

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**GÜNEŞ PANELİ BESLEMELİ POMPA SİSTEMİ  
TASARIMI KONTROLÜ VE BENZETİMİ**

**ABDURRAHMAN ERMELİ**

**KOCAELİ 2023**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**GÜNEŞ PANELİ BESLEMELİ POMPA SİSTEMİ**  
**TASARIMI KONTROLÜ VE BENZETİMİ**

**ABDURRAHMAN ERMELİ**

**Prof. Dr. Nurettin ABUT**

**Danışman, Kocaeli Üniversitesi**

.....

**Dr. Öğr. Üyesi Tarık ERFİDAN**

**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi**

.....

**Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NİL**

**Jüri Üyesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi**

.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 22.06.2023**

## ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler ..... tarafından ..... no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....  
(İmza)

.....  
(Öğrencinin Adı Soyadı)

## YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır. Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan “*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

.....  
(İmza)

.....  
(Öğrencinin Adı Soyadı)

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında GÜNEŞ PANELİ BESLEMELİ POMPA SİSTEMİ TASARIMI , KONTROLU VE BENZETİMİ bulunulmuştur. Yüksek lisans eğitimim boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, tez konumun seçilmesinde ve ilerleme sürecinde katkıda bulunan ve tez çalışmam boyunca benim bitmek bilmeyen sorularıma sabırla cevap veren tez danışmanım Prof. Dr. Nurettin ABUT hocama, matlab ve simülasyon kısmında yaşadığım bazı sıkıntıları çözmeye yardım eden Halep Üniversitesinde öğretim üyesi olan Dr.Mustafa ASLAN hocama, Yüksek lisans eğitimimden bu yana her türlü destekleyen ve deprimde babası ile annesi vefat etmesine rağmen arkamda olan ve beni cesaretlendiren nişanlım Fatma HADDURA'ya, anneme, babama ,kardeşlerime , destek veren Velid ERMELİ ailesine sonsuz teşekkür ederim.

Haziran -2023

Abdurrahman ERMELİ



## İÇİNDEKİLER

|   |      |
|---|------|
| ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....   | i    |
| YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI .....   | ii   |
| ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....  | iii  |
| İÇİNDEKİLER.....  | iv   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....   | vi   |
| TABOLOLAR DİZİNİ.....   | viii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....  | ix   |
| ÖZET .....  | x    |
| ABSTRACT .....  | xi   |
| 1. GİRİŞ.....   | 1    |
| 1.1. Genel Tanıtım .....  | 1    |
| 1.2. Referans Çalışmalar.....   | 2    |
| 1.3. Araştırma Hedefi .....   | 4    |
| 1.4. Çalışma İçeriği ve Hedefi .....  | 4    |
| 2. GÜNEŞ ENERJİSİ.....  | 6    |
| 2.1. Güneş Enerji Kaynağı.....  | 6    |
| 2.2. Güneş Enerjisi Uygulamaları .....  | 8    |
| 2.3. Güneş Enerjisi Kullanımında Avantaj ve Dezavantajlar .....   | 9    |
| 2.3.1. Avantajları: .....   | 9    |
| 2.3.2. Dezavantajlar: .....   | 9    |
| 2.4. Güneş Paneli ve Eşdeğer Devresi .....  | 10   |
| 2.5. Fotovoltaik Panellerin Özellikleri .....   | 12   |
| 3. MPPT ALGORİTMASI İLE DÖNÜŞTÜRÜCÜ KONTROLÜ.....   | 16   |
| 3.1. Genel Tanımlar .....   | 16   |
| 3.2. Boost dönüştürücü .....  | 16   |
| 3.3. Maksimum Güç Noktası İzleme (MGNİ=MPPT) Algoritmaları .....  | 17   |
| 3.4. Değişir Gözle Algoritması P&O .....  | 17   |
| 3.5. Bulanık Mantık Yöntemi ile Değişir ve İzle Algoritmasına Dayalı<br>MGNİ Kontrol Sistemi Tasarımı ..... | 21   |
| 3.6. Simülasyon Sonuçları .....   | 24   |
| 4. PV PANELDEN BESLENEN POMPA TAHRİK SİSTEMİNİN<br>ENDÜKSİYON MOTORUNUN KAYAN KİP KONTROLÜ .....            | 29   |
| 4.1. Endüksiyon Motor Çalışma ve Kontrolü.....  | 29   |
| 4.2. Üç Fazlı Asenkron Motorun Matematiksel Modeli.....   | 30   |
| 4.3. Yönlendirilmiş Akı Yöntemi ile Motor Kontrolü: .....   | 33   |
| 4.4. PI Kontrolörüyle Motor Kontrolü.....   | 34   |
| 4.5. PI Kontrolörü ile $\omega$ Elektromanyetik Hız Kontrolü .....  | 35   |
| 4.6. Eksen Sisteminde $\omega k$ Elektromanyetik Hız .....  | 36   |
| 4.7. Kayn Kip Kontrolörü ile Motor Kontrolü .....   | 37   |
| 4.7.1. Hız Ayar .....   | 38   |
| 4.7.2. d Eksen Akı Ayarı .....  | 38   |
| 4.7.3. q Ekseni Akı Ayarı .....   | 39   |
| 4.8. MATLAB-Simulink ile Motor Hız Kontrol Simülasyonunun Sonuçları .....                                   | 40   |
| 5.SONUÇLAR VE GELECEK BEKLENTİLER .....   | 45   |
| 5.1. Genel Tanıtımlar.....  | 45   |

|  |    |
|--|----|
| 5.2. MATLAB-Simulink Kullanılarak Fotovoltaik Pompa Sisteminin<br>Simülasyon Sonuçları ..... | 45 |
| 5.3. Sonuçlar .....  | 52 |
| 5.4. Gelecek Beklentileri .....  | 52 |
| KAYNAKLAR .....  | 53 |
| KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....   | 53 |
| ÖZGEÇMİŞ .....   | 60 |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Şekil 2.1.  | Tek diyot iki dirençli bir PV hücre eşdeğer devresi .....   | 11 |
| Şekil 2.2.  | Fotovoltaik panelin güç-gerilim değişimi eğrisi .....   | 12 |
| Şekil 2.3.  | PV panelin akım-gerilim eğrisi .....  | 13 |
| Şekil 2.4.  | Güneş ışınımına bağlı PV panelin güç-gerilim eğrileri .....   | 13 |
| Şekil 2.5.  | Güneş ışınımına bağlı PV panelin akım-gerilim eğrileri .....  | 14 |
| Şekil 2.6.  | Sıcaklığa bağlı PV panel akım-gerilim eğrileri .....  | 14 |
| Şekil 2.7.  | Sıcaklık değişimlerinde PV panel güç-gerilim eğrileri .....   | 15 |
| Şekil 3.1.  | Boost dönüştürücünün prensip yapısı .....   | 17 |
| Şekil 3.2.  | Değiştir ve gözle algoritmasının (PPV, VPV) eğrisindeki çalışma noktaları .....                               | 18 |
| Şekil 3.3.  | Güneş paneli maksimum güç noktası takibi için değiştir ve izle algoritmasının blok diyagramı .....            | 19 |
| Şekil 3.4.  | Bulanık kontrolör genel yapısı .....  | 20 |
| Şekil 3.5.  | Bulanık mantık tabanlı MPPT P&O denetleyicisinin yapısı .....   | 21 |
| Şekil 3.6.  | $\Delta P$ girdisi için üyelik fonksiyonları .....  | 22 |
| Şekil 3.7.  | $\Delta V$ girdisi için üyelik fonksiyonları .....  | 22 |
| Şekil 3.8.  | $\Delta D$ girdisi için üyelik fonksiyonları .....  | 23 |
| Şekil 3.9.  | Güneş ışınımı için varsayılan profil .....  | 24 |
| Şekil 3.10. | PV panellerde ısı için varsayılan profil değişimi .....   | 24 |
| Şekil 3.11. | PV panellerin çıkış gerilimleri .....   | 25 |
| Şekil 3.12. | Yük, Boost dönüştürücü çıkışındaki gerilim .....  | 26 |
| Şekil 3.13. | PV panellerden alınan güç .....   | 27 |
| Şekil 3.14. | Yükün-Boost dönüştürücü çıkışındaki güç .....   | 27 |
| Şekil 4.1.  | Asenkron motorda a, b ve c eksen sistemindeki üç fazlı endüksiyon motorun genel yapısı .....                  | 30 |
| Şekil 4.2.  | Rastgele hızda dönen $\alpha k, \beta k$ eksenleri sisteminde üç fazlı endüksiyon motor prensip devresi ..... | 32 |
| Şekil 4.3.  | d eksen yönündeki rotor akısı .....   | 34 |
| Şekil 4.4.  | d eksen motor kontrol blok diyagramı .....  | 35 |
| Şekil 4.5.  | q eksenindeki motor kontrol blok diyagramı .....  | 36 |
| Şekil 4.6.  | PI mikrokontrolörü kullanılan kontrol sisteminin blok diyagramı .....   | 37 |
| Şekil 4.7.  | Kayan kip kontrolörü ile gerçekleştirilen kontrol sisteminin blok diyagramı .....                             | 40 |
| Şekil 4.8.  | Hız ayarı için sistem cevabı .....  | 41 |
| Şekil 4.9.  | d eksen akı ayarında sistem cevabı .....  | 41 |
| Şekil 4.10. | q eksen akı ayarında sistem cevabı .....  | 42 |
| Şekil 4.11. | Stator ve rotor direnç değerleri arttırıldıktan sonra hız ayarı sistem tepkisi .....                          | 43 |
| Şekil 4.12. | Stator ve rotor direnç değerleri arttırıldığında sistemin d akısı ayarındaki cevap .....                      | 43 |
| Şekil 4.13. | Stator ve rotor dirençleri arttırılınca sistemin q eksen akısı ayarındaki cevabı .....                        | 44 |
| Şekil 5.1.  | Fotovoltaik panele bağlı asenkron motor besleme sistemi blok diyagramı .....                                  | 45 |
| Şekil 5.2.  | Güneş radyasyonundaki değişiklikler .....   | 46 |
| Şekil 5.3.  | P&O MPPT – Asenkron motorun PI kontrolü ile üretilen PV gücü .....  | 46 |

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Şekil 5.4.  | P&O MPPT – Asenkron motorun PI kontrolü kullanırken PV paneli voltajı .....                        | 47 |
| Şekil 5.5.  | P&O MPPT – Asenkron motorun PI kontrolü ile kapasitör gerilimi değişiklikleri .....                | 47 |
| Şekil 5.6.  | Fuzzy-P&O MPPT – Asenkron motorun SM kontrolü kullanılırken üretilen PV gücü.....                  | 48 |
| Şekil 5.7.  | Fuzzy-P&O MPPT – Asenkron motorun SM kontrolü kullanılırken fotovoltaik panellerin gerilimi.....   | 49 |
| Şekil 5.8.  | Fuzzy-P&O MPPT – Asenkron motorun SM kontrolü kullanılırken kapasitör gerilimi değişiklikleri..... | 49 |
| Şekil 5.9.  | Asenkron motorun dönme hızı değişiklikleri.....  | 50 |
| Şekil 5.10. | Motorun üzerinde düşen moment değişiklikleri.....  | 51 |



## TABLULAR DİZİNİ

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Tablo 3. 1. | Bulanık mantık çalışma kuralları .....         | 22 |
| Tablo 3. 2. | Kullanılan PV panel sayısı parametreleri.....  | 25 |
| Tablo 3. 3. | FUZZY lojik kullanırken çıkış gerilimler ..... | 28 |
| Tablo 3. 4. | P&O MGNI kullanırken çıkış gerilimler .....    | 28 |
| Tablo 3. 5. | FUZZY lojik kullanırken çıkış güçler.....      | 28 |
| Tablo 3. 6. | P&O MGNI kullanırken çıkış güçler .....        | 28 |
| Tablo 5. 1. | P&O kullanırken çıkışlar.....                  | 48 |
| Tablo 5. 2. | Fuzzy lojik kullanırken çıkışlar.....          | 50 |
| Tablo 5. 3. | Dönüş hızın değişimi.....                      | 51 |
| Tablo 5. 4. | Tork değişimi .....                            | 51 |



