

HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
AKADEMİK BİLİM DERGİSİ

**HARRAN
ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK DERGİSİ**

HARRAN UNIVERSITY
JOURNAL OF ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

PID ve Kayan Kipli Kontrol Kullanarak DC Motor Besleme Amaçlı Bir PV Sistemin Tasarlanması

A PV System Desing For DC Motor Supply By Using PID and Sliding Mode Control

Yazar(lar) (Author(s)): Ahmet AKGÜN¹, Ali KIRÇAY²

¹ ORCID ID: 0000-0002-9493-6197

² ORCID ID: 0000-0002-2842-1507

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Akgün A., Kırçay A., “PID ve Kayan Kipli Kontrol Kullanarak DC Motor Besleme Amaçlı Bir PV Sistemin Tasarlanması”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7(2): 71-90, (2022).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



PID ve Kayan Kipli Kontrol Kullanarak DC Motor Besleme Amaçlı Bir PV Sistemin Tasarlanması

Ahmet AKGÜN¹, Ali KIRÇAY^{2,*}

^{1,2}Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Bölümü, 63050, Haliliye İlçesi / ŞANLIURFA

Makale Bilgisi

Başvuru: 07/07/2022

Yayın: 30/08/2022

Anahtar Kelimeler

PV Sistem
PID ve Kayan Kipli Kontrol (SMC)
DC-DC dönüştürücüler
Yapay Sinir Ağları (YSA)
Maksimum güç noktası izleyici (MPPT)

Keywords

PV System
PID and Sliding Mode Control (SMC)
DC-DC converters
Artificial Neural Networks (ANN)
Maximum power point tracker (MPPT)

Öz

Bu çalışmada PID ve Kayan Kipli kontrol kullanarak DC motor besleme amaçlı bir PV sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmada değişen sıcaklık (45°C, 25°C) ve ışınım (1000W/m², 800 W/m²) değerleri altında PV panellerden üretilen DC gerilim ile DC-DC yükseltici dönüştürücü yardımıyla ilk önce lityum iyon batarya şarj edilmiştir. PV sistem tasarımında MPPT noktası tayini için YSA kullanılmıştır. DC motor beslenmesi için şarj edilen batarya gerilimi PID kontrollü yükseltici dönüştürücü ile yükseltilmiş ve kayan kipli kontrol kullanarak düşürücü dönüştürücünün çıkışında sabit akım ve gerilim değeri elde edilmiştir. Yapılan tüm çalışmalar Matlab/simulink ortamında gerçekleştirilmiştir.

A PV System Desing For DC Motor Supply By Using PID and Sliding Mode Control

Abstract

In this study, a PV system design for DC motor supply was carried out using PID and Sliding Mode control. In the study, the lithium ion battery was first charged with the help of DC-DC boost converter with DC voltage generated from PV panels under varying temperature (45°C, 25°C) and radiation (1000W/m², 800 W/m²) values. ANN was used to determine the MPPT point in the PV system design. Then, the voltage of the charged battery for feeding the DC motor was increased with a PID-controlled step-up converter and a constant current and voltage value was obtained at the output of the step-down converter by using the sliding mode control. All work done was designed with Matlab/simulink.

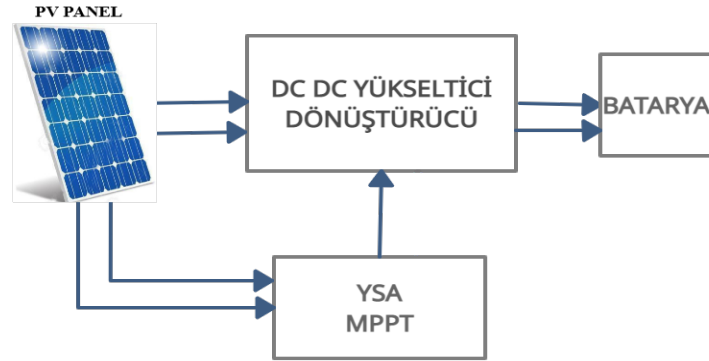
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gezegenimizde artan nüfus ve teknolojik gelişmelerle beraber enerjiye olan talep artmıştır. Fosil kaynaklar bu artan enerji talebini karşılayamadığı gibi çevreye, verdikleri zararlar nedeniyle bilim dünyasını alternatif enerji kaynakları bulma arayışına itmiştir [1]. Ayrıca yaşanan savaşlar nedeniyle enerjide dışa bağımlı olan ülkelerde artan enerji fiyatları hükümetleri zor durumda bırakmaktadır. Bu durum enerjide dışa bağımlı ülkelerde hükümetlerin alacakları siyasi, ekonomik ve askeri alanlardaki kararlarını etkilemektedir.

Günümüzde fosil yakıtların yerini belirli oranda güneş, rüzgâr, dalga enerjisi v.b. yenilenebilir enerji kaynakları almaktadır. Güneşin sonsuz ve bedava yakıtı, çevreye zarar vermeyişi gibi etkenlerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisini oldukça cazip hale getirmiştir [2]. Artan enerji

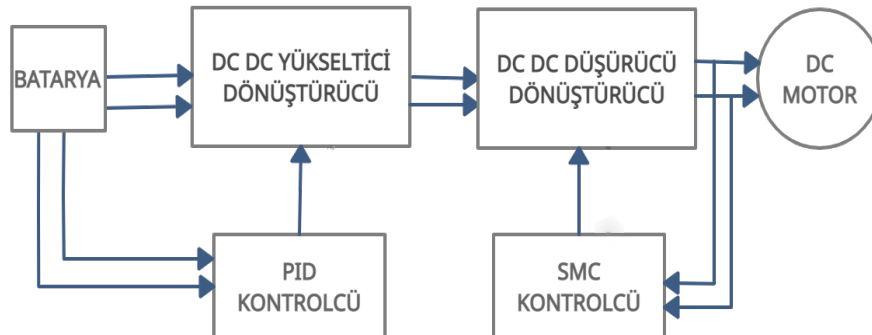
maliyeti nedeniyle sanayiden tutun da evde kullanılan elektriğe kadar birçok alanda solar enerji (fotovoltaik) sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Solar (PV) enerji dediğimiz sistemler, PV panel ve güç devre elemanları vasıtasıyla, güneş ışınımının elektrik enerjine dönüştürme çalışmasına dayanır [3]. PV panellerden üretilen elektrik enerjisi sıcaklık ve ışımaya bağlı olarak değişmektedir. Güneşten gelen ışınlar doğrusal olmadığından üretilen güç ve akım değerleri de doğrusal değildir. Farklı ışımaya ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak farklı yüksek değerlerde güç elde edilmektedir [4]. Bu elde edilen yüksek güç değerine o sistemin maksimum güç noktası(MPP) denir. PV panelin çıkışında olabilecek en yüksek güç değerini elde etmek için literatürde birçok MPP izleyici (MPPT) algoritması tasarlanmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde değiştir-gözle, artımlı iletkenlik gibi klasik algoritmalar yanında, biraz daha karmaşık olan bulanık mantık, parçacık sürüsü optimizasyonu ve karınca kolonisi gibi akıllı algoritmalar geliştirilmiştir [3].

Bir PV enerji sistemi; PV panel, DC-DC dönüştürücü, MPPT kontrol, çıkış yükü ve ihtiyaca göre batarya bileşenlerinden oluşmaktadır [4]. Bu çalışmada PV panellerden üretilen DC gerilim DC-DC yükseltici dönüştürücü ile yükseltilecek çıkış yükü/Lityum-iyon batarya beslenmiştir. DC yükseltici dönüştürücü kontrolü için YSA bloğu kullanılmıştır. Tasarımda kullanılan YSA bloğu, PV panel dizisi ile aynı karakteristik özellikte tasarlanan PV panel verileri ile eğitildi. Eğitilen YSA bloğu test edilerek eğitim ve test sonuçları karşılaştırıldı. Çıkan sonuçlara göre algoritmanın yüksek güvenilirlikle çalıştığı gözlemlenmiştir. Şekil 1’de PV sistemin blok şeması gösterilmektedir.



Şekil 1. PV kaynak boost dönüştürücülü yapay sinir ağları mppt algoritma kontrollü batarya şarj ünitesi

Şekil 2’de blok şeması gösterilen, ikinci kısımda şarj edilen batarya gerilimi, PID denetleyici kullanarak artırıcı dönüştürücü ile yükseltilmiş daha sonra kayma kipli (SMC) kontrolcü ile azaltıcı (buck) dönüştürücü kullanılarak DC motor beslenmesi için sabit gerilim üretilmiştir. SMC kontrolcünün dış bozuculardan diğer kontrolcülere oranla etkilenmediği, sağlamlığı test edilmiş, hedeflenen gerilim değerleri elde edilerek çıkan sonuçlara göre yüksek güvenilirlikle çalıştığı gözlemlenmiştir. Sistem tasarımı matlab/simulink ortamında gerçekleştirilmiştir.

