerilimin dengeye girdiği görülmektedir.



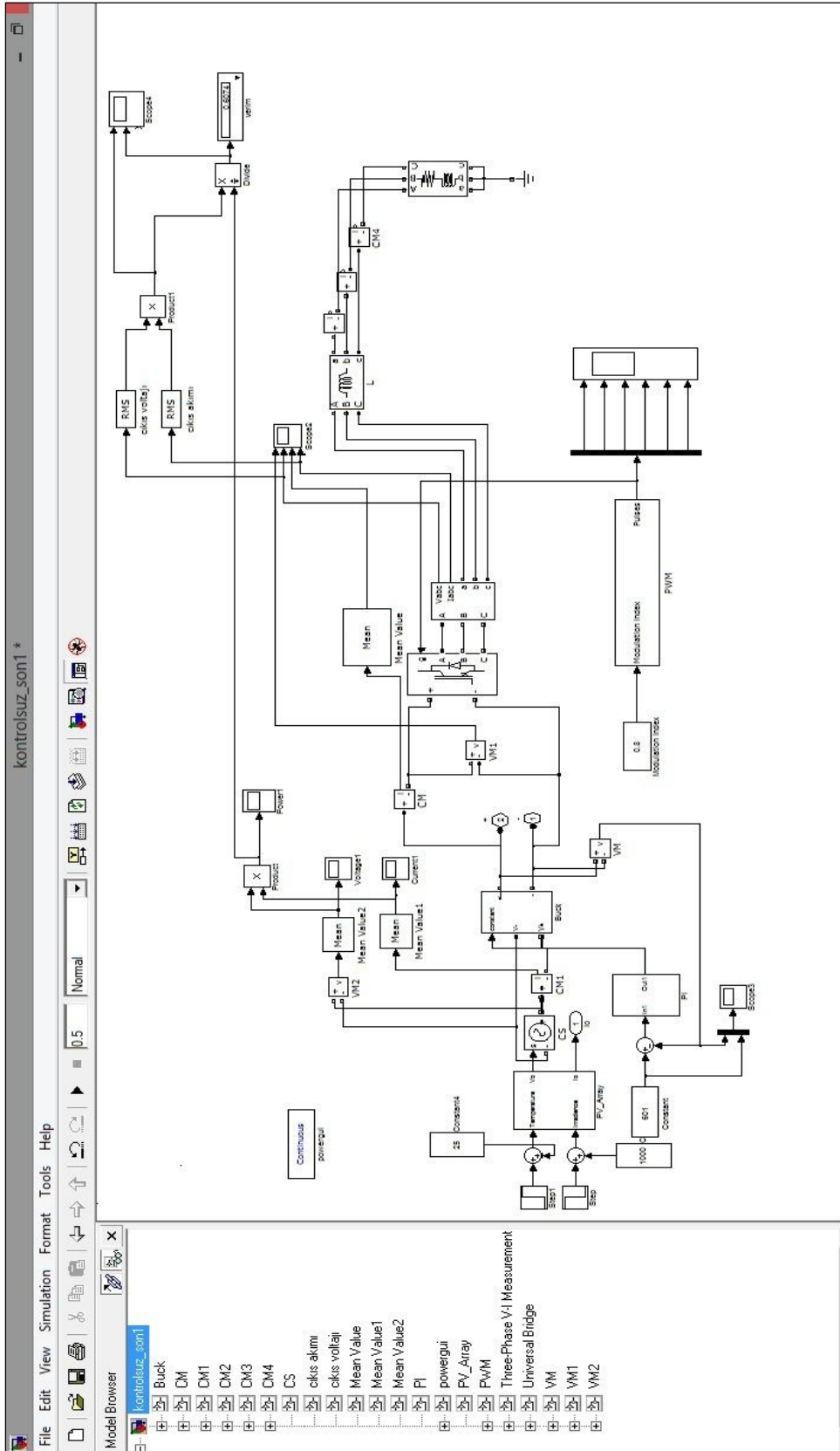
Şekil 38 :Yük gerilimi

Şekil 39’da doluluk oranı işaretinin salınımlı olarak 0.5 olduğu görülmektedir.