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|                      |   |
|----------------------|---|
| I                    | : Akım(A)   |
| V                    | : Gerilim(V)  |
| P                    | : Güç(W)  |
| D                    | : Diyot   |
| T                    | : Sıcaklık (C°)   |
| G                    | : Güneş radyasyonu (W/m <sup>2</sup> )                  |
| E                    | : Elektronun yükü ( $1.6 \times 10^{-19}$ )             |
| T <sub>c</sub>       | : Hücrenin mutlak sıcaklığı(C°)                         |
| K                    | : Boltzmann sabiti                                      |
| V <sub>oc</sub>      | : Güneş pilinin boşta çalışma gerilimi(V)               |
| $\omega_s$           | : Stator sargısı döner alanının açısal hızı(rad/sn).    |
| V <sub>s(r)abc</sub> | : Rotorun ve statörün gerilimleri(V)                    |
| i <sub>s(r)abc</sub> | : Rotorun ve statörün akımları(A)                       |
| $\Phi_{s(r)}$        | : Rotorun ve statörün manyetik akıyı (Wb)               |
| R <sub>s(r)</sub>    | : Rotorun ve statörün dirençleri(R)                     |
| $\omega_k$           | : d,q eksenlerin döner açısal hızı $=\omega_s$          |
| v <sub>sq(d)</sub>   | : İkili sisteminde statörün gerilim bileşeniler         |
| i <sub>sq(d)</sub>   | : İkili sisteminde statörün akımın bileşeniler          |
| $\Phi_{rq(d)}$       | : İkili sisteminde statörün elektrik akımın bileşeniler |
| L <sub>m</sub>       | : Stator ve rotorun periyodik endüktansı (H)            |
| L <sub>s</sub>       | : Statörün endüktansı (H)                               |
| L <sub>r</sub>       | : Rotorun endüktansı (H)                                |
| J                    | : Atalet momenti (kg·m <sup>2</sup> )                   |
| T <sub>d</sub>       | : Yükün torku (Nm)                                      |
| f                    | : Sürtülme katsayısı                                    |

### Kısaltmalar

|     |   |
|-----|---|
| AC  | : Alternating Current (Alternatif Akım)                         |
| DC  | : Direct Current (Doğru Akım )                                  |
| FOC | : Field Oriented Control (Yönlendirilmiş Akı Kontrol Yöntemi)   |
| MPP | : Maximum Power Point (Maksimum Güç Noktası)                    |
| PV  | : Photovoltaic (Fotovoltaik Paneli)                             |
| P&O | : Perturb And Observe Algorithm (Değiştir Ve Gözle Algoritması) |
| PI  | : Proportional Integral Controller (Oransal-İntegral)           |
| SMC | : Sliding Mode Control (Kayan Kip Metodu)                       |

# GÜNEŞ PANELİ BESLEMELİ POMPA SİSTEMİ TASARIMI , KONTROLÜ VE BENZETİMİ

## ÖZET

Bölgedeki çoğu ülkeleri yaşam olarak tarıma bağlıdır . Fakat son yıllarda oluşan küresel ısınmalardan dolayı yüzeysel su miktarı azalma neden oldu ve bazı elektrik şebekesinden uzak olan tarımlara yer altı suyu elde etmek için su pompalarını çalıştırmak için ve enerji sağlamak için bir çözüm bulmak gerekiyordu .Bazı çiftçiler dizel generatörler kullanıyor , kullanma sebebi kolay bulunması ve kolay çalıştırması fakat bu tip enerji sağlamak çiftçilere pahalı görülür ve bu yılda gördüğümüz gibi yakıtların parası sabit olmadığı için çoğu bu yöntemde sulama yapan çiftçiler risklere maruz kalır.

Bu tez çalışmasında Seri ve paralel güneş paneller bağlanmış . çıkış uçlarına bir DC – DC konvertör bağlanmış ve kontrolünü yöntemlerini iki yöntem kullanılmış .

1.yönteminde değiştir ve izle algoritması uygulanmış , 2.yönteminde ise FUZZY LOJİK uygulanmış ve aralarında değişik senaryolar için bir değerlendirme yapılmış ve ana sistemimize iyi sonuç gösteren yöntemi bağlanmış .

Pompayı temsil eden kısmı için bir asenkron motor kullanılmış .Bu tezde 3 fazlı asenkron motorun kontrolü için, yönlendirilmiş akı kontrolü (Field-Oriented Control - FOC) yöntemine dayalı bir tahrik sistemi geliştirilmiştir. Bu yöntemin uygulanmasında farklı senaryolar için PI ve SMC kontrolörü ile, dış ve iç kontrol döngüsü gibi iki kontrol döngüsü kullanılmıştır. Dış döngüsünde hız ve manyetik akı düzenlemek amacıyla PI ve KAYAN KIPLİ kontrol sistemler uygulanmış ve arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. İç döngüsünde de ise üç fazlı akımları düzenlemek için hysteresis regulators kullanılmıştır . Sistemin farklı senariolar için (ısınmak durumunda veya statörün direncide bir değişiklik olmak durumunda) sonuçları bahs etmiş ve sistemlerin avantajları ve dezavantajları gösterilmiş.

DC-DC dönüştürücü kısımdan seçmiş olduğumuz daha performanslı kontrol yöntemi ile 3 fazlı asenkron motor kısımdan seçmiş olduğumuz daha verimli ve kontrollu kontrol yöntemi aynı anda bağlanılmış ve sistem olarak çalıştırmasının tartışılmış.

**Anahtar Kelimeler:** Bulanık Mantık , Kayan Kip Metodu , Maksimum Güç Noktası Takibi , PI Denetleyici , Yönlendirilmiş Akı Yöntemi .

# SOLAR PANEL FEED PUMP SYSTEM DESIGN, CONTROL AND SIMULATION

## ABSTRACT

Most countries in the region depend on agriculture for their living. However, due to global warming in recent years, the amount of surface water has decreased, and it was necessary to find a solution to run water pumps and provide energy to obtain groundwater for some agriculture that is far from the electricity grid. Some farmers use diesel generators, the reason for using them is that they are easy to find and operate, but providing this type of energy is seen as expensive to the farmers and as we have seen this year, most of the farmers who irrigate with this method are exposed to risks since the fuel is not fixed.

In this thesis, serial and parallel solar panels are connected. And in the output ends DC – DC converter is connected and applied two methods to control it. P&O algorithm was applied in the 1st method , and FUZZY LOGIC was applied in the 2nd method , and an evaluation was made for different scenarios between them and the method showing good results was connected to our main system .

An asynchronous motor is used for the part representing the pump. In this thesis, a drive system based on the Field-Oriented Control - FOC method has been developed for the control of the 3-phase asynchronous motor. In the application of this method, PI and SMC controller are applied for different scenarios. Two control loops such as external and internal control loop are used. In order to regulate velocity and magnetic flux in the outer loop, PI and SLIDING MODE control systems were applied and a comparison was made between them. In the inner loop, hysteresis regulators are used to regulate three-phase currents. The results of the system for different scenarios (in case of heating or a change in the resistance of the stator) are mentioned and the advantages and disadvantages of the systems are shown.

The more efficient control method we chose from the DC-DC converter section and the more efficient and controlled control method we chose from the 3-phase asynchronous motor section were connected at the same time and its operation as a system was discussed.

**Keywords:** Field-Oriented Control , Fuzzy Logic , Maximum Power Point Tracker , PI Control , Sliding Mode .

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Genel Tanıtım

Ortadoğu ülkelerinin birçoğunda yaşam, büyük oranda endüstriden ziyade tarıma bağlıdır. Yani yaşamın kalitesi açısından tarım önemlidir. Oysa son yıllardaki iklim değişiklikleri ve sonucunda oluşan küresel ısınma etkisiyle yüzeysel su miktarları azalmaktadır. Elektrik şebekesinden uzak bazı alanlarda tarımsal sulama amacıyla, yeraltı suyu elde etmek için su pompaları kullanılmaktadır. Bu amaçla, gerekli elektrik enerjisinin sağlanmasında alternatif çözüm arayışları geliştirilmekte ve araştırmalar yapılmaktadır. Üreticilerden bazıları dizel generatörler kullanmaktadırlar. Çünkü, kullanımı kolay ve işletmesi nisbeten sorunsuz görülmektedir. Fakat bu tip enerji üretimi yüksek maliyetlerden dolayı ekonomik bulunmamaktadır. Son yıllarda enerji maliyetlerinin artması ile üretim sorunları büyümektedir.

Tarımsal sulama amacı ile kullanılan pompalarda fotovoltaiik enerji de denen Güneş Enerjisi Ssantrali (GES)'nde elektrik üretimi daha avantajlı görünmektedir. Böylece, maliyetler oransal olarak düşürülebilecek ve GES'lerde üretilen fazla enerji, depolanarak güneşin olmadığı akşam-gece saatlerinde de tarımsal sulama gerçekleştirilebilecektir.

Fotovoltaiik (PV) enerji üretimi ile beslenen pompa sisteminde, üç fazlı motor-pompa ikilisi kullanılır. Bu PV panellerde üretilen doğru gerilimin motoru besleyebilmesi için, DA ayarlayıcı (DC-DC converters) kullanılarak gerçekleştirilir. Bu dönüştürücü kontrolü, maksimum güç izleme algoritması ile verimli olarak gerçekleştirilebilir. Sisteme, paralel olarak aküler bağlanarak ihtiyaçtan fazla üretilen elektrik enerjisi, kapasite oranında depolanarak gerektiğinde kullanıma hazır bekletilir. Üretilen ve depolanan bu elektrik enerjisi doğru akım şeklinde olduğundan, Üç fazlı alternatif akım ile beslenen asenkron motorları besleyebilmek için enerjiyi alternatif akıma dönüştüren bir DA-AA Dönüştürücü (DC to AC converters, inverters) birim olan eviriciler kullanılır.

## 1.2. Referans Çalışmalar

Fotovoltaik üretim sistemleri, iyi performans ve yüksek verim elde etmek için gelişmiş kontrol teknikleri gerekir. Çünkü fotovoltaik panel kontrol donanımında sabit anahtarlamalarda verim düşük olur. Benzer şekilde, anodaki sıcaklık veya güneş ışınımı değerinde değişiklik olduğunda çıkış geriliminde salınım ve dalgalanmalara neden olur. Bu nedenle fotovoltaik panellere bağlı eviriciler için birçok kontrol sistemi geliştirilmiştir.

Yapılan (Worku ve diğ., 2016) çalışmada, PV panele bağlı üç fazlı bir asenkron motor sürücüsü sistemi tasarlanarak simülasyonu gerçekleştirilmiştir. PV panelin çıkış uçlarında gerilimin eldesi için bir ANFIS CONTROLLER kullanılmaktadır. PID kontrolör kullanılarak DC-DC dönüştürücü, gereken doluluk oranıyla çalıştırılmaktadır. Dönüştürücü çıkışında, doğru gerilimi alternatif gerilime dönüştürmek için bir evirici kullanılmaktadır. PI kontrolör kullanılarak vektör kontrol yöntemine dayalı, aktif ve reaktif güç ölçümü sonucu dSPACE 1104 kullanılarak denemeler yapılmıştır. Sonuçta, farklı senaryolarla yüksek performans ve verim ile çalışma denenmiştir.

Referans çalışma (Remoaldo ve diğ., 2021)'de, seri bağlı beş güneş paneline bir Boost dönüştürücü üzerinden omik bir yükten oluşan bir PV sistem için simülasyon çalışması gerçekleştirilerek sonuçlar sunulmuştur. Boost dönüştürücü iki farklı şekilde kontrol edilmektedir. İlk yöntemde, değiştir gözle algoritması (P&O) kullanılarak yapılmaktadır. İkinci yöntemde ise bulanık mantık kontrolörü (fuzzy logic controller) kullanılmıştır. Bulanık mantık kontrolörü ile yapılan uygulamada, giriş sinyallerinin hatası ile değişim hatası kullanılmaktadır. Çıkış sinyali boost dönüştürücüsünün çalışma oranı olarak alınmıştır. Simülasyon sonuçlarında, bulanık mantık kontrolörü ile sistemin daha hızlı cevap verdiği ve daha yüksek kararlılık ile yüksek dinamik performans elde edildiği gözlenmiştir.