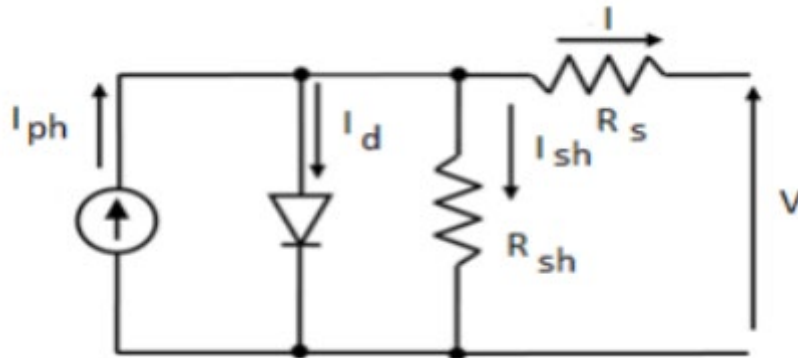


Şekil 2. PID ve SMC kontrollü, Buck ve Boost dönüştürücüleriyle DC motor Batarya besleme ünitesi

Literatürde PV sistem ile batarya şarj edilmesi çalışmaları daha önce farklı MPPT algoritmalarıyla (değiştir-gözle, artımlı iletkenlik, bulanık mantık) yapılmıştır [3]. Bu çalışmada daha önceki çalışmalardan farklı, iyi sonuçlar veren kontrol metotları geliştirilmiştir. Çalışmada kullanılan iyi eğitilmiş akıllı algoritmalarından YSA MPPT algoritması ve DC DC dönüştürücü kontrolü için yüksek güvenilirlikle çalışan SMC kontrol metotlarıyla sistemin tasarımını, önceki tasarım çalışmalardan özgün kılmıştır. Tasarımda, giriş geriliminin verimli bir şekilde artırmak ve çıkışta sabit akım ve gerilim değeri elde etmek için iki ayrı dönüştürücü kullanılmıştır. PV panel verimini artırmak için, üretilen panel geriliminin yükseltilmesi gerektiğinden, panel çıkışında Boost dönüştürücü tercih edilmiştir. Yükseltilecek gerilim değerinin motorun uygun çalışma gerilim seviyesine indirilmesi için Buck dönüştürücü kullanılmıştır. Literatürde gerilim değerini ihtiyaca göre hem yükselten hem de düşürebilen yükseltici-düşürücü (Buck-Boost), flyback, sepic gibi dönüştürücüler olmasına rağmen dezavantajlarından dolayı bu sistem tasarımında tercih edilmemiştir. Buck-Boost dönüştürücü giriş-çıkış gerilim polaritesini değiştirdiğinden, flyback dönüştürücü düşük güçlü devrelerde kullanıldığından bu tasarım için uygun görülmedi [5]. Sepic dönüştürücü devre eleman sayısının fazla olması ve asıl amacının bir gerilim yükseltici ve gerilimin polaritesini değiştiren dönüştürücü olması nedeniyle tercih edilmemiştir [6].

2. GÜNEŞ HÜCRESİ VE PV PANEL (SOLAR CELL AND PV PANEL)

PV paneller güneş ışığını elektrik enerjine dönüştürmeye yarayan yapılardır. Bunu yapılarında bulunan p-n yarı iletken malzemelerden yapılmış solar hücreler ile yapmaktadır. Yarı iletken malzemelere gelen güneş ışınları oluşan fotovoltajik etki sonucu elektrik enerjisi ortaya çıkmaktadır. Şekil 4, Solar hücreler bir araya gelerek PV panelleri, Paneller seri ve paralel birbirine bağlanarak PV dizileri oluşturmuştur. Şekil 3’de solar hücrenin eşdeğer devresi gösterilmiştir [3].



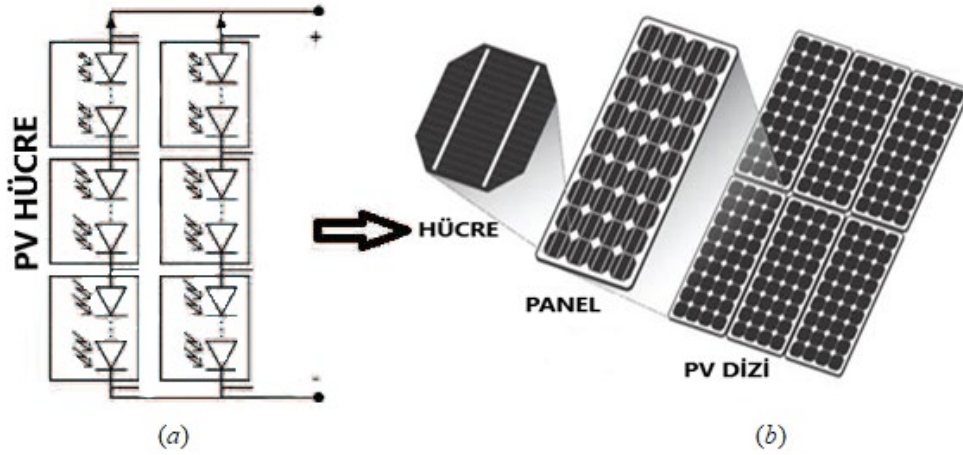
Şekil 3. Solar hücre eşdeğer devresi

$$I = I_{ph} - I_D - I_{sh} \quad 2.1$$

$$I_D = I_o x \left(e^{\frac{q(V+IR_s)}{nKT}} - 1 \right) \quad 2.2$$

$$I = I_{ph} - I_o x \left(e^{\frac{q(V+IR_s)}{nKT}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad 2.3$$

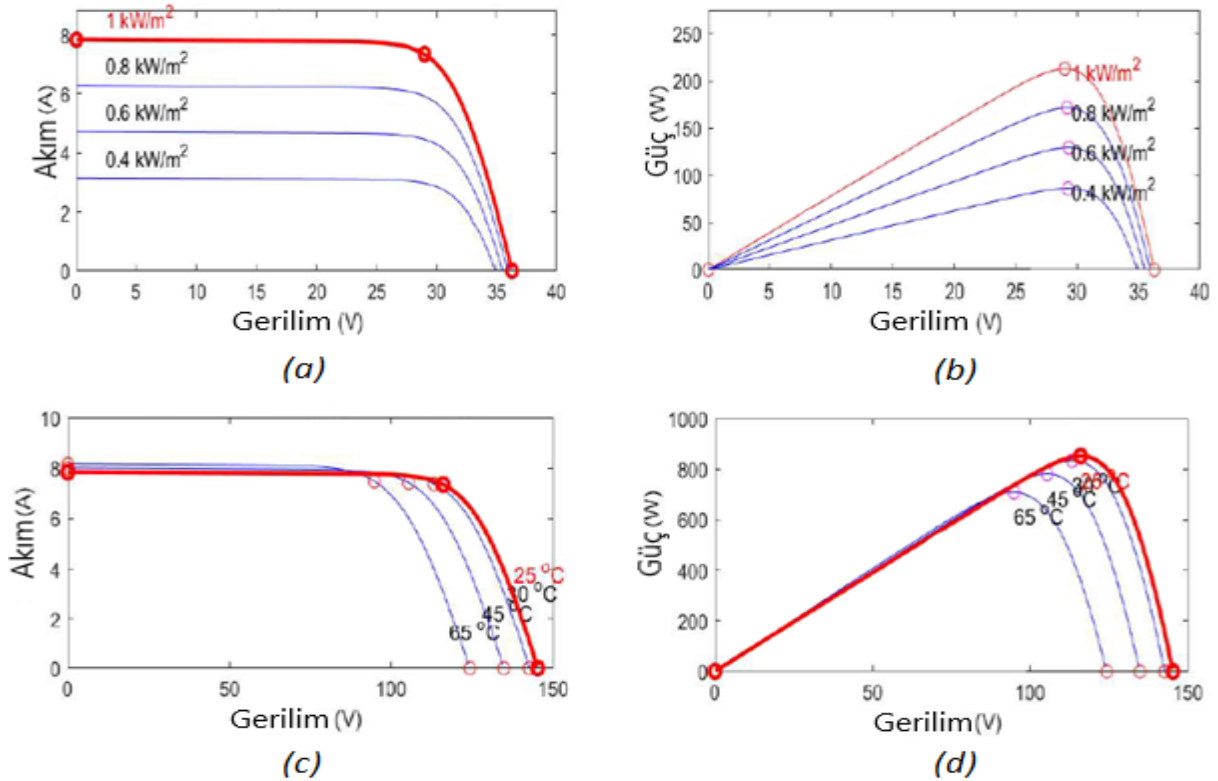
I_{ph} üretilen akım, I_o diyot satürasyon akımı, q elektron yükü, K Boltzmann Sabiti (1.38×10^{-23}), I_{PV} çıkış akımı, V hücre çıkış gerilimi, hücrenin R_s seri ve R_{sh} paralel direnci ifade etmektedir. [7]



Şekil 4. PV hücre (a) PV panel-dizi (b)

Şekil 5’de maksimum güç noktasındaki değişen ışınım ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak PV panelin akım-gerilim ve güç- gerilim karakteristik eğrileri MATLAB/Simulink ortamında çıkarılmıştır. Şekil 5 (a)’da sabit 25°C sıcaklık değeri altında, ($1000\text{W}/\text{m}^2$, $400\text{W}/\text{m}^2$) ışınım değerleri arasında değişen PV Voltaj-Akım eğrisi, (b)’de sabit 25°C sıcaklık değeri altında, ($1000\text{W}/\text{m}^2$, $400\text{W}/\text{m}^2$) ışınım değerleri arasında değişen PV Voltaj-Güç eğrisi, (c)’de sabit $1000\text{W}/\text{m}^2$ ışınım (65°C , 25°C) arasında değişen sıcaklık değerleri altında PV Voltaj-Akım eğrisi, (d)’de sabit $1000\text{W}/\text{m}^2$ ışınım (65°C , 25°C) arasında değişen sıcaklık değerleri altında PV Voltaj-Güç eğrileri gösterilmiştir.

Çıkan sonuçlara göre her ışınım ve sıcaklık değeri karşılık sadece bir maksimum güç noktası bulunmaktadır.



Şekil 5. PV Voltaj-Akım eğrisi sıcaklık sabit 25°C ($1000\text{W}/\text{m}^2$, $400\text{W}/\text{m}^2$) (a); PV Voltaj-Güç eğrisi sıcaklık sabit 25°C ($1000\text{W}/\text{m}^2$, $400\text{W}/\text{m}^2$) (b); PV Voltaj-Akım eğrisi ışınım sabit $1000\text{W}/\text{m}^2$ (65°C , 25°C) (c); PV Voltaj-Güç eğrisi ışınım sabit $1000\text{W}/\text{m}^2$ (65°C , 25°C) (d).