Şekil 39 : Doluluk oranı

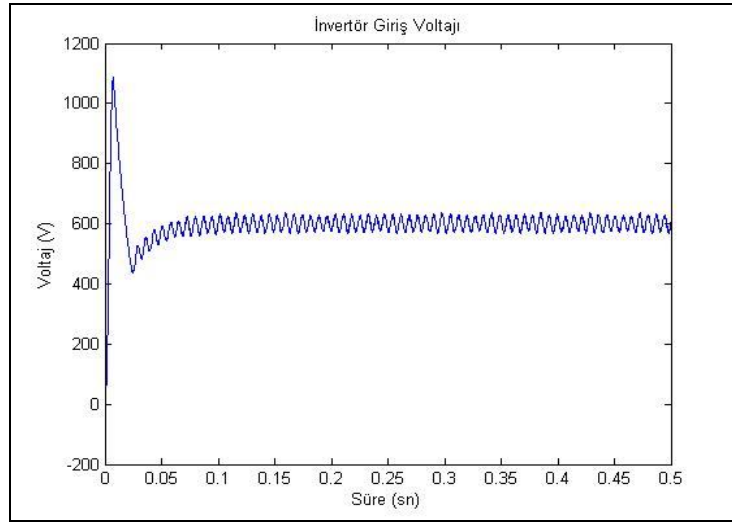
## 6.4. Kontrolsüz PV Sistemin Simulink Modeli



Şekil 40 : Kontrolsüz PV sistemin simulink modeli

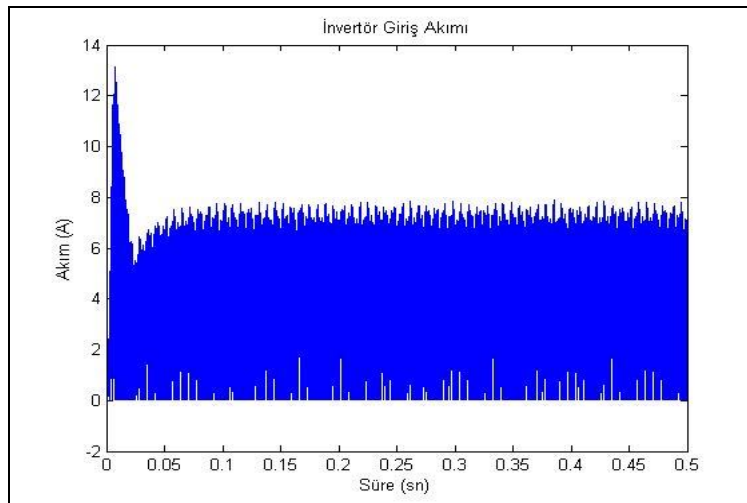
### 6.4.1. Simülasyon sonuçları

Eviricinin giriş gerilimi Şekil 41’de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere güneş panelinin ürettiği yaklaşık 1200 V olan geriliminin konvertörden geçirilerek 600V ‘a düştükten sonra eviriciye giriş durumudur. Şekil 41’de elde edilen eğrilere göre düşürücü konvertör çıkış işareti yani evirici giriş gerilimi 0.03 sn süresine kadar gerilim dalga şeklinde kuvvetli salınımlar mevcut olup, 0.03 sn süre sonunda salınımlar azalmaktadır. Evirici giriş gerilimin genliği yaklaşık 600V değerinde olduğu görülmektedir.