Referans çalışma (Hamdi ve diğ., 2022)'de bir boost dönüştürücüye bağlı fotovoltaik panelde üretilen enerji, evirici kontrollü asenkron motorla sürülen pompayı kontrol etmektedir. Fotovoltaik kaynaktan beslenen sistem, simüle

edilmiştir. Boost konvertörün giriş akımı kayan kip kontrol yöntemi kullanılarak kontrol edilmektedir. Referans akım, bulanık mantık kontrolörüyle üretilmiş olup, giriş sinyalleri sıcaklık ve güneş radyasyon değerleri olarak alınmıştır. Asenkron motorun hızı, PI kontrolörü ile kontrol edilmektedir. Bulanık mantık kontrolü ile referans hızın belirlendiği fotovoltaik sisteminin yüksek performanslı çalıştığı görülmektedir. Simülasyon sonuçlarından, sistemin sıcaklık ve güneş radyasyonundaki değişikliklerden etkilenmediği, yüksek performanslı ve daha kararlı olduğu gösterilmiştir.

Referans çalışma (Khlifi., 2016)'de fotovoltaik panel dizisinde, dolaylı alan kontrol yöntemi (IFOC) kullanılarak evirici ile sürülen asenkron motorlu fotovoltaik pompa sistemi modellenerek simüle edilmiştir. Bununla birlikte, değiştir gözle algoritması ve artımlı kapasite (Incremental Conductance, IC) algoritması ile MPPT tespiti yapılmaktadır. MPPT tespitinde asıl amaç, motor kontrolü için gerekli referans hızını belirlemektir. Simülasyon sonuçlarına göre, IC algoritmasının P&O algoritmasına kıyasla daha iyi performans ve kararlılık sağladığı gösterilmiştir.

Referans çalışma (Liu ve diğ., 2006)'de Kayan kip kontrolörü ile (Sliding-mode Controller), dolaylı alan kontrollu (indirect field-oriented control) sistem tasarlanmıştır. Sistemin asıl amacı, motor hızının, sensörsüz olarak hızını kontrol edilmesidir. Akım kontrolü yaparken manyetik döngüye gerek kalmadan, PI kontrolörü kullanılmaktadır. Sonuçta, önerilen sistemin yükteki moment değişimlerine karşı etkili olduğu göstermiş olup sistem parametrelerindeki değişiklikler test edilmemiştir.

Referans çalışma (Trabelsi ve diğ., 2012)'de geri adımlamalı kontrolör kullanarak (Backstepping controller) bir asenkron motor kontrolü tasarlanarak kayma kip kontrolörü ile hem rotor elektrik akı tahmini hem de rotor titreşim önlenmesi için direncin yaklaşık değer tahmini yapılmıştır. Frekans denkleminde ( $w_{sl}$ ) kullanılan rotor direnci değerinin doğru tahmini önemlidir. Sistem modelinde Clarke dönüşümlerini gerçekleştirmek ve d,q referans döngüsünde frekans kullanılmaktadır. Motor çalışmasında, rotor direncinin

uygun değerleri alınarak tahrik sisteminin performansı iyileştirilmektedir. Sonuçta manyetik doyma azalmaktadır. Simülasyon ve deneysel sonuçlarına göre sistem etkinliğinin iyileştirilebileceği gösterilmektedir.

Referans çalışma (Swargiary ve diğ., 2015)'de asenkron motoru kontrolü için, optimum kontrol teorisine göre, doğrusal ayarlayıcı (Linear Quadratic Regulator, LQR) kullanılarak hem motor hızı hem de stator elektrik akısı (stator field orientation, SFO) ayarı sağlanmaktadır. Referans sinyalinin hassas bir şekilde izlenmesini sağlaması için kontrol denklemleri, geri ve ileri besleme sabitlerini içermektedir. Denklemler, hem türevsel hem de integral terimler kısmı içermektedir. Durum uzay modeli ile gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarından sistem etkinliğinin iyileştiği gösterilmektedir.

### **1.3. Araştırma Hedefi**

Bu araştırma çalışmalarında iki temel amaç gözetilmiştir. Birincisi, tasarlanan bir fotovoltaik üretim sistemini MATLAB/Simulink ortamında simüle etmektir. Diğeri de kontrol için, klasik yöntemler ile bulanık mantık yöntemini kullanarak maksimum güç noktası izleme birimi performansının iyileştirilmesini denemek ve karşılaştırmaktır. Sıcaklık değişimleri ve güneş radyasyonu için her birinin performansının incelendiği MPPT kontrolü gerçekleştirilmektir.

### **1.4. Çalışma İçeriği ve Hedefi**

Tez çalışmasına birinci bölüm: araştırmanın genel çerçevesini, referans alınabilecek çalışmaları, araştırmanın amacını ve araştırma bölümlerinin tanımını içerir.

İkinci bölüm: fotovoltaik panellerin incelenmesini, simülasyonunu ve özellikleri ile çalışma mekanizmalarının incelenmesini içerir.

Üçüncü bölüm: MPPT tekniği uygulanmasında klasik yöntemler ile bulanık mantık kontrol yönteminin karşılaştırması çalışmalarını içerir.

Dördüncü bölüm: Üç fazlı asenkron motor ve kontrolünün incelenmesi ile kontrol sisteminin uygulanması için normal kontrolörler ile kayan kipli kontrol yönteminin karşılaştırma çalışmalarını içerir.

Beşinci Bölüm: Fotovoltaik panellerden beslenen pompa modelinin ve kontrol iyileştirme çalışmalarının sonuçlarının özeti ile gelecekteki beklentiler ve önerileri içerir.



## 2. GÜNEŞ ENERJİSİ

### 2.1. Güneş Enerji Kaynağı

Enerji kaynakları ile ilgili yapılan araştırmalar, konvansiyonel enerji kaynaklarının kısa sürede tükeneneğini göstermektedir. Bunun sebebi dünyadaki nüfus artışı ile ulaşım, konut, üretim, tarım ve endüstri gibi çeşitli alanlarda ihtiyaç duyulan enerjinin kullanım artışından dolayı başta petrol ve diğer enerji kaynaklarının azalma eğilimidir. Enerji kaynaklarının büyük bir kısmı, yenilenemez ve kirlilik seviyelerini yükselten, çevreye büyük zarar veren ve esas olarak küresel ısınmaya katkıda bulunan büyük miktarlarda sera gazı üreten kaynaklardır (Errouha ve diğer., 2019) ; (Al-Majidi ve diğer., 2019) ; (Peralta Vera ve diğer., 2019) ; (Farah ve diğer., 2020) ; Dünyadaki enerji kaynakları araştırması yapan tüm araştırmacılar, yaşamı sürdürmek için gereken enerjiyi sağlamanın en önemli yolları olarak güneş ve rüzgar enerjisinin alternatif olasılığını araştırmaktadırlar. Bu iki kaynak, diğer temiz enerji üretim kaynaklarına kıyasla iyi bir performansına sahip olduğundan, temiz enerji üretiminin en etkili kaynakları olarak tanımlanmaktadır (Peng ve diğer., 2020) ; (Edan ve diğer., 2022) ; (Scholar ve diğer., 2012) ; (Kerdphol ve diğer., 2017).

İnsanlar artan ihtiyaçlarını karşılamak için sürekli yeni enerji kaynakları aramaktadır. Birçok enerji kaynağı tükenme, yüksek işletme maliyetleri ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri artmaktadır. Modern çağda insan yenilenebilir enerjilerden güneş enerjisi tükenmez olduğunu ve sürekli yenilenen bir enerji olduğunu fark etti. Bununla birlikte petrol ve doğal gaz gibi enerji kaynaklarının kullanılmasında çevresel sorunlar ve tehlikeler karşısında güneş enerjisi olası seçeneklerden biridir. Günümüzde, güneş enerjisi bazı ülkeler için milli gelir haline gelmiştir. Dünyanın en petrol zengini ülkeleri arasında sayılan Arap ülkelerinde bile ağırlıklı olarak ve etkin bir şekilde güneş enerjisi kullanılmaktadır. Elektrik üretimi; tuzlu suyu arındırma tesisleri, trafik ve sokak aydınlatması gibi elektrik donanımı uyduların çalıştırılması, ulaşım araçları, uzay istasyonları ve su pompaları dahil olmak üzere birçok uygulamada kullanılmaktadır. Son günlerde EVX Ventures gibi

birçok firma, güneş enerjisiyle çalışan otomobil geliştirmektedir. Immortus elektrikli otomobili Tesla modellerinin tersine, doğrudan güneş enerjisiyle şarj edilmektedir. Güneş enerjisinin önemi, dünyanın en zengin ülkelerinde bile çeşitli amaçlarla suyu ısıtmak için güneş ısıtıcılarının kullanılmasıyla küresel ekonomide ve çevrenin korunmasında önemli bir faktör olarak yeniden ortaya çıkmıştır (Tawfiq ve diğ., 2019) ; (BAL ve diğ., 2019).

Ticari uygulamalarda başarılı olarak kullanım ve kurulum yapılmaktadır. Kontrol ve işletme kolaylığı önemini daha da artırmıştır. Türkiye, ortadoğuda güneş enerjisi kullanımını etkinleştiren ve güneş enerjisi ısıtıcıları üreten, ve geliştiren ilk ülkelerdendir. Enerji Bakanlığı'nca 2022 yılında hazırlanan Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, günlük toplam 7,5 saat olan yıllık toplam güneşlenme süresi 2.737 saattir. Günlük toplam 4.2 kWh/m<sup>2</sup> olan enerji üretimi, yıllık toplam üretilen güneş enerjisi 1.527 kWh/m<sup>2</sup>.yıl olduğu tespit edilmiştir. Türkiye'nin toplam güneş enerjisi kurulu gücü 9.319 MW'dır (Yük tevzi daire başkanlığı 2022 raporu) . Aktif olarak birçok fotovoltaik (PV) sistem kullanılmaktadır. Mayıs 2022 itibarıyla bu sayı 674'tür. Bunların büyük bir kısmı lisanssız elektrik üretimi kapsamındadır. Santrallerin büyük çoğunluğu lisanssız elektrik üretim sınırı olan 1 MW altındadır. Bu sınırı değerinin üzerinde kalanlar ise 1 MW'lık santraller ile ortaklık yaparak faaliyetlerini sürdürmektedir. Türkiye'deki mevcut en büyük santral 756 MW kurulu güç ile Karapınar Güneş Enerjisi Santrali'dir (GES). Karapınar GES ile Türkiye'de elektrik üretiminde güneş enerjisinin payı yüzde 20'ye çıkmıştır (Karapınar GES 2022 raporu).

Güneş enerjisinin verimli ve başarılı kullanmada;

- Coğrafi konum, güneş radyasyonunun gücü, sıcaklık ve rüzgar hızı.
  - Güneş enerji sisteminin uygulamanın boyutuna uyarlanması.
  - İşletme donanım ve ürünlerinin kalitesi.
  - Montaj ve işletim esnasında kullanılan teknoloji.
- gibi faktörler etkilidir.

## 2.2. Güneş Enerjisi Uygulamaları

Eski çağlardan beri insanlar, tarımsal ürünlerin kurutulması ve evlerin ısıtılması gibi birçok uygulamada güneş radyasyonu enerjisinden yararlanmaya çalışmışlardır.

İlk olarak 1954 yılında bell telefonu araştırmacıları tarafından geliştirilen PV hücreleri ve 1960 yılların başlarında ABD uzay araştırmacıları farklı uygulamalarda kullanmaya başladılar. 1990'lı yıllarda yaygınlaşmaya başlayan kullanımlar 2000 lerden sonra özellikle şebekeye bağlı sistemler (on grid) yaygınlaşmaya başlamıştır. Güneş enerjisi diğer enerji kaynaklarına göre aşağıdaki özelliklerle ayırt edilir:

- Güneş enerjisinde kullanılan teknoloji, diğer enerji kaynaklarında kullanılan teknolojilere oranla daha basittir.
- Güneş enerjisinin çevreyi kirletmediği için çevresel güvenlik faktörü sağlayan temiz bir enerjidir. Yakın gelecekte bu alanda kendisine özel bir konum sağlamaktadır.