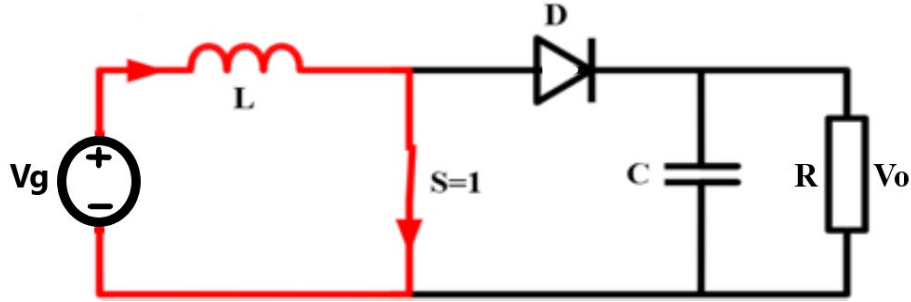
3. PV SİSTEM TASARIMINDA KULLANILAN DC DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER (DC DC CONVERTERS USED IN DESIGN OF THE PV SYSTEM)

Bu bölümde tasarımda kullanılan dönüştürücülerin işlevlerinden kısaca bahsedilmiştir. Giriş çıkış gerilimine bağlı görev döngüsü ve görev döngüsüne bağlı sistemin iletim ve kesimde kalma sürelerinin hesaplamaları verilmiştir.

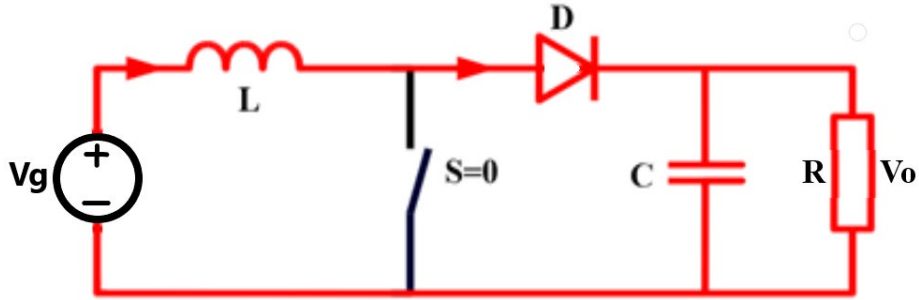
A. DC DC YÜKSELTİCİ DÖNÜŞTÜRÜCÜ (DC DC BOOST CONVERTER)

DC-DC yükseltici (Boost) dönüştürücüler, giriş DC gerilimini çıkışta istenilen oranda artıran DC gerilim kısıyıcılarıdır. Şekil 6'da görülen Boost dönüştürücü anahtarlama elemanı kapalı konumda iken indüktans üzerinden geçen akım indüktans üzerinde elektromanyetik bir gerilim oluşturur. Şekil 7'de anahtar açık konuma geçinde oluşan indüktans gerilimi ile giriş geriliminin toplamı çıkış yükü için bir akım üreten kaynağa dönüşür. PWM sinyali ile Mosfet anahtarlama elemanının açık-kapalı konumuna göre çıkışta istenilen değerde gerilim elde edilir. Devre sürekli modunda çalıştırılacaktır(CCM) [8].

V_g giriş gerilimini (V_{pv}), V_o çıkış gerilimi, T periyot, D görev döngüsünü ifade etmektedir.



Şekil 6. Boost dönüştürücü anahtar iletim durumu



Şekil 7. Boost dönüştürücü anahtar kesim durumu

$$\Delta_{iL} = \frac{1}{L} V_g D T = \frac{1}{L} (V_o - V_g) (1 - D) T \quad 3.1$$

$$\frac{V_o}{V_g} = \frac{1}{1 - D} \quad 3.2$$

$$T = t_{iletim} + t_{kesim} \quad 3.3$$

$$t_{iletim} = D T \quad 3.4$$

$$t_{kesim} = (1-D)T$$

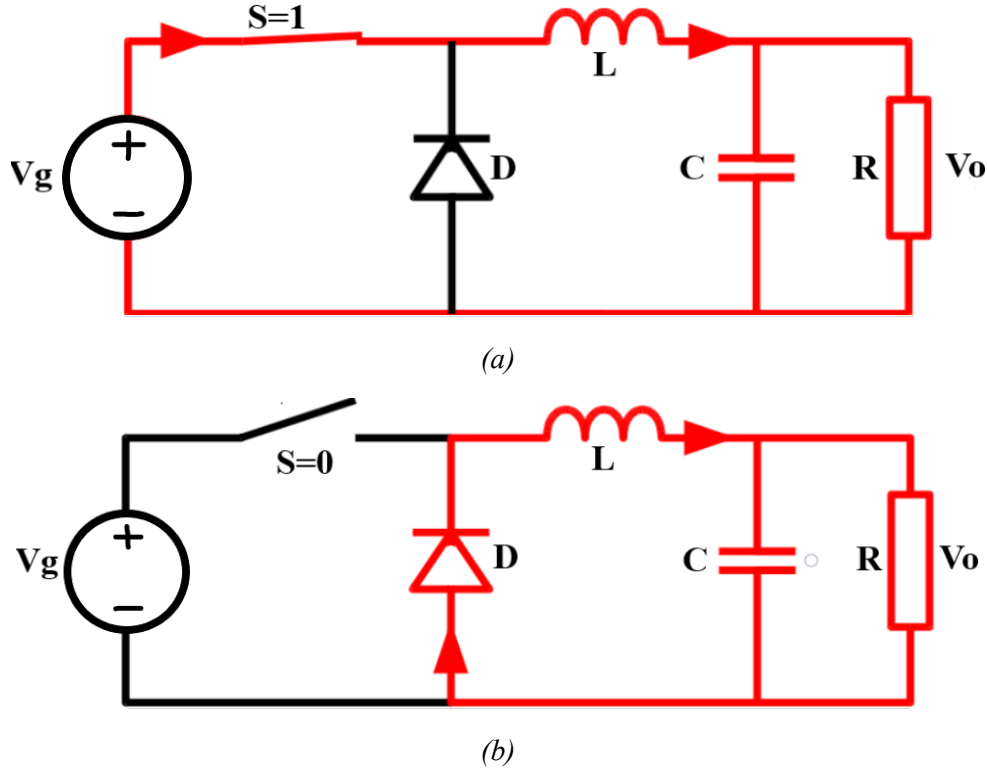
3.5

Bu çalışmada boost dönüştürücü şekil 17'de matlab/simulink ortamında tasarımı yapılan, PV sistem panel geriliminin yükseltilmesinde kullanılmıştır.

B. DC DC DÜŞÜRÜCÜ DÖNÜŞTÜRÜCÜ (DC DC BUCK CONVERTER)

DC-DC düşürücü(Buck) dönüştürücüler giriş DC gerilimini çıkışta istenilen oranda azaltan DC gerilim kısıyıcılarıdır. Şekil 8'de görülen Buck dönüştürücüler anahtarlama elemanı açık kapalı olma durumuna göre değişen indüktans akımına karşın oluşan zıt elektromanyetik indüktans gerilimi, giriş gerilimini zorlaması ile çıkışta istenilen değerde gerilim elde edilmesini sağlar. Devre sürekli durumda çalıştırılacaktır. (CCM) [9].

V_g giriş gerilimini, V_o çıkış gerilimi, T periyot, D görev döngüsünü ifade etmektedir.



Şekil 8. Buck dönüştürücü anahtar iletim durumu (a), anahtar kesim durumu (b)

$$\Delta_{iL} = \frac{1}{L}(V_g - V_o)DT = \frac{1}{L}V_o(1-D)T \quad 3.6$$

$$\frac{V_o}{V_g} = D \quad 3.7$$

$$T = t_{iletim} + t_{kesim} \quad 3.8$$

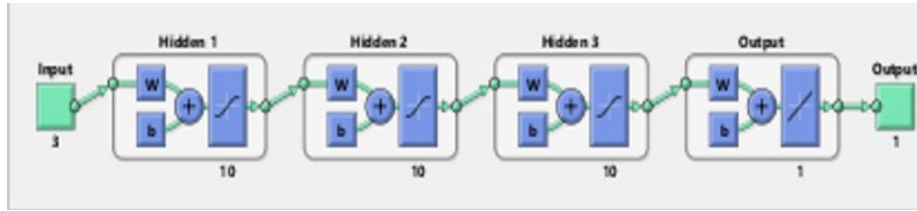
$$t_{iletim} = DT \quad 3.9$$

$$t_{kesim} = (1 - D)T \quad 3.10$$

Buck dönüştürücü şekil 21 ve şekil 22’de tasarımı yapılan SMC kontrollü DC motor besleme devresinde kullanılmıştır.

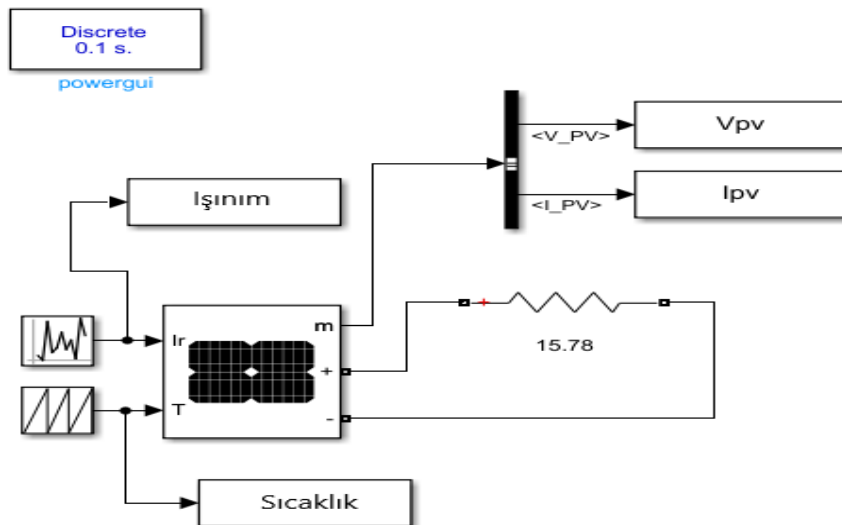
4. ÇALIŞMADA KULLANILAN YAPAY SİNİR AĞLARI MPPT ALGORİTMASININ TASARLANMASI (DESIGNING THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS MPPT ALGORITHM USED IN THE STUDY)

İnsan beyni daha önce deneyimlediği bir durum karşısında olası tahminlerde rahatlıkla bulunabilir. Basit bir örnek vermek gerekirse bir doktorun almış olduğu eğitim sonucu herhangi bir hastalığın belirtilerine ve hastanın tahlil sonuçlarına göre karşılaştırma yaparak yüksek doğrulukta hastalığa teşhis koyabilmektedir. YSA biyolojik sinir ağını taklit eden sistemlerdir. Örneğin herhangi bir coğrafi bölgenin geçmiş hava durumu verileri ile eğitilen YSA ile gelecekteki hava tahminleri alınabilir. Bu çalışmada PV sistem tasarımında kullanılan DC DC dönüştürücü kontrolü için maksimum güç gerilim tahmininde bulunacak YSA MPPT akıllı algoritması tasarlanmıştır. YSA bloğu şekil 9’da girişlerin her biri 10 nöronlu (I_r) ışınım, (T) sıcaklık ve (I_{ysa}) akım olan toplam 30 nöronlu 3 gizli katmandan oluşmakta olup, çıkışta tek nöronlu (V_{ysa}) gerilim elde edilmiştir [10].