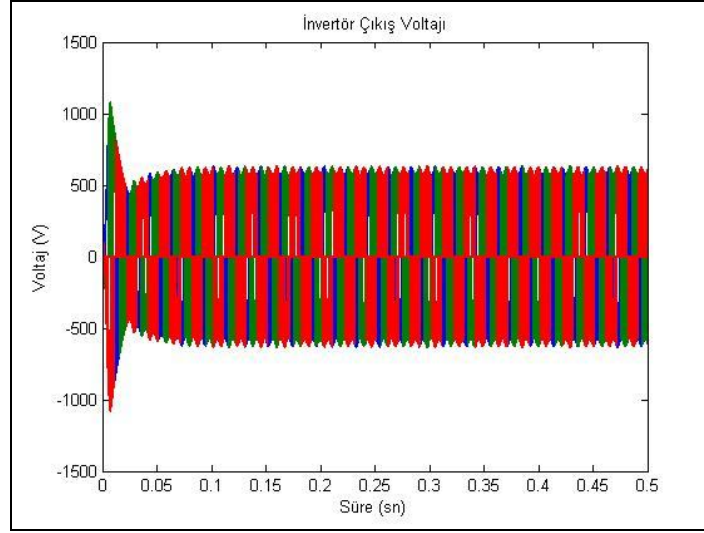
Şekil 41 : Eviricinin giriş gerilimi

Eviricinin giriş akımı Şekil 42’de gösterilmiştir. Şekil 42’de elde edilen eğrilere göre evirici giriş akımı 0.03 sn süresince dengesizlikler mevcut olup, 0.03 sn süre sonunda salınımlar azalmaktadır. Evirici giriş akımının genliğinin yaklaşık 7A değerinde olduğu görülmektedir.



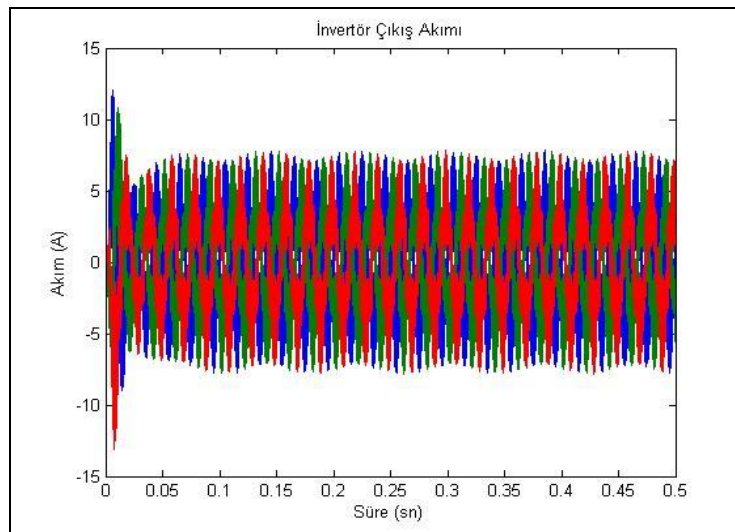
Şekil 42 : Eviricinin giriş akımı

Simülasyon sonucunda evirici ve filtre çıkışında elde edilen zamana bağlı gerilim değişimlerinin görüldüğü grafikler Şekil 43’de görülmektedir. Evirici çıkışındaki ve yük üzerindeki alternatif gerilim dalga şeklinin 0.5 sn simülasyon süresince değişimleri incelendiğinde, 500V değerinde sinüs formuna çok yakın, alternatif akım işareti elde edildiği görülmektedir.



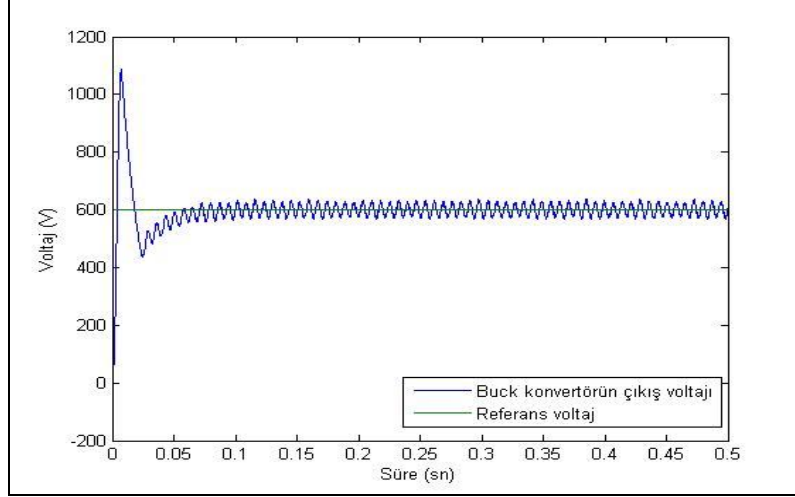
Şekil 43 : Eviricinin çıkış gerilimi

Eviricinin çıkış akımı Şekil 44’de gösterilmiştir. Şekil 44’de elde edilen eğrilere göre evirici giriş akımı 0.03 sn süresince şeklinde dengesizlikler mevcut olup, 0.03 sn süre sonunda bu dengesiz salınımlar azalmaktadır. Evirici çıkış akımının genliğinin yaklaşık 6A değerinde olduğu görülmektedir.