Günümüzde, kullanılmakta olan güneş enerjisi:

- Güneş panellerinden bir evirici aracılığı ile elektrik şebekesine aktarılması,
- Tekne gibi deniz taşıtlarına elektrik gücünün sağlanması.
- Su pompası, aydınlatma ve televizyon gibi tüketici donanımına enerji sağlanması,
- Sahil ve rıhtımda marina v.b. gibi tesislerin enerji gereksinimi karşılanması,
- İklimlendirme ve ısıtma tesislerinin enerji gereksinimleri,
- Haberleşme sistemleri güç gereksinimlerinde,
- Sulama sistemlerinde gereken enerji sağlanmasında,
- GSM ve donanımında enerji sağlanmasında,
- Bahçeler için güneş ışıkları.
- Trafik ışık ve aydınlatmalarında,
- Güneş enerjili taşıtlarda,
- Güneş enerjili hava taşıtlarında,

### **2.3. Güneş Enerjisi Kullanımında Avantaj ve Dezavantajlar**

Güneş enerjisi kullanıcılarının karşılaştığı en önemli sorun ise, güneş enerjisini depolamak ve gece, bulutlu veya tozlu günlerde bundan yararlanmaktır. Bunun için maliyeti düşürmek ve güneş enerjisinden sadece bulunduğu yerde ve bulunduğu anda faydalanmak için depolama cihazlarının kullanılmaması tercih edilmektedir, güneş enerjisinin depolanması konusu daha fazla bilimsel araştırmaya ve yeni buluşlara ihtiyaç duyan konulardan biridir(Huang ve diğ., 2021) ; (Gao ve diğ., 2021) ; (Mohapatra ve diğ., 2017).

Güneş enerjisi kullanımlarındaki ikinci sorun, fotovoltaik panellerde kısmi gölgeleme oluşmasıdır ve burada fotovoltaik sistemin topolojisinde ayarlamalar yapmak veya kullanılan MPPT algoritmalarını değiştirmek gerekmektedir (Koutroulis ve diğ., 2012) ; (Obukhov ve diğ., 2020).

#### **2.3.1. Avantajları**

✓ Güneş enerjisi miktar olarak çok büyük bir enerjidir. Stok olarak güneş sonsuz bir enerji kaynağıdır. Güneş radyasyonun miktarı, Dünya'ya ulaşan miktarı bile, insanlığın toplam ihtiyacının birkaç katıdır.

✓ Güneş enerjisi ücretsizdir, bu nedenle kullanımı yalnızca kurulum maliyete ve bakım maliyetlerine bağlıdır.

✓ Güneş enerjisi yerkürenin yüzeyine dağılır ve herkese ulaşır, dolayısıyla onun iletim, aktarım ve dağıtımına gerek yoktur.

✓Güneş enerjisinin ekvator ve kutuplar arasındaki dağılımındaki farka rağmen enlemlere göre dağılımı nispeten düzenlidir. Coğrafi bölgelere bağlı olan bu dağılımın üzerinde çalışılması, kullanılması, hakkında bilgi ve çalışmaların paylaşılması sürecini kolaylaştırmaktadır.

✓Güneş enerjisi, termal, mekanik ve elektrik enerjisi gibi diğer enerji türlerine dönüştürülebildiği için kullanımı açısından pratiktir.

### 2.3.2. Dezavantajlar

× Güneş enerjisi, diğer enerji türleri ile karşılaştırıldığında birim yüzey başına düşük bir yoğunluğa sahiptir.

× Güneş enerjisinin günün sadece belirli saatlerinde mevcut olması nedeniyle günün kalan saatlerinde devamlılığının olmaması, kullanımında pratik sorunlara yol açmaktadır.

× Endüstriyel gelişim sürecinde yaşanan koşullara göre, enerji sistemi ve yaşam tarzı belirlenmiştir. Fosil yakıtlar gibi kullanım alışkanlıkları, güneş enerjisi kullanımı ile niteliksel değişiklikler gerektirecektir.

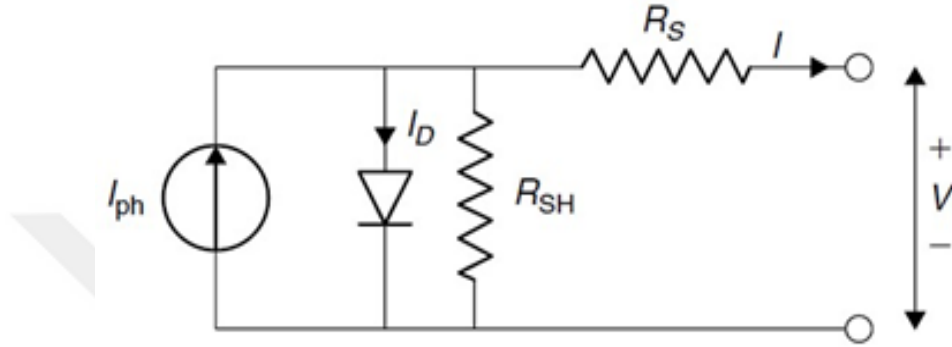
### 2.4. Güneş Paneli ve Eşdeğer Devresi

Güneş ışınması, güneş panelleri yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Pratikte elektrik üretebilen birçok farklı güneş paneli üretilmiştir. Güneş panelleri; hareketli parça içermez ve yakıt tüketimi söz konusu değildir. Atmosferi kirletmeyen uzun ömürlü ve az bakım gerektirmeleri ile öne çıkmaktadırlar. Verimleri, bugünkü teknoloji ile yaklaşık% 66 seviyelerindedir. Güneş ışığı hücrenin üzerine düşerek yüzeyinden geçer ve bir kısmı ilk tabakası tarafından emilir. Bu hücre üzerine düşen ışığın büyük bir kısmı silikon karışımı madde içeren tabaka tarafından emilir. Bu işlem sayesinde hücrenin uçlarındaki bağlantı iletkenlerinden akabilen serbest hareketli elektronlar üretilir. Üretilen bu elektronların sayısı hücre üzerine düşen ışığın şiddetinin artmasıyla artar ve böylece doğru akım oluşur. Hücre kenarlarında oluşan elektrik yükleri potansiyel farkı oluşturur. Hücre üzerine düşen güneş ışığından kaynaklanan elektron hareketinden faydalanılarak elektrik akımı ile tüketiciler beslenebilir.

Güneş ışınımında fotonların hücre yüzeyine çarpmasıyla, yarı iletken malzemelerdeki elektronlar serbest kalır. Elektriksel iletkenler ile bağlanan artı ve eksi uçlara ulaşan elektronlar kapalı bir elektrik devresinde akım üretmiş olur. Üretilen bu akıma  $I_{ph}$  fotoakım denir. Dolayısı ile PV paneller karanlıkta veya parçalı gölgelemenin olduğunda gerilim veya akım üretemeyen bir diyot gibi davranır. PV paneller parçalı gölgelemede, bir güç kaynağı veya aküye

bağlı durumda karanlık akımı (Dark current) oluşarak panellere zarar verebilir. Önlemek amacı ile serbest geçiş (By Pas-Blokajı) diyodu kullanılır.

Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, güneş pili genellikle bir diyotlu elektrik devresi modeliyle temsil ediyor , bu devre tekli bir hücreler için veya birkaç hücreden oluşan güneş paneli veya homojen bir güneş dizisi için kullanılabilir.



Şekil 2.1. Tek diyot iki dirençli bir PV hücre eşdeğer devresi

Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, bir  $I_{ph}$  akım kaynağı,  $R_{SH}$  diyodun iç direnci ve  $R_s$  seri direnci göstermektedir. Şekil 2.1'den, paralel dirençten geçen akımın ihmal edilmesiyle, Kirchhoff'un birinci yasasına göre fotovoltaik hücre akımı Denklem (2.1) gibi tanımlanabilir.

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

Işık akımı ise Denklem (2.2) ile verilmektedir.

$$I_{ph} = [I_{sc} + k_I(T_c - T_{ref})] \frac{G}{1000} \quad (2.2)$$

Burada :

$T_{ref}$ : Kelvin cinsinden referans sıcaklık .

$I_{sc}$  :Güneş pilinin kısa devre akımı.

$K_I$ : akım katsayısı.

$G$ : Güneş paneli ndeki ışınımı göstermektedir.

Eşdeğer devredeki  $I_D$  diyodunun akımı Denklem (2.3) ile gösterilmektedir.

$$I_D = I_s \left\{ \exp \left[ \frac{e(V+IR_s)}{kT_c} \right] - 1 \right\} \quad (2.3)$$

Burada:

$K$  :Boltzmann sabiti.

$T_c$  : Hücresinin Kelvin cinsinden mutlak sıcaklığı

$e$ : Bir elektronun yükü  $1.6 \times 10^{-19}$

$v$  : Fotovoltaik panel uç gerilimi olarak tanımlanmıştır.

Diyot doyma akımı, Denklem (2.4) ile gösterilmektedir.

$$I_s = I_{rs} \left( \frac{T_c}{T_{ref}} \right)^3 \exp \left\{ \frac{e \cdot E_g}{kA} \left[ \frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_c} \right] \right\} \quad (2.4)$$

Burada :

$I_{rs}$  : Diyodun ters doyma akımı.

$A$  : Fotovoltaik panel malzeme katsayısı

$E_g$  : Fotovoltaik hücrede kullanılan yarı iletkenlerin gücü olarak tanımlanmaktadır.

Diyot ters doyma akımı Denklem (2.5) ile tanımlanabilir.

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{\exp \left\{ \frac{eV_{oc}}{N_s k A T_c} - 1 \right\}} \quad (2.5)$$

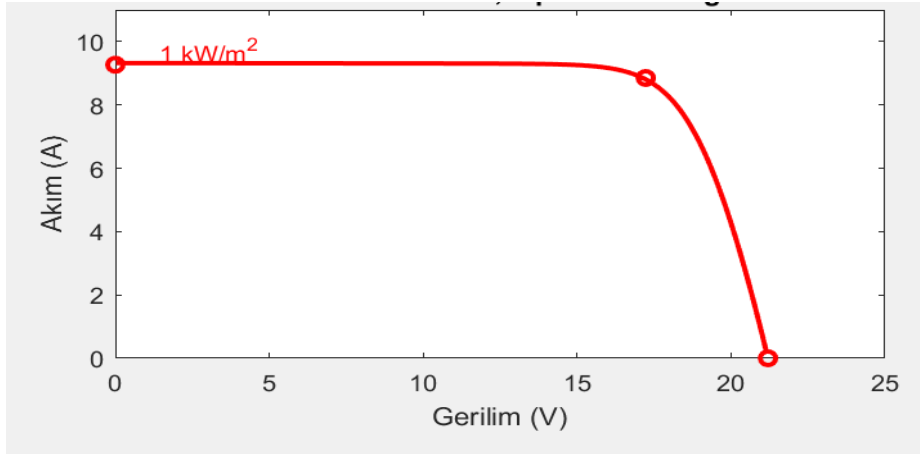
Burada :

$V_{oc}$  : Güneş pilinin boşa çalışma gerilimi.

$N_s$  : : panel hücre sayısı olarak tanımlanmaktadır.

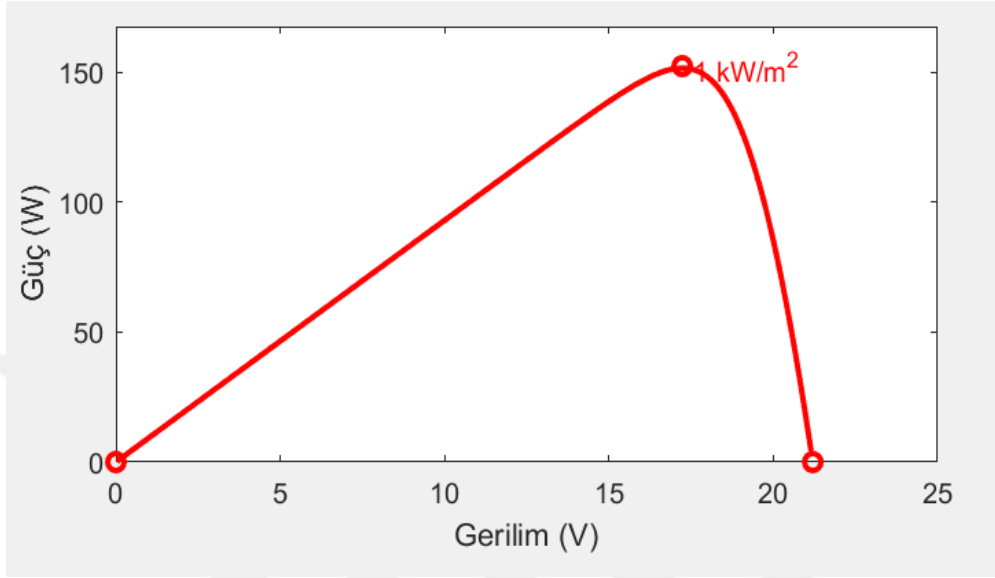
## 2.5. Fotovoltaik Panellerin Özellikleri

Fotovoltaik panellerin hem ışınım hem de sıcaklıktan etkilendiği bilinmektedir. Bu faktörlerin her birine bağlı olarak fotovoltaik panelin üreteceği gerilim ve akım değeri değişir. Sıcaklık ve ışınımın sabit değerleri için, fotovoltaik panelden elde edilen güç, panel çıkışındaki gerilimi etkiler. Üretilen gerilim sıfırdan artarak maksimum gerilim olan  $V_{mpp}$  değerine ulaşır. Maksimum kapasiteye sonrası fotovoltaik panel açık devre gibi davranır. Bu durum, Şekil (2.2)'de gösterilmektedir.