Şekil 9. Sinir Ağı

Bu çalışmada kullanılacak veriler, zamanla değişen ışınım ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak bir pv panel simule edilerek çıkışta akım ve gerilim değerleri elde edilmiştir. PV sistem 4 panelin seri bağlantısından elde edilmiştir. Sıcaklık (45°C, 25°C) ve ışınım (1000W/m², 800 W/m²) weber arası değişen değerlerde alındı.0-100 sn arasında değişen 1001 tane akım ve gerilim değeri elde edilmiştir. Şekil 10’da matlab/simulikte tasarlanan veri seti için PV panel tasarımı gösterilmiştir.



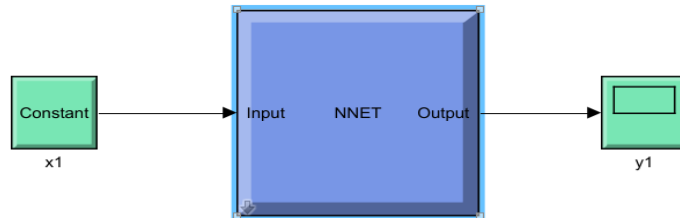
Şekil 10. PV panel tasarımı

Tablo 1’de üretilen 1001 adet verinin ilk yirmi üç satırı listelenmiştir.

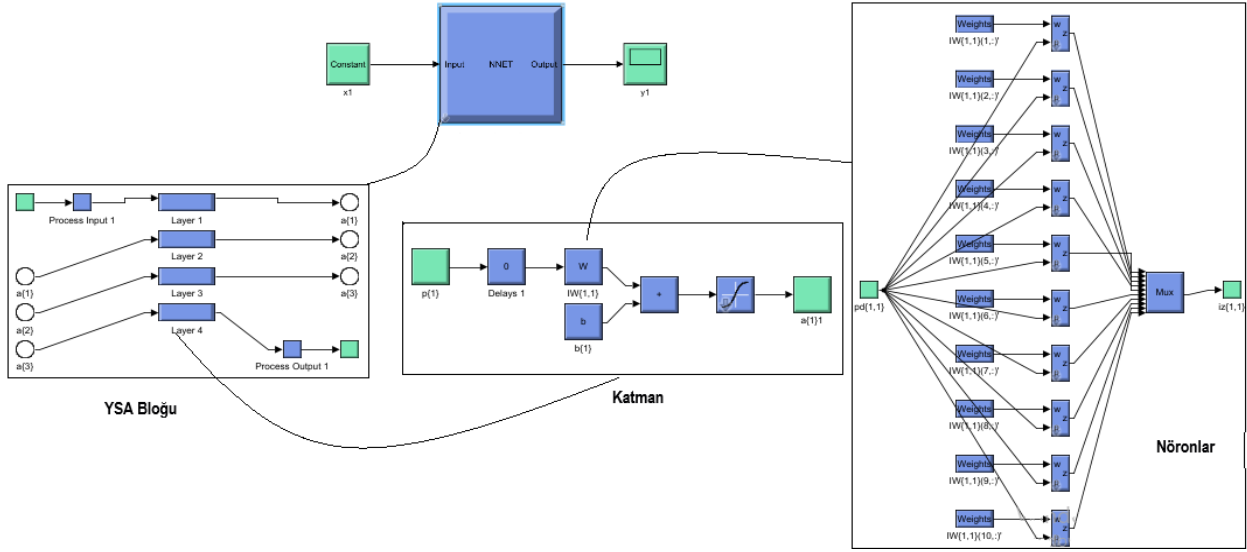
Tablo 1. Panel Veri dosyası

SAYI	IŞINIM	SICAKLIK	PV AKIMI(I _{pv})	PV GERİLİMİ(V _{out})
1	843,7918	25	6,632164371	104,6555538
2	809,4089	25,01	6,235508702	98,39632731
3	935,7729	25,02	7,272513373	114,760261
4	935,8593	25,03	6,929951058	109,3546277
5	986,9386	25,04	7,546357397	119,0815197
6	876,7004	25,05	6,052911504	95,51494353
7	903,8833	25,06	7,02538682	110,860604
8	966,1931	25,07	7,345217369	115,9075301
9	806,9144	25,08	5,832614281	92,03865335
10	810,6923	25,09	6,305989598	99,50851586
11	905,94	25,1	7,033717304	110,9920591
12	934,2299	25,11	7,08925892	111,8685058
13	801,5396	25,12	6,013073857	94,88630546
14	876,6831	25,13	6,819821084	107,6167767
15	813,3684	25,14	6,222881721	98,19707356
16	883,4972	25,15	6,86270609	108,2935021
17	937,3545	25,16	7,184175117	113,3662833
18	917,7953	25,17	6,861676312	108,2772522
19	986,0873	25,18	7,564280814	119,3643512
20	969,2334	25,19	6,731677359	106,2258687
21	905,3858	25,2	6,959368493	109,8188348
22	818,393	25,21	6,211738348	98,02123113
23	930,7838	25,22	7,235044206	114,1689976

YSA eğitimi ve testi için elde edilen 1001 verinin yarısı eğitim diğer yarısı sistemin test edilmesinde kullanıldı. PV sistemin ışıma, sıcaklık girişlerine bağlı akım ve gerilim çıkışları tanıtılacak. Bu sayede ışıma, sıcaklık ve akım değerine bağlı YSA bloğu, yüksek doğrulukta PV sistemin gerilim tahmininde bulunacaktır [10]. Şekil 11’de YSA bloğu, Şekil 12’de YSA bloğunun gizli katmanları, ağırlıkları, birbiriyile ilişkileri ve nöron detayları gösterilmiştir.

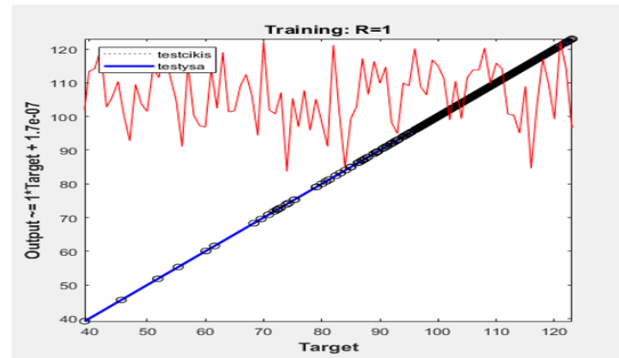
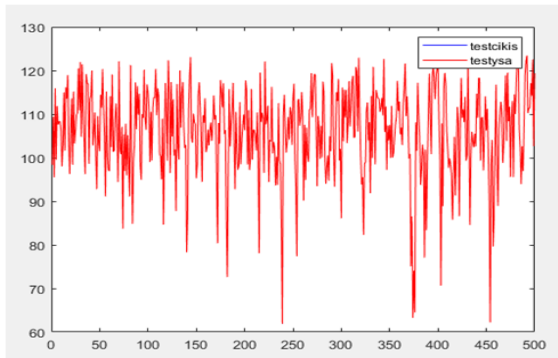


Şekil 11. YSA Bloğu



Şekil 12. YSA Bloğu Gizli Katmanlar Detay

Şekil 13’de YSA Eğitim ve Çıkış Gerilim Tahmin Sonuçları gösterilmiştir. Çıkan sonuçlara göre eğitilen YSA bloğu gerilimi ile test sonuçları birebir uyuşmaktadır. Bu sonuçlar YSA’ nın çok iyi eğitildiğini göstermektedir.