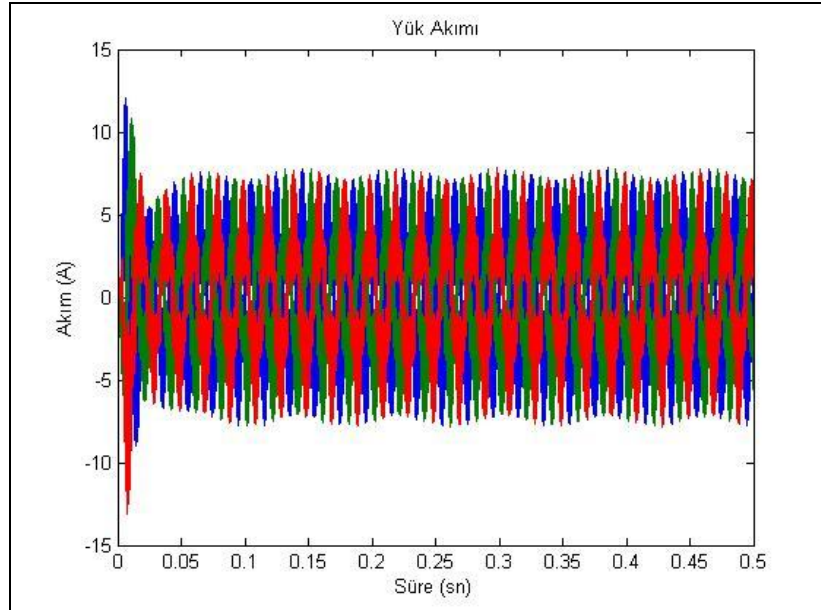
Şekil 44: Eviricinin çıkış akımı

PI kontrolörü giriş değerleri Şekil 45’de gösterilmiştir. Şekilde gördüğümüz üzere yeşil renkli işaret referans gerilimi olup 600V’dur. Mavi renkli işaret ise düşürücü konvertörünün çıkış gerilimidir. Şekil 45’deki grafiği incelediğimizde oturma zamanının 0.03 saniye olduğu görülmektedir.



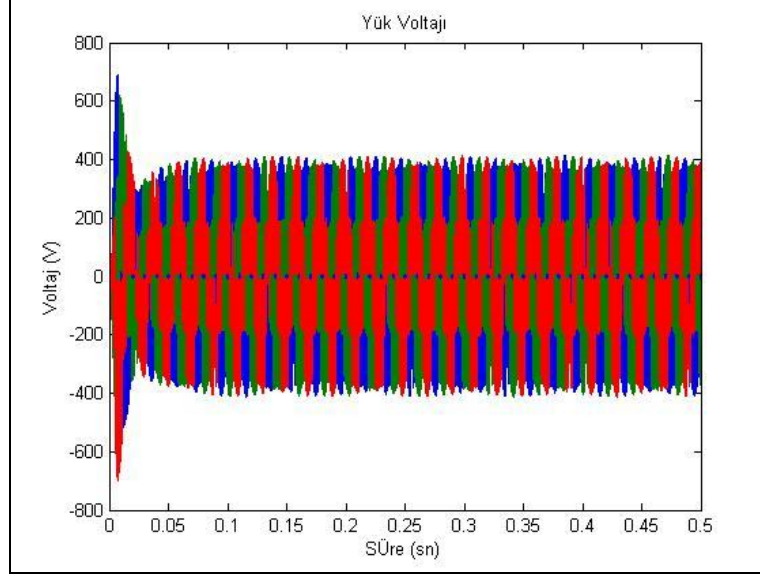
Şekil 45 : PI kontrol giriş değeri

Yük akımının grafiği Şekil 46’da gösterilmiştir. Yük üzerindeki akım dalga şeklinin 0.5 sn simülasyon süresince değişimleri incelendiğinde, yaklaşık 5A değerinde bir işaret elde edildiği görülmektedir. 0.03 sn simülasyon süresince dengesiz salınımlar olup, bu süreden itibaren akımın şeklinin dengeye girdiği görülmektedir.