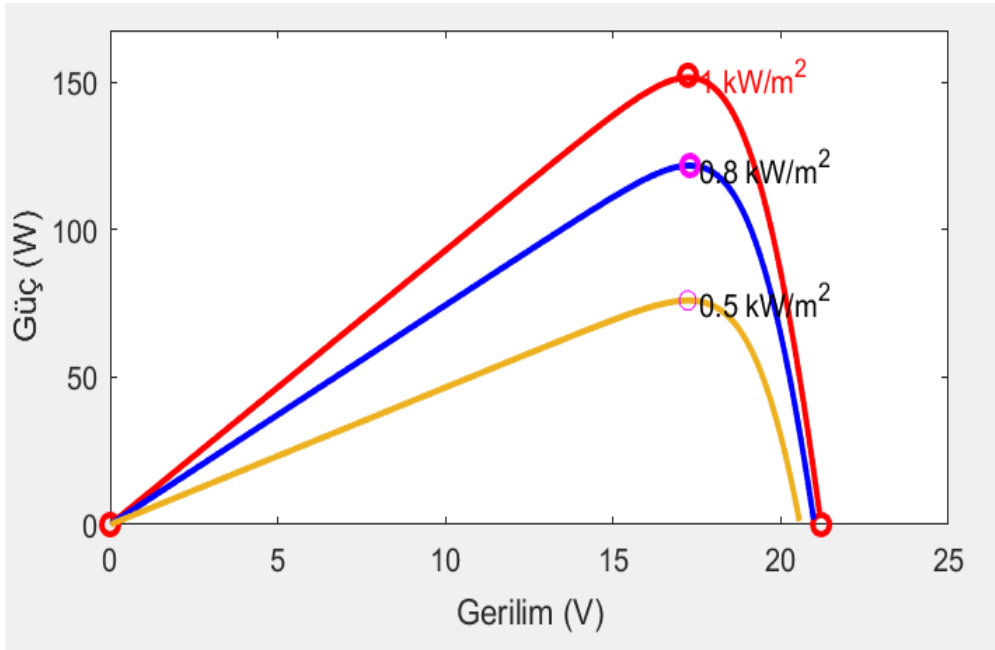
Şekil 2.2. Fotovoltaik panelin güç-gerilim değişimi eğrisi

PV panel akımı, kısa devre konumu olan sıfıra değerdeki gerilim için en büyük değerinde olur.  $V_{mpp}$  değerine ulaşana kadar artan gerilimle orantılı olarak PV panel akımı azalarak sıfıra iner. Bu durum, Şekil 2.3'te gösterilmektedir.

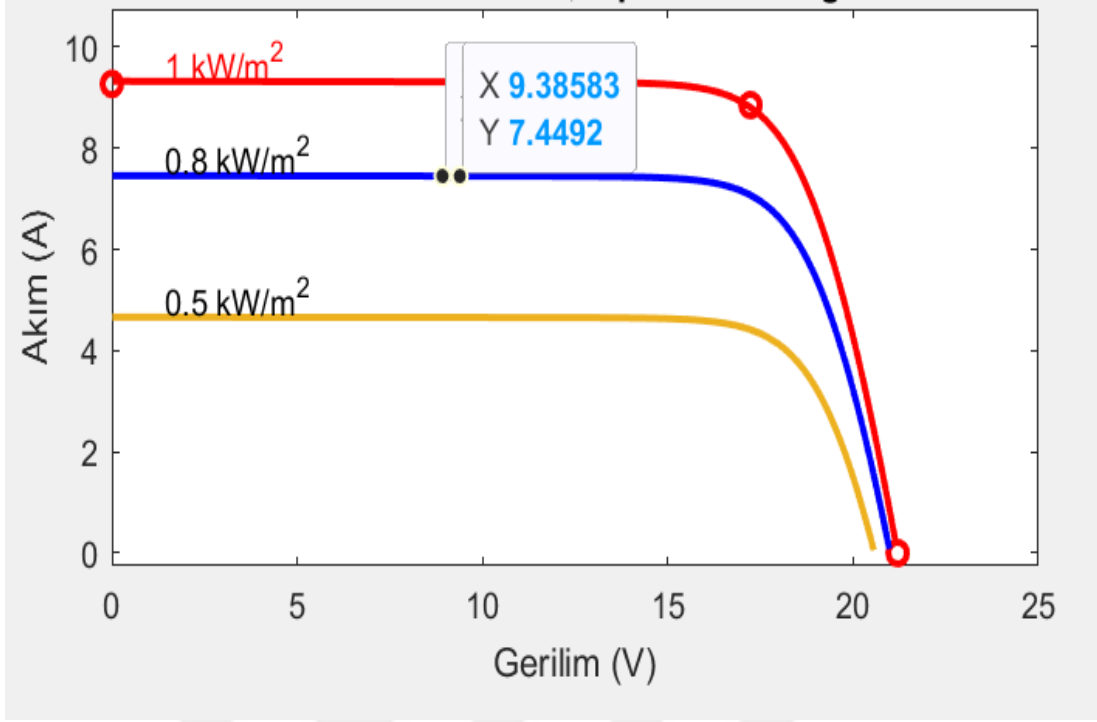


Şekil 2.3. PV panelin akım-gerilim eğrisi

PV panelin gerilim ve akım değerleri, güneş ışınımı ve sıcaklık değerlerinden etkilendiğinden, ışınımın değişimine bağlı güç-gerilim eğrisi Şekil 2.4 ve akım-gerilim eğrisi de Şekil 2.5'te göstermektedir.

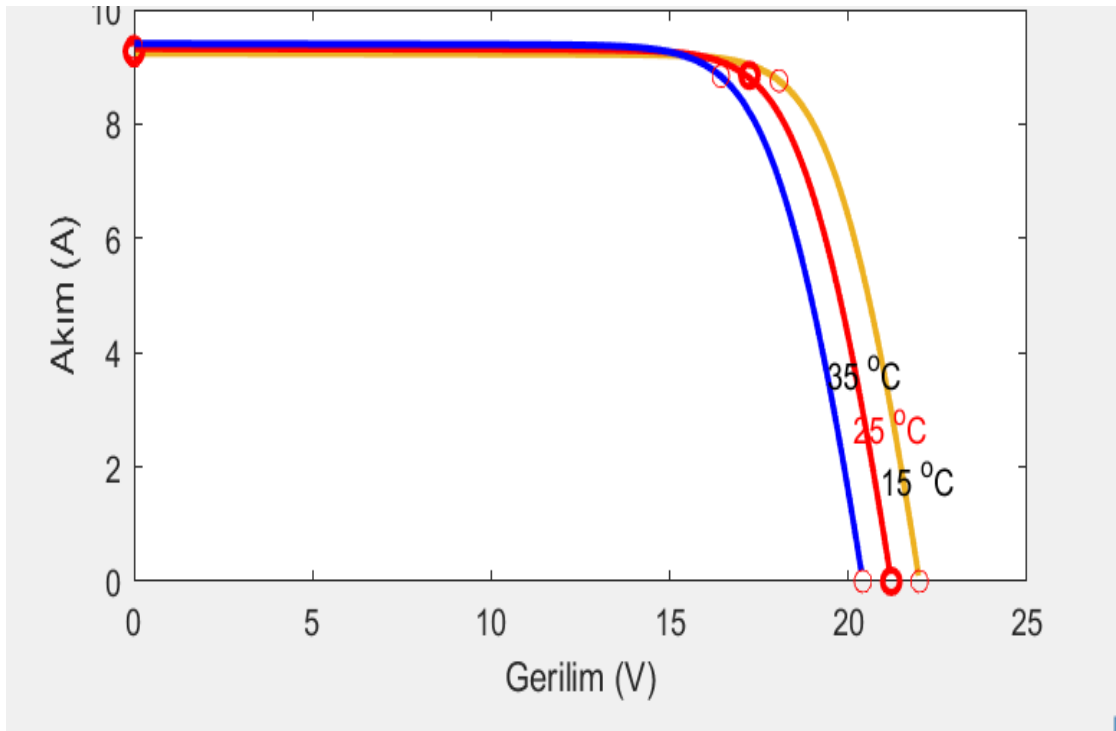


Şekil 2.4. Güneş ışına değişimine bağlı PV panelin güç-gerilim eğrileri



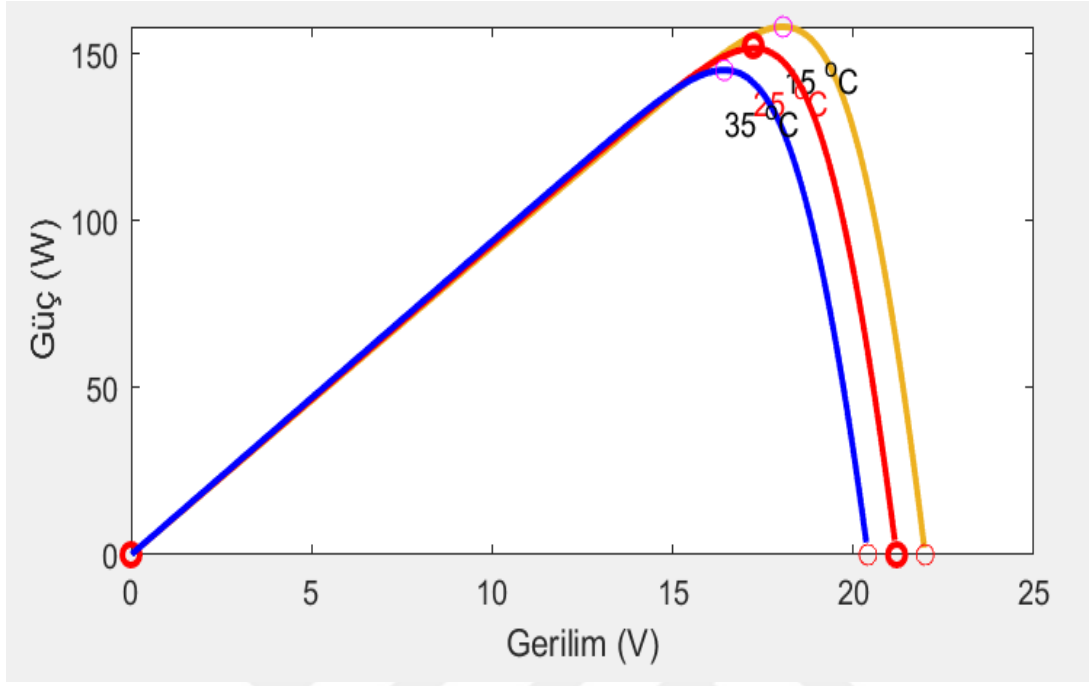
Şekil 2.5. Güneş ışınmasına bağlı PV panelin akım-gerilim eğrileri.

Şekil 2.4 ve 2.5'den görüldüğü gibi, güneş ışınımının artmasıyla PV panelden çekilen akım artmaktadır. Bununla birlikte, gerilim değeri sabit kalmasına rağmen güç artmaktadır.



Şekil 2.6. Sıcaklığa bağlı PV panel akım-gerilim eğriler

Şekiller 2.6 ve 2.7'de, sıcaklık değişimi ile PV panelden çekilen akımın yaklaşık sabit kaldığı görülmektedir.



Şekil 2.7. Sıcaklık değişimlerinde PV panel güç-gerilim eğrileri

Gerilimin azaldığı fakat gücün arttığı görülmektedir. Artış oranı, güneş ışınımına oranla daha küçük olduğu gözlenmektedir. Böylece PV panel modellemesinde etkili faktörler önem kazandığı gözlenmiştir.

### 3. MPPT ALGORİTMASI İLE DÖNÜŞTÜRÜCÜ KONTROLÜ

#### 3.1. Genel Tanımlar

PV panellerinde kullanılan dönüştürücülerin kontrolü, maksimum güç izleme noktasını (MPPT) belirlemede farklı algoritmalar kullanılmaktadır. Burada temel amaç, bu panellerden maksimum kapasitede güç üretmek ve PV panellerden alınan gerilimin ayarlanmasında en iyi çalışma noktası belirlenmesi amaçlanmaktadır.