Şekil 13. YSA Eğitim ve Çıkış Gerilim Tahmin Sonuçları

5. MPPT YAPAY SİNİR AĞLARI ALGORİTMASI İLE BATARYA ŞARJ AMAÇLI PV SİSTEM TASARIMI VE SİMÜLASYON SONUÇLARI (PV SYSTEM DESIGN AND SIMULATION RESULTS FOR BATTERY CHARGING WITH MPPT ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS ALGORITHM)

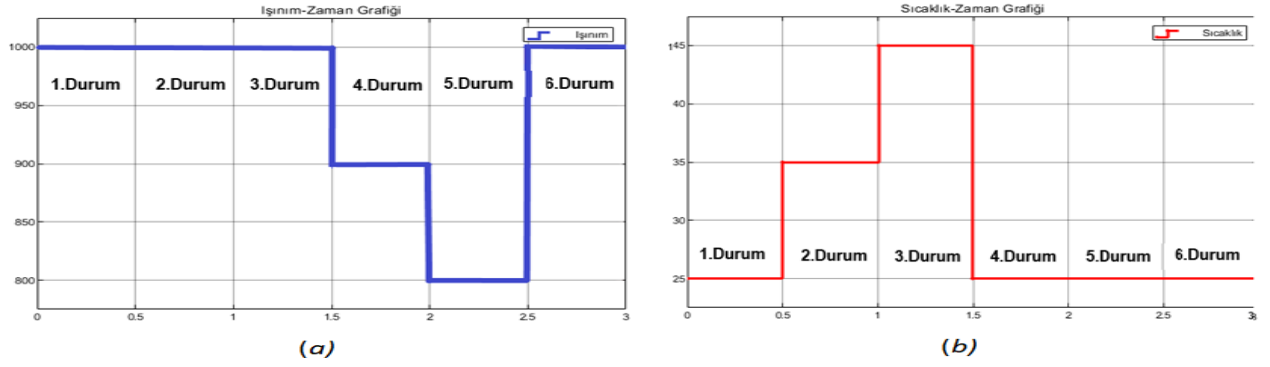
Bu bölümde batarya şarj amaçlı PV sistem tasarımı anlatılmıştır. Lityum-iyon bataryanın şarj edilmesi için 4 panel seri bağlanarak bir PV dizin oluşturulmuştur. Panel çıkışında üretilen DC gerilim YSA MPPT algoritması ve PI kontrolcü yardımıyla üretilen gerilimin iki kat olması istenmiştir. Tasarımda boost dönüştürücü kullanılmıştır. Kullanılan PI kontrol parametreleri manuel ayarlanmıştır. PV sistem tasarımının gerilim ve maksimum güç değerleri aşağıda belirtilen 6 farklı sıcaklık ve ışınım durumları ile elde edilmiştir. Sıcaklık değerleri (25°C, 45°C) arasında, ışınım değerleri (1000W/m², 800W/m²) arasında alınmıştır.

- 1.Durum: sıcaklık 25°C, ışınım 1000W/m²
- 2.Durum: sıcaklık 35°C, ışınım 1000W/m²
- 3.Durum: sıcaklık 45°C, ışınım 1000W/m²
- 4.Durum: sıcaklık 25°C, ışınım 900W/m²

5.Durum: sıcaklık 25°C , ışınım $800\text{W}/\text{m}^2$

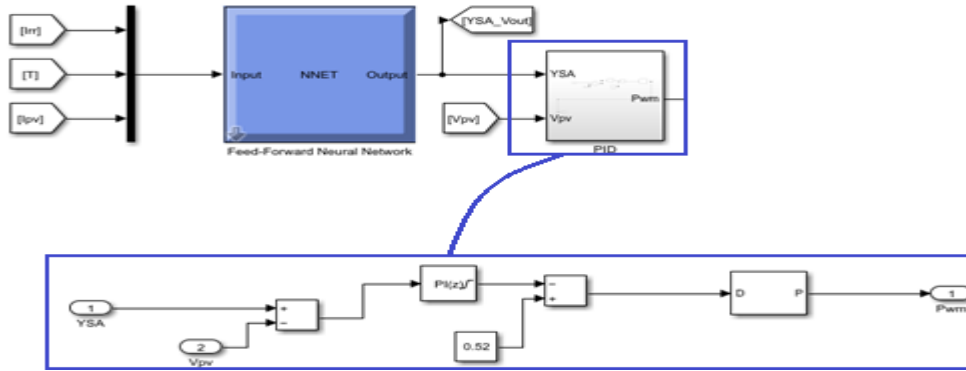
6.Durum: sıcaklık 25°C , ışınım $1000\text{W}/\text{m}^2$

Şekil 14’de Sıcaklık-Zaman ve Işınım-Zaman grafikleri verilmiştir.



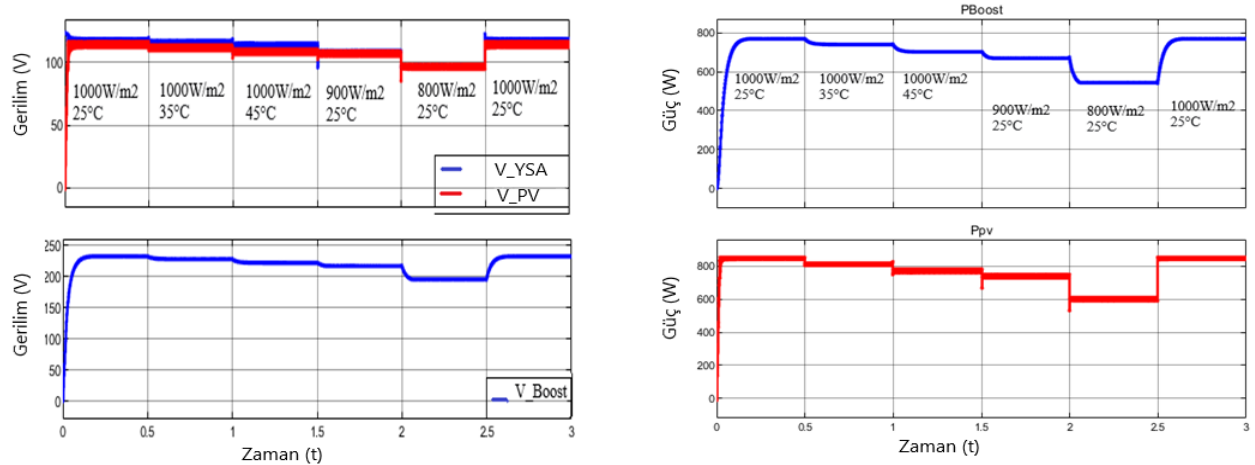
Şekil 14. Işınım- Zaman Grafiği (a); Sıcaklık-Zaman Grafiği (b)

Şekil 15’de D görev döngüsü 0,52 alınarak PV sistemin gerilimi Boost dönüştürücü ve kontrolcü yardımıyla iki katına çıkarılmıştır.



Şekil 15. YSA PI Blok Gösterimi

Şekilde 16’da YSA ve PV Panel ile Boost dönüştürücünün gerilim ve güç değerleri belirtilen durumlar ışıdığıında elde edilmiştir. PV sistemde elde edilen gerilim değeri YSA bloğunun çıkışıyla yüksek doğrulukla örtüşmekte iken, istenilen değerde boost dönüştürücü çıkışında gerilim iki katına çıkarılmıştır. Güç değerleri ise birbirini izleyen iyi sonuçlar vermiştir.



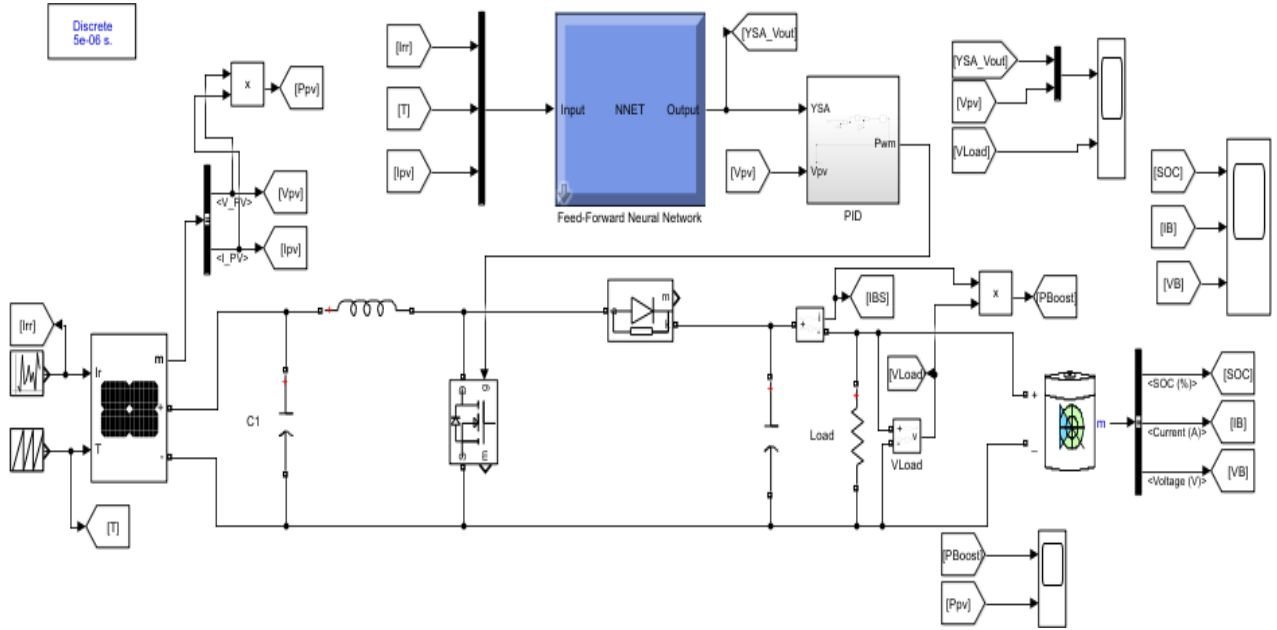
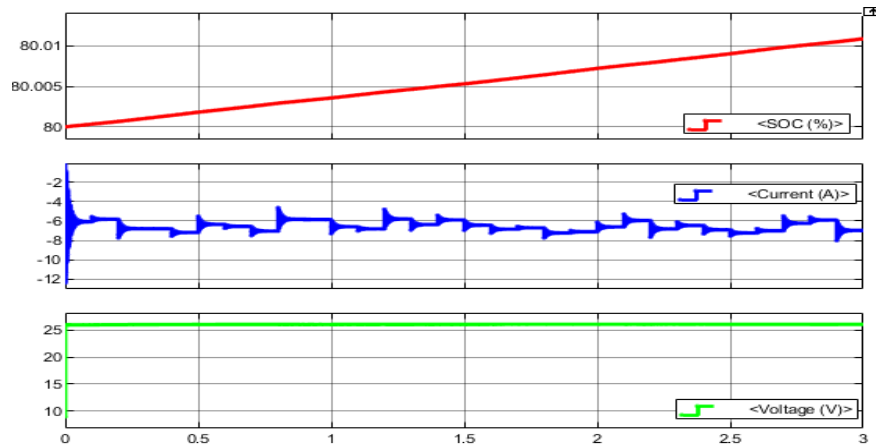
Şekil 16. YSA, PV Panel, Boost Dönüştürücü Çıkış Gerilim ve Güç- Zaman Grafiği

Tablo 2’de sıcaklık ve ışınım durumlarına bağlı olarak elde edilen gerilim ve güç değerlerin sayısal verileri paylaşılmıştır. Bu tabloya göre en iyi sonuçlar 25°C sıcaklı, 1000W/m² ışınım elde edilmiştir.