Şekil 46 : Yük akımı

Yük geriliminin grafiği Şekil 47’de gösterilmiştir. Yük üzerindeki gerilim dalga şeklinin 0.5 sn simülasyon süresince değişimleri incelendiğinde, yaklaşık 400V değerinde sinüs formuna çok yakın, alternatif akım işareti elde edildiği görülmektedir. 0.03 sn simülasyon süresince dengesiz salınımlar olup, bu süreden itibaren geriliminin dengeye girdiği görülmektedir.



Şekil 47 : Yük gerilimi

**Tablo 3 : Kontrollü ve kontrolsüz sistemlerin karşılaştırılması**

	Eviriciye akım kontrolü uygulanmamış sistem	Eviriciye akım kontrolü uygulanmış sistem
Çıkış gücü	1495 W	1149 W
Verim	%60	%77

## 7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Fotovoltaik sistem günden güne popülerlik kazanmaktadır. Bu çalışma simülasyon olarak fotovoltaik güç elektroniği dönüştürme sistemini geliştirmek için ilk adımdır. Bu yazının amacı, bağımsız bir PV sistem modellemesi hakkında fikir sağlamaktır. Sistem iki şekilde incelenmiştir. Bu kâğıtta yalnızca yük bağlı PV sistemin genel modeli tartışıldı.

İlk adımda, güneş pili ve PV modülü modellenmiştir. Bir PV modül elektriksel modeli Shockley diyot denkleminde dayalı sunulmaktadır.

İkinci adımda, PV dizi modeli, düşürücü tipi dönüştürücü ve kontrolü, evirici ve kontrolü, son olarak da yük temsil edilir. Her sistemin simülasyon sonucu belirtilen aynı sürekli simülasyon zamanında ele alındı.

Geleneksel sistemde tek bir PV modülü bir DA/DA dönüştürücüye bağlanır ve DA/DA dönüştürücünün çıkışı da son olarak yükü besleyen eviriciye bağlanır. Sonunda, L filtre kararlı durum ve bozulma durumu altında incelenip modellenmiştir. Bu uygulanması basit ve tatmin edici sinüzoidal akım ve gerilim dalga biçimleri üretme kapasitesine sahiptir.

Bu çalışmada iki simülasyon vardır. İlk simülasyonda eviricide bir kontrol sistemi bulunmazken ikinci simülasyonda, yüke uygun gürültüsüz bir sinyal izlemek için PI denetleyicisi kullanarak evirici kontrolüne uygun sistem geçişini kapsamaktadır. Akım kontrolörü özellikle, referans değerine göre tetikleme darbesi elde etmek için kullanılır.

Önerilen sistem bileşenlerinin modelleri, Matlab / Simulink ortamında uygulanmaktadır. İki simülasyonun verimleri karşılaştırıldığında evirici kontrollü sistemin veriminin daha yüksek olduğu ölçülmüştür. Sistem üç fazlı yük modu için iyi davranış göstermiştir. Bu çalışmanın master uygulaması için yararlı olacağını ümit ediyorum.