DA ayarlayıcı veya diğer bir tanımla DC-DC dönüştürücüler, DA gerilimi bir seviyeden farklı başka bir değere dönüştürürler. Güç dönüştürücüsü olarak kullanılan bu düzenler, PV paneller, piller-bataryalar gibi düşük güç seviyelerinden daha yüksek güçler tüketen yükler arasında güç aktarımı amacıyla kullanılırlar. DA dönüştürücü türleri genel olarak:

- I.Boost tipi dönüştürücü (yükselten)
- II.Buck tipi dönüştürücü (düşüren)
- III. Cuk tipi dönüştürücü (yükselten/düşüren)

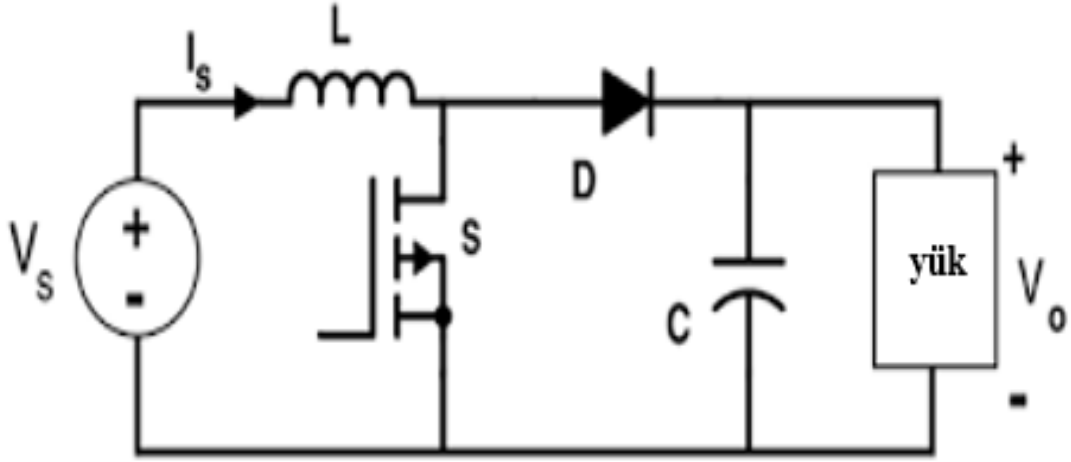
#### 3.2. Boost dönüştürücü

Bir DC gerilimi daha büyük değerli farklı bir DC gerilime dönüştüren DC-DC dönüştürücülerdir. Boost dönüştürücü, çıkış geriliminin giriş geriliminden büyük olduğu DC-DC anahtarlama dönüştürücülerdir. Ayrıca, adım dönüştürücü (step-up converter) olarak da adlandırılırlar. Çıkış gerilimi giriş gerilimden büyük olduğu için çıkış akımı giriş akımından küçüktür (Boost çevirici., 2022).

Şekil 3.1’de Boost dönüştürücünün genel prensip yapısını gösterilmektedir. Giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasındaki bağıntı Denklem (3.1) ile tanımlanabilir.

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D} \quad (3.1)$$

Burada; D, anahtarlama doluluk oranıdır.



Şekil 3.1. Boost dönüştürücünün prensip yapısı

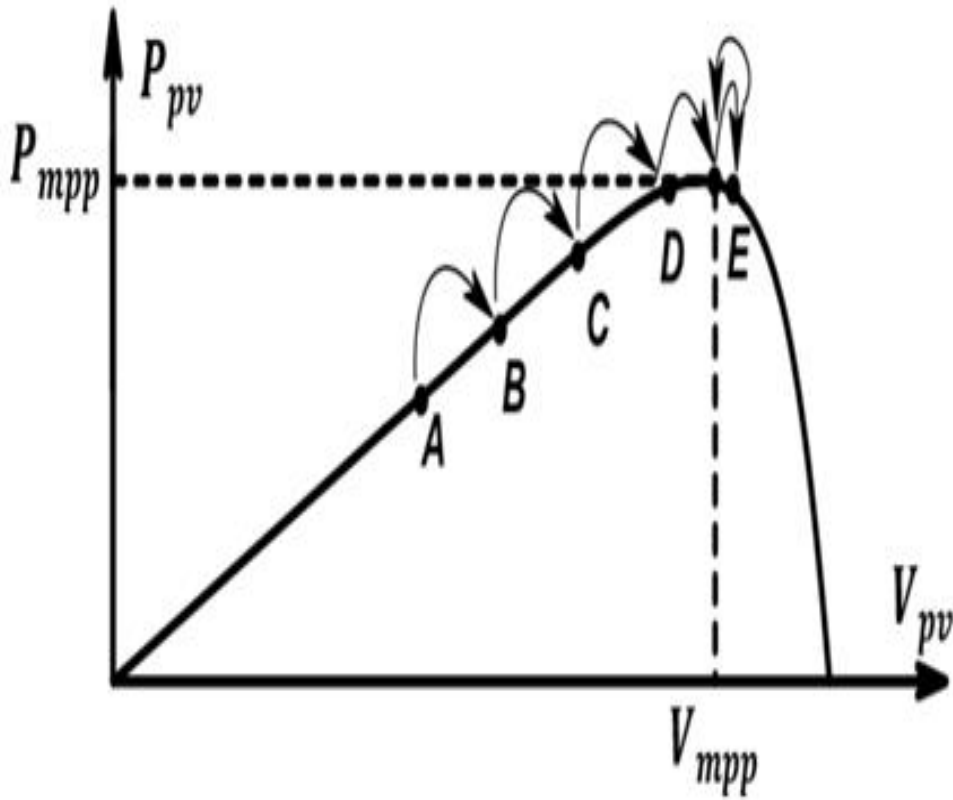
### 3.3. Maksimum Güç Noktası İzleme (MGNİ=MPPT) Algoritmaları

Güneş panelinden optimum şekilde faydalanmak için MGNİ takip algoritmaları kullanılmaktadır. Bir PV panelin güç dönüştürme sistemindeki MGNİ'nin görevi, hava veya yük koşullarından bağımsız olarak güneş dizisinden maksimum gücü çekecek şekilde sistemi sürekli olarak ayarlamaktır. Bilimsel literatürde önerilen birkaç MGNİ algoritması bulunmaktadır. Bu algoritmalarından bazıları, P&O ve INC-CON algoritmaları gibi bu algoritmalar olup gücün maksimum değerini takip etme prensibine dayanır. Bazı algoritmalar ise panel gerilimi veya akımını düzenler. Bununla birlikte yapay sinir ağları kontrol yöntemlerinin kullanıldığı algoritmalar da kullanılmaktadır (Esrām ve diğ., 2007) ; (Subudhi ve diğ., 2012) ; (Worku ve diğ., 2014). (Alajmi ve diğ., 2010) ; (Rai ve diğ., 2011) ; (Tsai ve diğ., 2012).

### 3.4. Değiştir Gözle Algoritması P&O

Bu yöntem, güneş panelinin çalışma noktasındaki geriliminin belirli bir yönde değiştirilmesine, yani artması veya azalmasına bağlı olarak kontrol prensibine dayanır. Değiştir ve gözle algoritmasında güneş panelleri dizisinin hem akım hem de gerilimi ölçülür. Temelde, ölçülen değerler çarpılarak bu algoritma ile anlık güç elde edilir. Daha sonra çalışma gerilimi değiştirilerek çıkış gücündeki

değişim gözlenir. Çıkış gücünde artış olduğunda gerilim değişimi doğru olduğu kabul edilir. Çıkış gücü azalmış ise gerilim değişimi hatalı olduğu kabul edilerek tersi yönünde değiştirilerek maksimum güç noktasına ulaşmaya kadar devam edilir. Böylece maksimum güç noktası değişim eğrisi ( $V_{pv}$ ,  $P_{pv}$ ) civarında sabitlenmesine çalışılır. Şekil 3.2’de PV paneli çalışma noktasının gerilim-güç değişimi eğrisi ( $V_{pv}$ ,  $P_{pv}$ ) üzerindeki değişim noktalarını göstermektedir (Farah ve diğ., 2020).



Şekil 3.2. Değiştir ve gözle algoritmasının (PPV, VPV) eğrisindeki çalışma noktaları

Şekil 3.3’te bu algoritmanın karakteristik eğrisi gösterilmektedir. Bu yöntem, en yaygın kullanılan maksimum güç nokta izleme yöntemlerinden biri olarak kabul edilir. Bu çalışmalar, son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimi alanında yapılan araştırmaların odak noktalarından biridir. MGNİ noktası civarında PV panelde üretilen gerilim değişiminde salınım ve bozunumlar oluşur. Bu bozunumların azaltılabilmesi için, yapılan anahtarlamalar darbe genişliği ayarı yöntemi ile yapılabilir. Bu işlemler,

algoritmayı yavaşlatır ve kararlılığa daha uzun sürede ulaşılır (Abo-Sennah ve diğ., 2021).



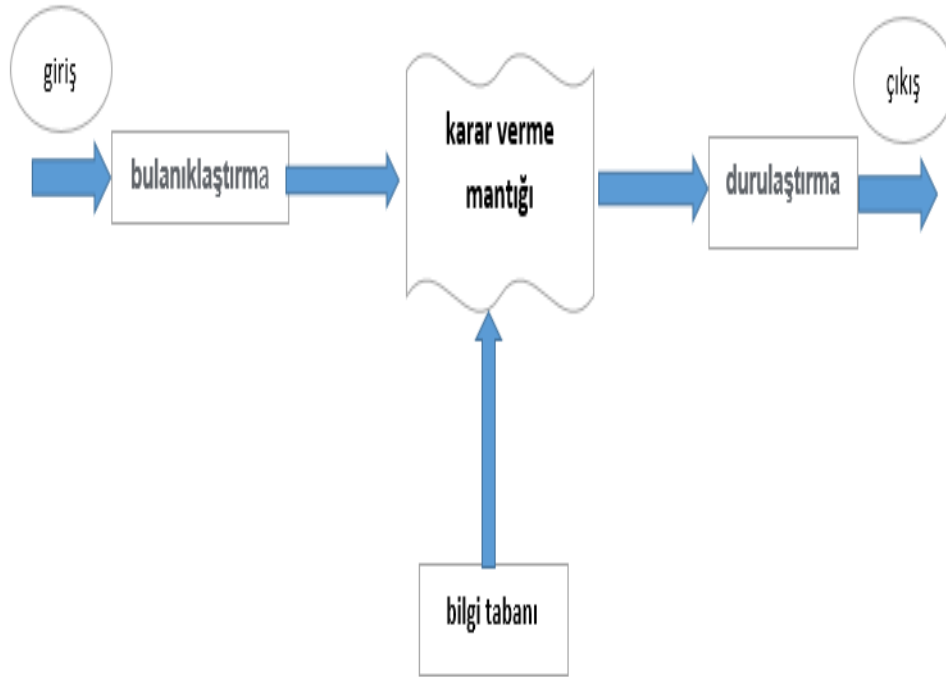
Şekil 3.3. Güneş paneli maksimum güç noktası takibi için değiştir ve izle algoritmasının blok diyagramı

Bulanık mantık, Lütfü Aliasker Zade tarafından 1965 yılında yayınlanan bir makalede formüle edilen mantıksal bir yapıdır (Bulanık mantık Vikipedi., 2023) .Bulanık mantık, yapay zekanın bir dalı sayılabilecek bulanık kontrolü temel olan insan deneyimine dayanmaktadır. Bulanık mantığı diğer kontrol yöntemlerine göre doğrusal olmayan sistem çalışma yeteneği ile karakterize edilir. Bununla birlikte, kontrol performansı sistem parametrelerindeki değişimden daha az etkilenir. Ayrıca, bulanık teknikler, sistemin niteliksel yönlerinden ve uzman bilgisinden yararlanılarak tasarlanmış bir yazılım dil tabanı kullanır. Bu özellikler, çalışılan sistemin matematiksel modele olan ihtiyacı ortadan kaldırarak sistem tasarımının ve uygulanmasını kolaylaştırır

(Hannan ve diğ., 2015) ; (Takun ve diğ., 2011) ; (Verma ve diğ., 2017) ; (Lalouni ve diğ., 2009).