Tablo 2. Değişken Durumlar için YSA, PV Panel ve Boost Dönüştürücü Güç ve gerilim değerleri

DURUM	SICAKLIK, IŞINIM	Pboost	Ppv	Vysa	Vpv	Vboost
1.Durum	25°C, 1000W/m ²	770w	850w	118V	116V	232V
2.Durum	35°C, 1000W/m ²	740w	800w	116V	113V	227V
3.Durum	45°C, 1000W/m ²	700w	770w	114V	110V	221V
4.Durum	25°C, 900W/m ²	670w	740w	110V	108V	216V
5.Durum	25°C, 800W/m ²	545w	600w	97V	97V	195V
6.Durum	25°C, 1000W/m ²	770W	850W	118V	116V	232V

Şekil 17’de PV sistemin matlab/simulink ortamında tasarımı gösterilmiştir. Sistemin çıkışında batarya şarj edilmiştir. Şekil 18’de lityum iyon bataryanın şarj durumu akım gerilim ve SOC grafiklerini gösterilmektedir.

**Şekil 17.** YSA ile Batarya beslemeli PV sistemin Matlab/simulink ortamında tasarımı**Şekil 18.** Batarya şarj durumu SOC(%), Akım ve Gerilim- zaman grafiği

Tablo 3' de PV sistem tasarımında kullanılan hesaplanmış tüm uygun değer parametreler listelenmiştir.

Tablo 3. YSA, PV Panel ve Boost Dönüştürücü Güç ve gerilim değerleri

Sembol	Değer
Vg	110V
Vo	230V
C1	470 μ F
C2	26 μ F
L	93.6 μ H
R	50 Ω
F	40kHz
D	0.52
Dvo/Vo (dalgalanma)	1%
Kp	1000
Ki	0.05
Kd	0.001
Açık devre gerilimi Voc (V)	36.3(V)
Kısa devre akımı Isc (A)	7.84 (A)
Maksimum güç gerilimi Vmp (V)	29(V)
Maksimum güç akımı Imp (A)	7.35(A)
(Ncell)	60
Pmax (W)	213.15(W)

6. KAYAN KIPLİ KONTROL (SLIDING MODE CONTROL)

Kayan mod kontrol (SMC), sistem tasarımda olan belirsizliklere ve bozululara karşı dayanıklı bir kontrol sistemidir [11]. Bu özellikleri gereği doğrusal olmayan dinamik sistemlerde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. PV sistem değişen ışığa ve sıcaklık değerlerinden dolayı süreklilik arz etmemektedir. Kontrolcünün bilinen sıkıntısı, çatırdama dediğimiz doğrusal olmayan sistemlerde yüksek frekanslarda meydana gelen dalgalanmadır. Bu sorun temelde sistemin matematiksel olarak modellenemeyen belirsizliklerden kaynaklanmaktadır. [12].

Kayan mod kontrol, n boyutlu çok değişkenli bir sistemi bir boyutlu parçalara indirgeyerek sistemin çıkışında elde etmek istediğimiz değer belirlenmiş olduğumuz referans değerine yakınsamasını sağlamaktır. SMC iki bileşenden oluşmaktadır [13];

- Kayma yüzeyinin belirlenmesi,
- Kontrolcünün tasarlanması.

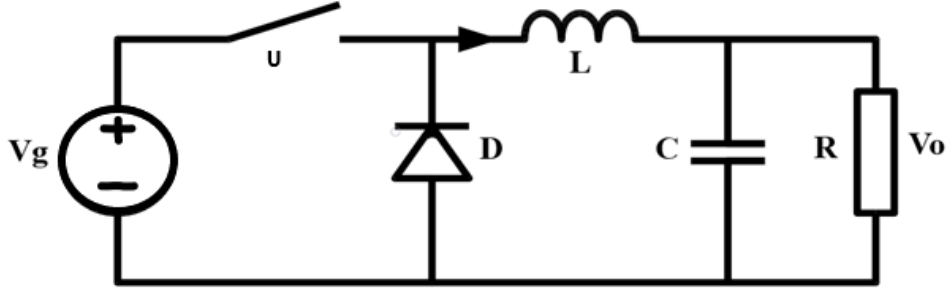
Bu bölümde Buck dönüştürücü kontrolü için SMC tasarımı yapılacaktır. Buck dönüştürücü durum değişkenleri ile SMC davranışı ilişkilendirilerek bir kayar yüzey belirlenecek ve sistemin kararlılığını garanti edecek kayma şartı yerine getirilecektir.

A. Kayma Yüzeyin Belirlenmesi

SMC boost dönüştürücü çıkış gerilim değeri ile elde etmek istediğimiz buck dönüştürücü çıkış gerilim değeri arasındaki farkı hata olarak alacaktır. Buck dönüştürücünün zamanla değişen durum değişkenleri indüktans akımı (i_L) ve kapasitör gerilimidir (V_O).

$$x_1 = \text{Hata}, x_1 = V_{ref} - V_o$$

6.1



Şekil 19. Buck dönüştürücü

Buck dönüştürücü durum denklemleri;

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}(uV_g - V_o)$$

6.2

$$\frac{dV_o}{dt} = \frac{1}{C}\left(i_L - \frac{V_o}{R}\right)$$

6.3

Hatanın giriş-çıkış, akım ve gerilim değerlerine bağlı olarak zamanla değişen durum denklemleri;

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{u}{L} \\ 0 \end{pmatrix} V_g$$

6.4

\$S\$ kayma yüzeyi genelleştirilmiş denklemleri;

$$S(\tilde{X}, t) = \left(\frac{d}{dt} + \lambda\right)^{n-1} \tilde{X}$$

6.5

İki boyutlu sistem için \$n=2\$ alınacaktır. Bu durumda kayma yüzeyi denklemi [13];

$$S(\tilde{X}, t) = (D + \lambda)^{2-1} \tilde{X} = (D + \lambda) \tilde{X} = D\tilde{X} + \lambda\tilde{X}$$

6.6

$$S = \dot{\tilde{X}} + \lambda\tilde{X}$$

6.7

Buck dönüştürücü için SMC \$S\$ kayma yüzeyi;

$$S = Ax_1 + x_2$$

6.8

x_1 ve x_2 değerleri yerine yazılırsa;

$$S = \left(-\frac{1}{C}i_L + \frac{1}{RC}V_o \right) + A(V_{ref} - V_o) \quad 6.9$$

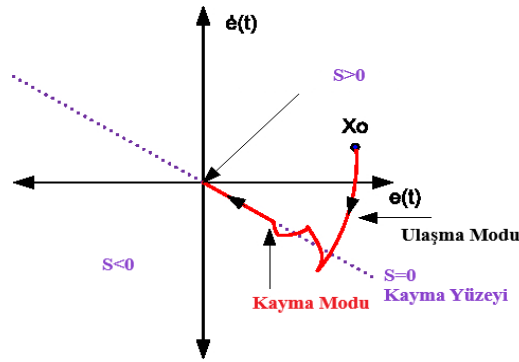
S kayma yüzeyi i_L , V_o ve referans V_{ref} gerilimine göre düzenlenirse;

$$\dot{S} = -\frac{1}{C}i_L + \left(\frac{1}{RC} - A \right) V_o + AV_{ref} \quad 6.10$$

Dikkat edecek olursak yüzeyle ulaşma modunda giriş geriliminin doğrudan bir etkisi yoktur. Bu bize kayan mod kontrolün bozucu ve hesap edilemeyen parametrelerden az etkilendiğini, eldeki verilerle ulaşmak istenilen değerlere bir şekilde ulaştığını göstermektedir.

B. Kayma Koşulunun Sağlanması

SMC kontrolde sistem kayma yüzeyine ulaştıktan sonra sistemin kararlılığı için kayma yüzeyi sınırlarında hareket şartının sağlanması gerekir. Buna kayma koşulu denir. Kontrol şartının sağlanması için kayma koşulunun sağlanması gerekir [14].



Şekil 20. SMC Kayma Yüzey Grafiği

Kayma yüzeyinin birinci türevi alınarak kayma koşulu denklemleri elde edilir [11].

\dot{S} kayma yüzeyi;

$$\dot{S} = \frac{dS}{dt} \quad 6.11$$

$$\dot{S} = -\frac{1}{C} \frac{di_L}{dt} + \left(\frac{1}{RC} - A \right) \frac{dV_o}{dt} \quad 6.12$$

Parametreler yerine yazılırsa sistemin giriş gerilimine ulaşılmış olur [12];

$$\dot{S} = -\frac{1}{LC} (uV_g - V_o) + \left(\frac{1}{RC} - A \right) \left(\frac{i_L}{C} - \frac{V_o}{RC} \right) \quad 6.13$$

Kayma yüzeyi indüktans akımı (i_L), çıkış gerilimi (V_o) ve giriş gerilimine bağlı düzenlenirse;

$$\dot{S} = \left(\frac{1-ARC}{RC^2} \right) i_L - \left(\frac{L-R^2C-ARCL}{R^2C^2L} \right) V_o - \frac{V_g}{LC} u \quad 6.14$$

Sistemim kayma yüzeyinde kalabilmesi için denklem 21'de belirtilen kayma yüzeyinin türevi sıfıra gitmelidir [13].

$$\dot{S} = 0 \Rightarrow \ddot{X} + \lambda \dot{X} = 0 \quad 6.15$$

$$\ddot{X} = -\lambda \dot{X} \quad 6.16$$

Ueq eşdeğer bileşen;

$$u_{eq} = \frac{L-ARCL}{RCV_g} i_L - \frac{L-R^2C-ARCL}{R^2CV_g} V_o \quad 6.17$$

Kontrol teorisinde Lyapunov fonksiyonu, dinamik sistemlerde kararlılık testi için kullanılır [15].

$$V = \frac{1}{2} S^2 \quad 6.18$$

Lyapunov denkleminin 1. türevinde sistemin çıktısı kararlılık testi için sıfıra yakınsaması gerekir [12].

$$\dot{V} = S\dot{S} = S \left(-\frac{V_g}{LC} u_n \right) < 0 \quad 6.19$$

Un doğrusal olmayan bileşen kayma yüzeyinin işaret fonksiyonuyla bulunur.