## KAYNAKLAR

- [1]U.S Energy Information Administration, Independent Statistics and Analysis International Energy Outlooks,. <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/world.html> 15 February 2010. (2010).
- [2]Synergy Enviro Engineers, Solar [http://www.synergyenviron.com/resources/solar\\_photovoltaic\\_energy.asp](http://www.synergyenviron.com/resources/solar_photovoltaic_energy.asp), 16 March 2010. (2010).
- [3]Ramakumar, R. and Bigger, J.E., “Photovoltaic systems”, Proceedings of the IEEE, Published Online 06 August 2006, 3 (81): 365-377. (2006).
- [4]Solar Energy, (n.d.). <http://www.najah.edu/page/3214>, 02 June 2010.
- [5]Olivia, M., (1998). “Fundamentals of Photovoltaic Materials”, National Solar Power Research Institute, 2-8.
- [6]Sheriff, F., Turcotte, D. and Ross, M., (2003). “PV Toolbox: A Comprehensive Set Of PV System Components for the Matlab®/Simulink® Environment”, SESCOI 2003 CONFERENCE, August 18 - 20, Kingston, Ontario, Canada. (2003)
- [7]Tsai, H.L., Tu, C.S. and Su, Y.J., (2008). “Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK”, World Congress on Engineering and Computer Science 2008, ISBN: 978-988-98671-0-2, San Francisco, 3-6. (2008)
- [8]Shaha, A.E., (2005). “PV Cell Module Modeling & Ann Simulation for Smart Grid Applications”, *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. (2005)
- [9]Azab, M., (2009). “Improved Circuit Model of Photovoltaic Array”, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems Engineering*, 3 (2). (2009)
- [10]Santos, J.L., Antunes, F., Chehab, A. and Cruz, C., (2006). “A Maximum Power Point Tracker for PV Systems Using a High Performance Boost Converter”, *Solar Energy*, 7 (80): 772-778. (2006)
- [11]Non-linear DC Analysis, (2010). <http://qucs.sourceforge.net/tech/node16.html>, 15 August 2010.
- [12]Messenger, R.A. and Ventre, J., (2005). "Photovoltaic Systems Engineering". Introduction to PV Systems, CRC Press LLC, Florida, 2: 52-56. (2005)
- [13]Clean Energy Council, (2009). “Grid-Connected PV Systems”, System Design Guidelines for Accredited Designers, 3: 2-8. (2009)
- [14]PV System, (n.d.). <http://www.flickr.com/photos/60744241@N06/5535096688>, 17 March 2010
- [15]Mahmoud, M. and Ibrik, H.I., (2003). “Field Experience on Solar Electric Power Systems and Their Potential in Palestine”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6 (7): 531-543. (2003)

- [16 ]Retscreen International Clean Energy Project Analysis, Retscreen Engineering and Cases Textbook, 3: 53-71.
- [17]"Analysis, design and modelling of DC/DC converter using simulink"; Bachelor of Engineering, Institute of Engineering and Technology, India; December, 2004.
- [18]"Power Electronics: Converters, Applications and Design", Saurabh KASAT; Mohan, Undeland and Robbins, Wiley, 1989
- [19] "Behaviour of Grid Connected Photovoltaic Systems" University Kuala Lumpur-British Malaysian Institute, A.Salam, I. Adam, F. Zaharah, Ahmed M. A. Haidar, University Malaysia Pahang (2011)
- [20] [http://en.wikipedia.org/wiki/DC\\_to\\_DC\\_converter](http://en.wikipedia.org/wiki/DC_to_DC_converter) (Erişim Tarihi: 01/03/2015)
- [21] Fotovoltaik-Rüzgar Türbini Hibrit Enerji Üretim Sistemlerinin Ulusal ElektrikŞebekesine Etkilerinin İncelenmesi, Mahmut HEKİM, Pamukkale Üniversitesi (2011).

## ÖZGEÇMİŞ

### **Kişisel Bilgiler**

Adı, soyadı : Aslı ÜZÜM AYDIN  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 13.02.1989, ADANA  
Medeni hali : Evli  
Telefon : 0 (505) 602 01 54  
e-posta : [asli.uzumm@gmail.com](mailto:asli.uzumm@gmail.com)

### **Eğitim**

<b>Derece</b>	<b>Eğitim Birimi</b>	<b>Mezuniyet tarihi</b>
Yüksek lisans	KSÜ /Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü	2015
Lisans	KSÜ/ Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü	2011
Lise	İsmail Safa Özler Anadolu Lisesi	2007

### **İş Deneyimi**

<b>Yıl</b>	<b>Yer</b>	<b>Görev</b>
2011-2012	Körfezim Elektrik-Akedaş	<b>Elektrik Mühendisi</b>

### **Yabancı Dil**

İngilizce  
Almanca

### **Hobiler**

Mühendislik bilimleri, Fotoğrafçılık, Yüzme, Kitap okuma.