Bulanık mantık kontrolörü, tasarımcı tarafından belirlenen bir aralıktaki değerleri ifade eden dil terimleri olarak giriş ve çıkışlarla çalışır. Çıkış değerlerindeki değişiklik, bulanık mantığı kullanılarak düzenlenecek durum değişkeninin değişikliklerinde bir yumuşaklık verir. Bulanık mantık teorisi, Karar vermede insan zihnine benzeyen akıllı sistemler çerçevesinde akıllı sistemler bağlamında karşılaşılabilecek farklı durumları göstermek için kullanılır. Bu teoriye dayanan kurallar, bu durumları kural kümeleri (IF-Then Rules) şeklinde temsil ederken, modelleme sistemlerinde yüksek derecede netlik sağlar. Artan iletkenlik (Radjai ve diğ., 2014) veya dğıştir ve izle gibi MPPT teknolojilerinin performansını iyileştirmek için kullanılabilir (Radjai ve diğ., 2015) ; (Larbes ve diğ., 2009).

Şekil 3.4'te bulanık kontrolör giriş-çıkış sinyali ve akış blok diyagramı gösterilmektedir.

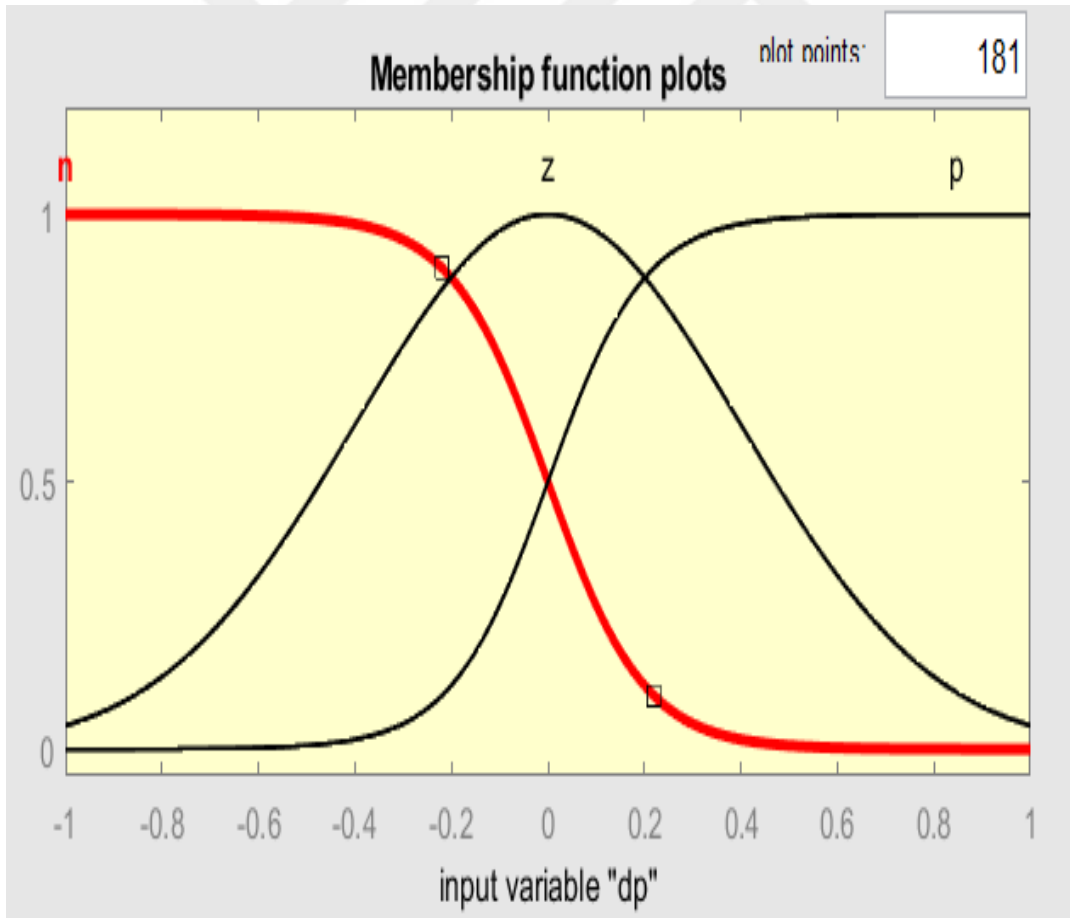


Şekil 3.4. Bulanık kontrolör genel yapısı

Bulanık mantık kontrolörü, hata sinyalini olası en düşük değere indirmek için bulanık bir PI kontrolörü (fuzzy PI controller) olarak uygulanabilir. Sistemin çalışma durumlarına göre esneklik sağlamak amacıyla farklı giriş bilgileri uygulanabilir (Hannan ve diğ., 2019) ; (Akyazı ve diğ., 2012) ; (Li ve diğ., 2019) ; (Wang ve diğ., 2011).

### 3.5. Bulanık Mantık Yöntemi ile Değiştir ve İzle Algoritmasına Dayalı MGNI Kontrol Sistemi Tasarımı

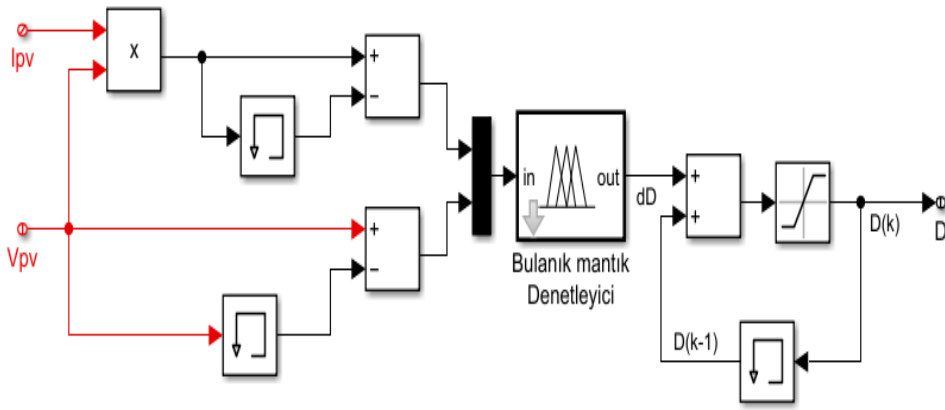
Algılama ve pertürbasyon algoritmasına dayalı MGNI kontrolörü, Şekil 3.5'te üyelik fonksiyonları gösterilen bulanık mantık tekniği kullanılarak tasarlanabilir. Şekil 3.6 ve 3.7'de gösterilen girdiler için üyelik fonksiyonları, Şekil 3.8'de çıktılar için üyelik fonksiyonları ve Tablo 3.1'de ise çalışma kuralları gösterilmektedir.



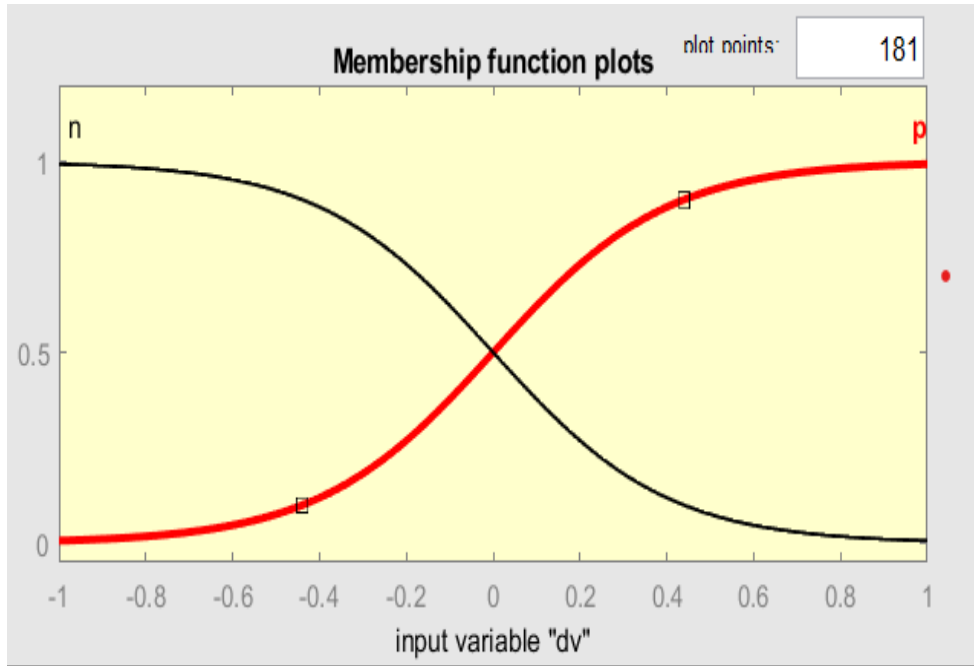
Şekil 3.5. Bulanık mantık tabanlı MPPT P&O denetleyicisinin yapısı

Tablo 3.1. Bulanık mantık çalışma kuralları

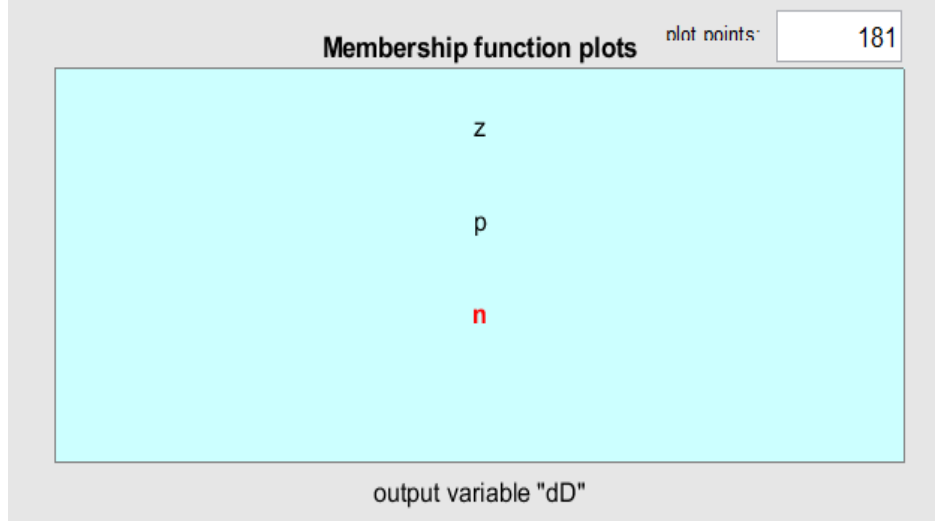
| $\Delta V / \Delta P$ | n | z | p |
|-----------------------|---|---|---|
| n                     | n | z | p |
| p                     | p | z | n |



Şekil 3.6.  $\Delta P$  girdisi için üyelik fonksiyonları



Şekil 3.7.  $\Delta V$  girdisi için üyelik fonksiyonları



Şekil 3.8.  $\Delta D$  girdisi için üyelik fonksiyonları

Şekil 3.5'te gösterildiği gibi, burada girişler:  $dP$  (güç değişimi),  $dv$  (gerilim değişimi) ve Şekiller 3.6 ve 3.7 girdilerin üyelik fonksiyonlarını göstermektedir. Çıkış sinyali  $dD$ 'dir (anahtarlama doluluk oranıdır) ve Şekil 3.8, çıkış sinyalinin üyelik fonksiyonlarını gösterir.

$dP$  giriş sinyali için üyelik grupları aşağıdaki gibi seçilmiştir:

$n$ , yani güçteki değişim negatiftir ve bu, gücün azaldığı anlamına gelir.

$p$ , güç değişiminin pozitif olduğu ve bu da gücün arttığı anlamına gelir.

$z$ , yani güçteki değişim sifıra eşittir ve bu, gücün değişmediği anlamına gelir.

$dv$  giriş sinyali için üyelik grupları da şu şekilde seçilmiştir:

$n$ , yani voltaj değişimi negatiftir ve bu voltajın azaldığı anlamına gelir.

$p$ , voltaj değişiminin pozitif olduğu ve bu voltajın arttığı anlamına gelir.

Çıkış sinyalinin üyelik grupları için üyelik grupları şu şekilde seçilmiştir:

$n$ , anahtarlama doluluk oranındaki değişim negatiftir, yani çalışma oranı azalmaktadır.