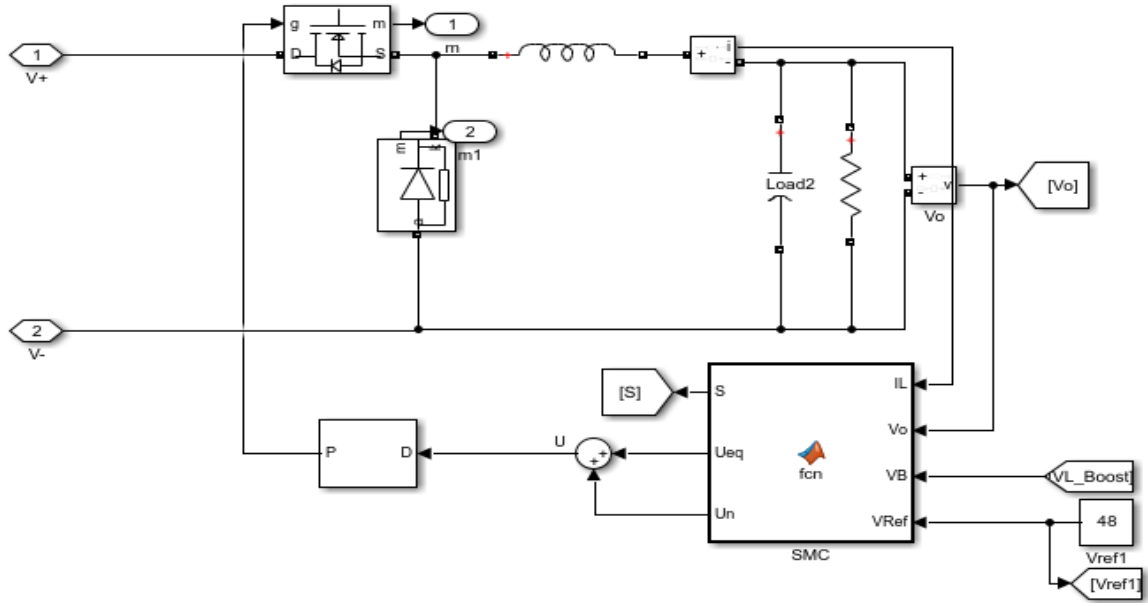
$$u_n = \sin g(S) \quad 6.20$$

$$u_n = \begin{cases} 1, & s > 0 \\ 0, & s = 0 \\ -1, & s < 0 \end{cases} \quad 6.21$$

Kontrolcü işareti U, (Un) doğrusal olmayan bileşen ile (Ueq) eşdeğer bileşenin toplamından hesaplanır [12].

$$U = u_{eq} + \sin g(S) \quad 6.22$$

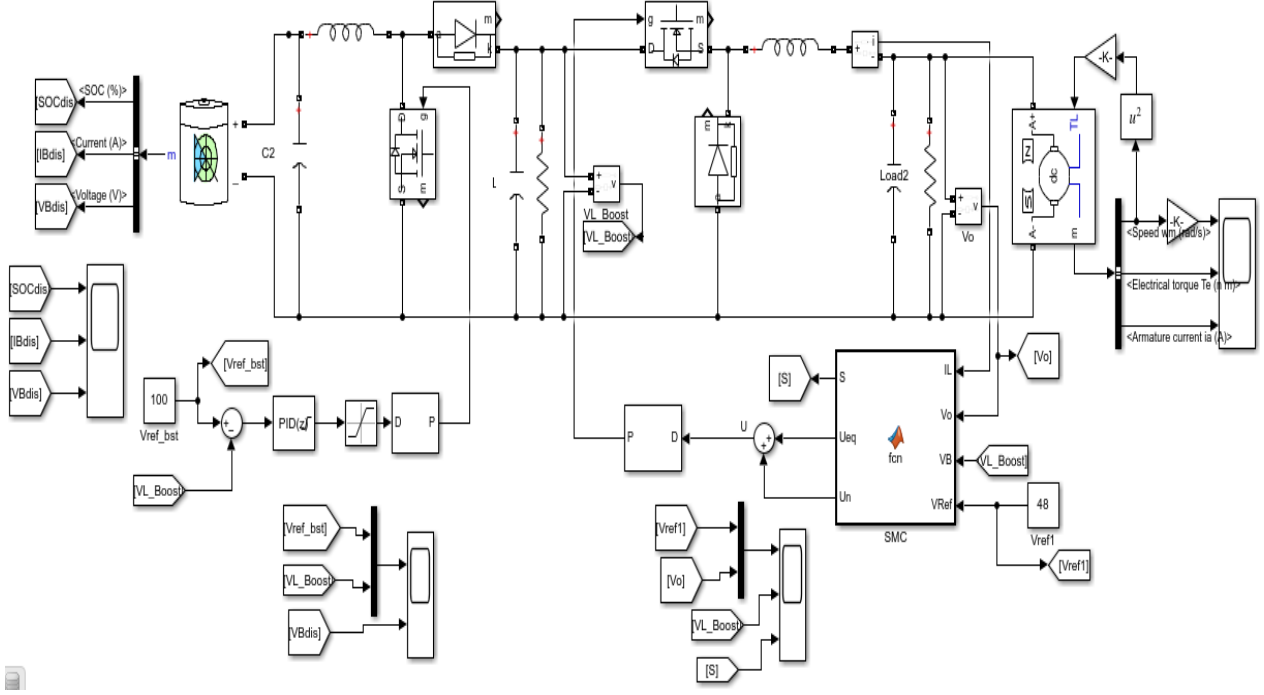
Şekil 21'de Buck dönüştürücü ve SMC matlab/simulink ortamında tasarımı gösterilmiştir



Şekil 21. Kayan mod kontrollü Buck dönüştürücü matlab/simulink tasarımı

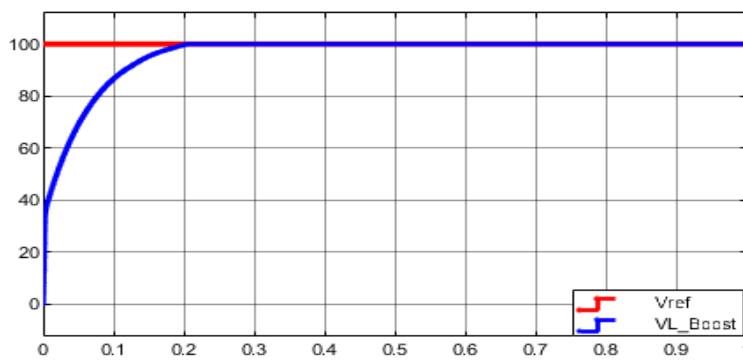
7.SMC VE PID KONTROL KULLANARAK MOTOR BESLEME AMAÇLI DC DC DÖNÜŞTÜRÜCÜ TASARIM GERÇEKLEŞMESİ VE SİMÜLASYON SONUÇLARI (DESIGN REALIZATION AND SIMULATION RESULTS OF DC DC CONVERTER FOR MOTOR SUPPLY USING SMC AND PID CONTROL)

Giriş kısmında belirtildiği gibi bu çalışmada DC motor besleme amaçlı tasarlanan PV sistem ile önce batarya şarj edildi daha sonra şarj edilen batarya ile DC motor beslenmiştir. Çalışmanın ilk aşaması olan PV sistem ile batarya şarj işlemi detayları 4. bölümde verildi. Bu bölümde ise SMC ve PID kontrol yardımıyla motor besleme amaçlı DC DC dönüştürücü kontrol tasarımı anlatılacaktır. Tasarımda güç kaynağı olarak batarya gerilimi önce PID kontrollü boost dönüştürücü yardımıyla yükseltildi, daha sonra motor besleme kaynağı uygun değer sabit akım ve gerilim elde etmek için SMC kontrol ile buck dönüştürücü kullanıldı. SMC tasarımı daha önceki bölümlerde anlatıldığı için tekrardan anlatılmayacaktır. Şekil 22’de SMC ve PID kontrollü matlab/simulink ortamında DC motor besleme devre tasarımı gösterilmiştir.



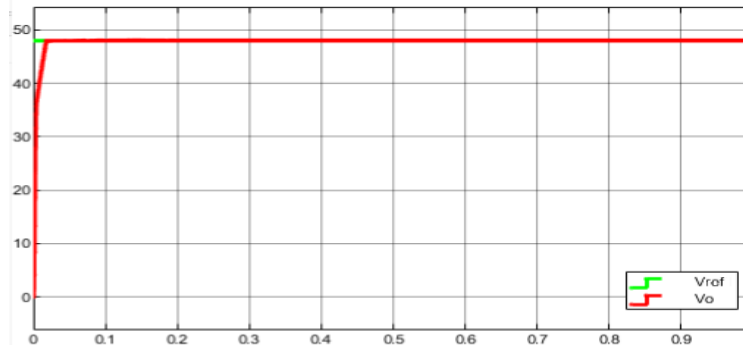
Şekil 22. PID, SMC Kontrollü Matlab/simülink Ortamında DC Motor Besleme Devresi Tasarımı

Boost dönüştürücü çıkış gerilimi için referans değer 100V seçildi, Şekil 23’de PID kontrol yardımıyla çıkış gerilimi 100V değerine ulaşmıştır.



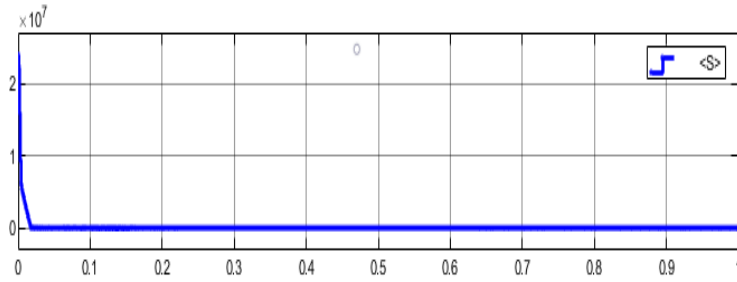
Şekil 23. Vref ile Boost Dönüştürücü Çıkış gerilimi- zaman grafiği

Buck dönüştürücü çıkış gerilimi için referans değer 48V seçildi, Şekil 24’de SMC kontrol yardımıyla kısa sürede çıkış gerilimi 48V değerine ulaşmıştır. Sistem çıkışının referans değerine kısa sürede yüksek güvenilirlikle ulaştığı gözlemlenmiştir.



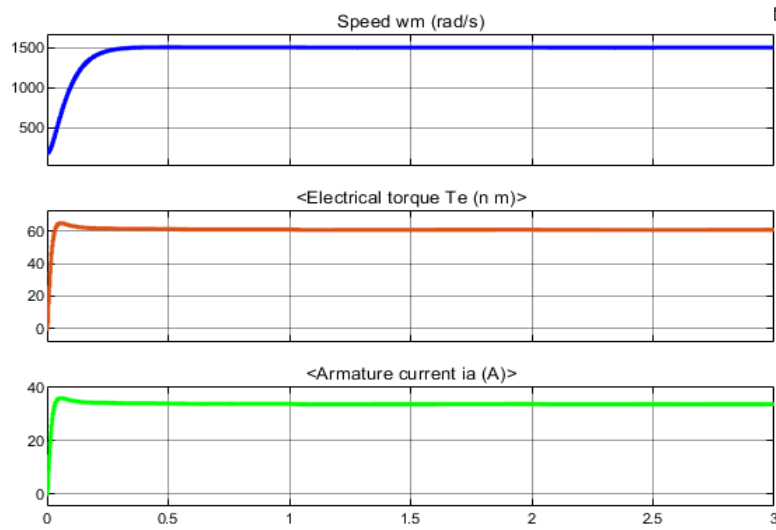
Şekil 24. Vref ile Buck Dönüştürücü Çıkış gerilimi- zaman grafiği

Şekil 25’de Kayma kipli kontrol şartı olan belirlenen kayma yüzeyinin sıfıra gelmesi ve çalışma süresinde sıfırda kalma şartı sağlanmıştır.



Şekil 25. S Kayma Yüzeyi- Zaman Grafiği

Şekil 26’da DC Motor Hız(ω_m), Tork (T_e), Akım(i_a) - Zaman Grafiği gösterilmiştir.



Şekil 26. DC Motor Hız(ω_m), Tork (T_e), Akım(i_a) - Zaman Grafiği

Tablo 4. Değerler Tablosu

Boost Dönüştürücü PID Kontrol Değerleri		Buck Dönüştürücü SMC Kontrol Değerleri	
Sembol	Değer	Sembol	Değer
V _g	24V	V _g	100V
V _o	100V	V _o	48V
V _{ref}	100V	V _{ref}	48V
C ₁	470 μ F	C	100 μ F
C ₂	50 μ F	L	81.25 μ H
L	34 μ H	R	10 Ω
R	10 Ω	F	40kHz
F	40kHz	D	0.52
D	0.76	D _{vo} /V _o (dalgalanma)	1%
D _{vo} /V _o (dalgalanma)	1%	A	5,00E+05
K _p	1000	x	x
K _i	0.01	x	x
K _d	0.005	x	x

8. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışma iki aşamadan oluşmaktadır; ilk önce DC motor besleme kaynağı olarak kullanılan bataryanın şarj edilmesi için bir PV sistem tasarlanmış ve batarya şarj edilmiştir. Tasarımda kullanılan batarya üretilen enerjinin depolanması için birçok özelliğinden dolayı (bakım gerektirmez, gaz salınımı yapmaz, çevre dostu ve şarj-deşarj, akım, gerilim değerleri anlık kontrol edilebilir) Lityum iyon batarya tercih edilmiştir. PV sistem tarafından üretilen DC gerilimin yükseltilmesi için Boost dönüştürücü kullanılmıştır. Bu çalışmada, PV sistemlerde kullanılan DC dönüştürücülerin maksimum verimde çalışması için literatürde kullanılan MPPT algoritmaları pozitif ve negatif yönlerine karşılaştırılmış ve birbirlerine olan üstünlüklerine kısaca değinilmiştir. Bu çalışmada DC dönüştürücü kontrolü için YSA MPPT algoritması tercih edilmiş ve çıkan sonuçlara göre algoritmanın yüksek güvenilirlikle çalıştığı test edilmiş, elde edilen sonuç grafikleri paylaşılmıştır. Sistemin en iyi çalışma aralıklarını bulmak için değişen ışınım ve sıcaklık değerleri (1000W/m²- 800W/m², 25°C-45°C) altında PV sistem çıkışında üretilen gerilim ve güç değerleri karşılaştırılmıştır. Çıkan sonuçlara göre YSA ve PV panel çıkış gerilim ve güç değerlerinin değişen durumlara göre birbirini izleyen, elde etmek istediğimiz sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sonuçlara göre sistemin çalışacağı en uygun ortam şartları (1000W/m², 25°C) tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre sıcaklık değişimi ışınım değişimine göre sistem parametre değişimlerini daha az etkilediği görülmüştür.

Çalışmanın ikinci bölümünde ise birinci kısımda şarj edilen batarya ile DC motor besleme devresi tasarlanmıştır. Literatürde DC DC gerilim dönüştürücüleri kontrolünde ve birçok alanda kullanılan PID kontrolcünden farklı olarak bu çalışmada tasarlanan SMC kontrolcünün dış bozuculardan etkilenmediği, hedeflenen gerilim değerleri elde edilerek çıkan sonuçlara göre yüksek güvenilirlikle çalıştığı gözlemlenmiştir. Tüm çalışmalar matlab/simulink ortamında gerçekleştirilmiştir.

Bundan sonraki süreçte elektrikli otomobillerin şarj istasyonları için PV sistem tasarımı ve PV sistemlerde DC DC dönüştürücü kontrolü için Kayan Kipli Kontrollü MPPT algoritması tasarımı üzerine çalışmalar yürütülecektir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

PID ve Kayan Kipli kontrol kullanarak DC motor besleme amaçlı bir PV sistem tasarımı isimli makalemiz ile ilgili herhangi bir kurum, kuruluş veya kişiyle mali çıkar çatışması yoktur ve yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] R. GULES, P. Juliano De Pellegrin, H. Hélio Leães ve I. Johninon, «A Maximum Power Point Tracking System With Parallel Connection for PV Stand-Alone Applications,» <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=41>, cilt 55, no. 7, pp. 2674 - 2683, 2018.
- [2] D. Rastogi, M. Jain ve M. Sreejeth, «Comparative Study of DC-DC Converters in PV Systems Using Fuzzy Logic MPPT Algorithm,» %1 içinde *2022 IEEE Delhi Section Conference (DELCON)*, New Delhi, 2022.
- [3] D. Hüseyin, M. Demirtaş ve İ. Çetinbaş, «AKILLI ALGORİTMALAR KULLANARAK GÜNEŞ ENERJİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ UYGULAMALARI,» %1 içinde *YEKSEM 2013*, 2013.
- [4] Ü. Yılmaz, A. Kırçay ve S. Börekçi, «PV system flyback converter controlled PI control to charge battery under variable temperature and irradiance,» %1 içinde *2017 Electronics*, Palanga, 2017.
- [5] N. ÇORUH, S. URGUN ve T. ERFİDAN, «Design and Implementation of Flyback Converters.,» %1 içinde *5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, Taichung, 2010.

- [6] Ü. YILMAZ, A. KIRÇAY ve S. BÖREKÇİ, «PV system fuzzy logic MPPT method and PI control as a charge controller,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, cilt 81, no. Bölüm 1, pp. 994-1001, 2018.
- [7] A. M. Noman, K. E. Addowesh ve H. M. Mashaly, «A fuzzy logic control method for MPPT of PV systems,» %1 içinde *IECON 2012 - 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, Montreal, 2012.
- [8] K. iSharma ve R. . K. B, «Simulation Analysis of Voltage-Lift Type Boost Converter for Solar Photovoltaic System,» *International Journal of Science and Research (IJSR)*, cilt 5, no. 11, pp. 1899 - 1904, 2016.
- [9] D. Choudhary ve A. . R. Saxena, «DC DC Buck Converter for MPPT of PV System,» *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, cilt 4, no. 7, 2014.
- [10] E. GENÇ, «<https://www.youtube.com/watch?v=PvfYBBcr41A>,» 2020. [Çevrimiçi].
- [11] H. Güldemir, «Sliding Mode Control of Dc-Dc Boost Converter,» *Journal of Applied Sciences*, cilt 5, no. 3, pp. 588-592, 2005.
- [12] F. Tahri, A. Tahri ve S. Flazi, «Sliding Mode Control for DC-DC Buck Converter,» %1 içinde *Third International Conference on Power Electronics and Electrical Drives ICPEED'14*, University of science and technology of Oran, 2014.
- [13] C. Kasnakoğlu,
«<https://www.youtube.com/watch?v=XjTu1Jrp2Hc&list=PLXpRXgXiS1G8ziHdwLbBTSA8wU-yvyrP8&index=24>,» 2021. [Çevrimiçi].
- [14] O. Camacho, C. Smith ve W. Moreno, « Development of an Internal Model Sliding Mode Controller,» *Ind. Eng. Chem. Res*, cilt 42, pp. 568-573, 2003.
- [15] İ. Eken, «Second-order sliding mode control with experimental application,» *ISA Transactions*, cilt 49, no. 3, pp. 394-405, 2010.