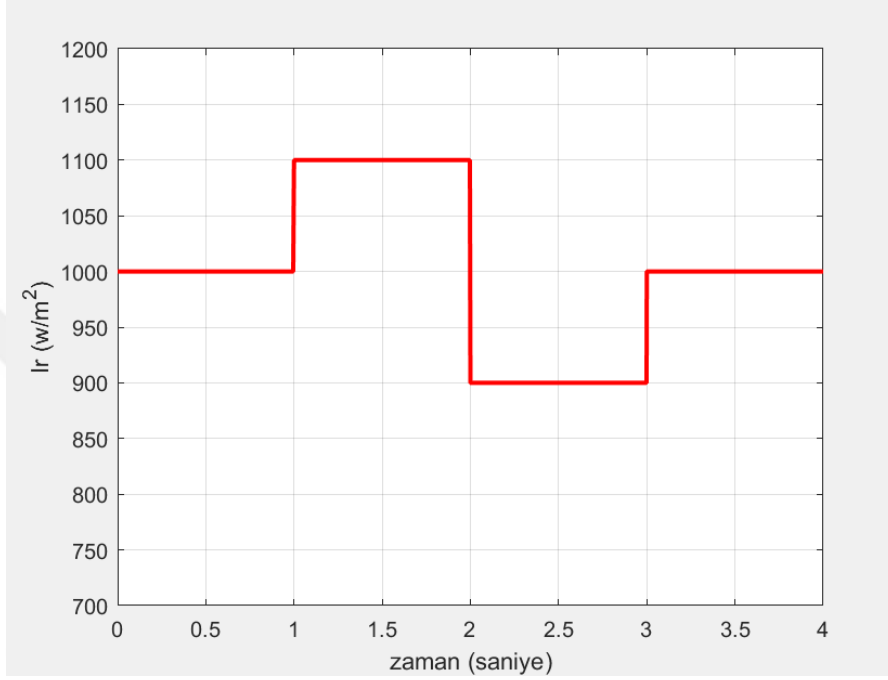
$p$ , anahtarlama doluluk oranındaki değişimin pozitif olduğu, yani işletme oranının arttığı anlamına gelir.

$z$ , yani çalışma oranındaki değişim sifıra eşittir ve bu, çalışma oranının değişmediği anlamına gelir.

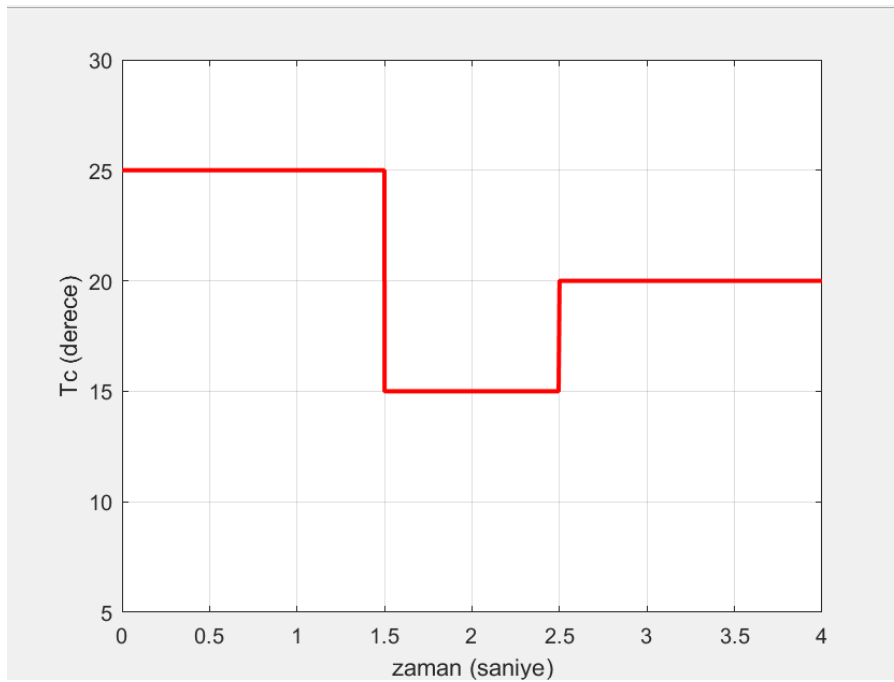
Güneş ışınlamı değişimi, Şekil 3.9'da gösterilmektedir. Zamana bağlı değişen ışınlam farklılıklar

### 3.6. Simülasyon Sonuçları

göstermektedir. Işınım değerinin sıcaklık ile değişimi Şekil 3.10'da gösterilmektedir. Tablo 3.2'de, kullanılan PV panel sayısına bağlı ve parametreler verilmiştir.



Şekil 3.9. Güneş ışınımı için varsayılan profil

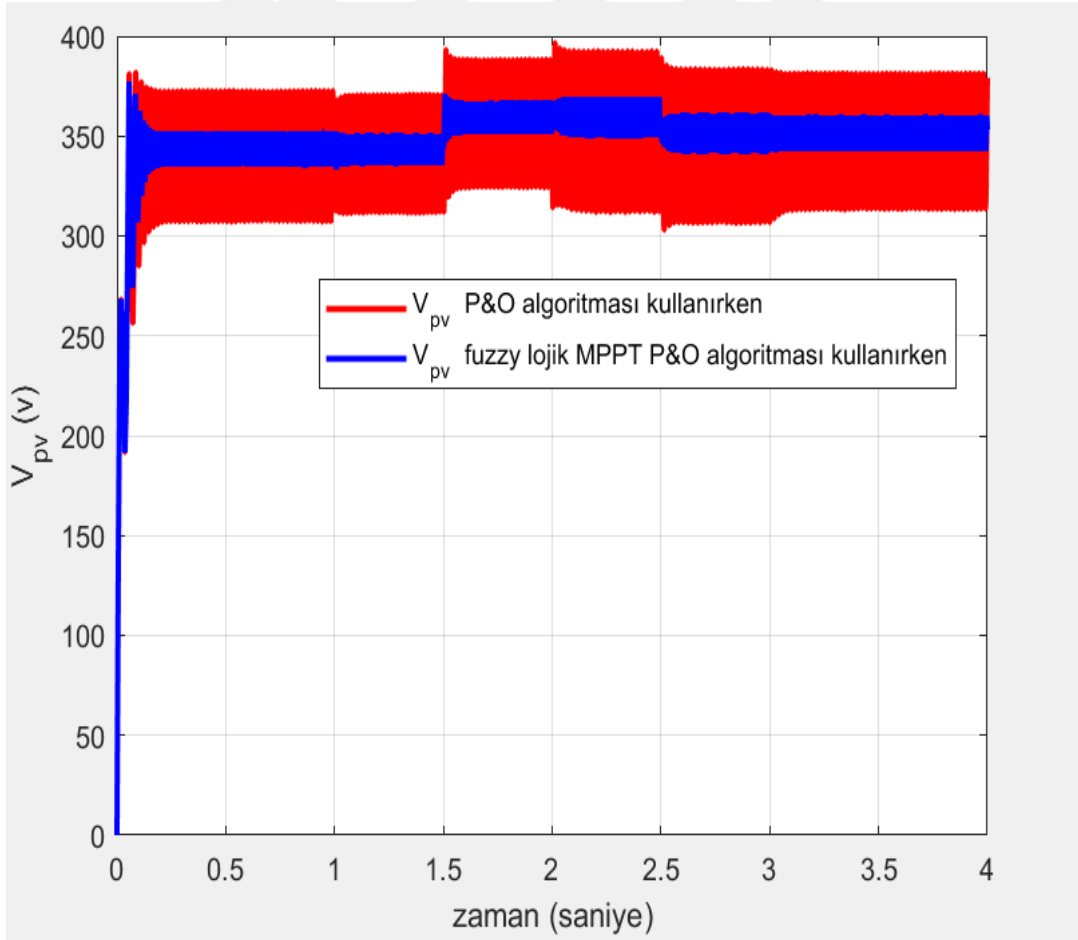


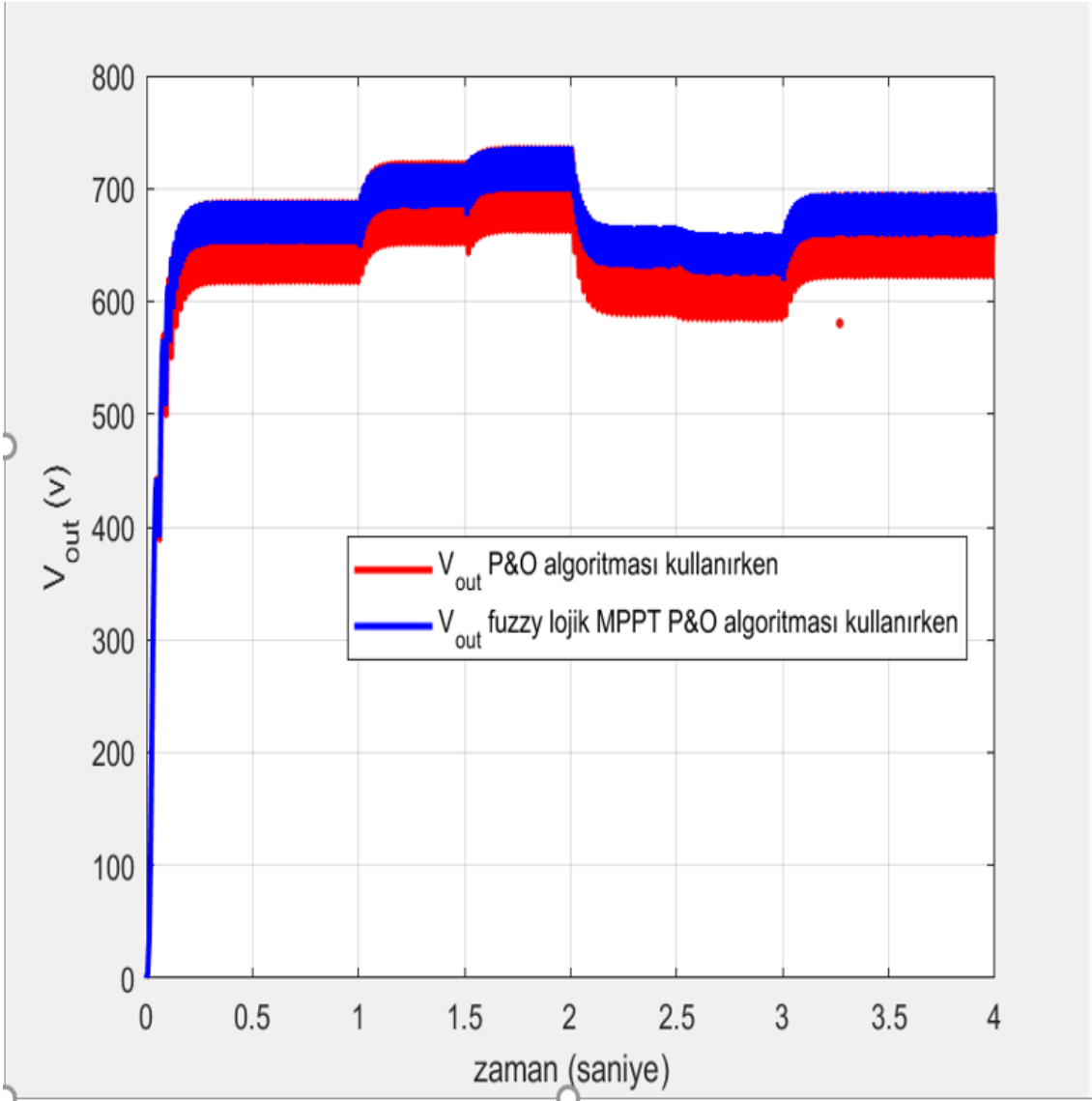
Şekil 3.10. PV panellerde ısı için varsayılan profil değişimi

Tablo 3. 2. Kullanılan PV panel sayısı parametreleri

|         |   |
|---------|---|
| 15      | Paralel bağlı panellerin sayısı   |
| 20      | Seri bağlı panellerin sayısı  |
| 152.4 W | Panelin maksimum gücü   |
| 21.2 V  | Açık devre gerilimi   |
| 17.23 V | Maksimum noktada gerilim değeri   |
| 9.27 A  | Kısa devre akımı  |
| 8.85 A  | Maksimum noktada akımın değeri  |
| 46 KW   | Sisteminin panellerin çıkış gücü (20° sıcaklık ve 1000 W/m <sup>2</sup> ışınımı için) |

Şekil 3.11’de PV panellerin çıkış gerilimleri, Şekil 3.12’de ise Boost dönüştürücü çıkışındaki yük uçlarındaki gerilimi göstermektedir.

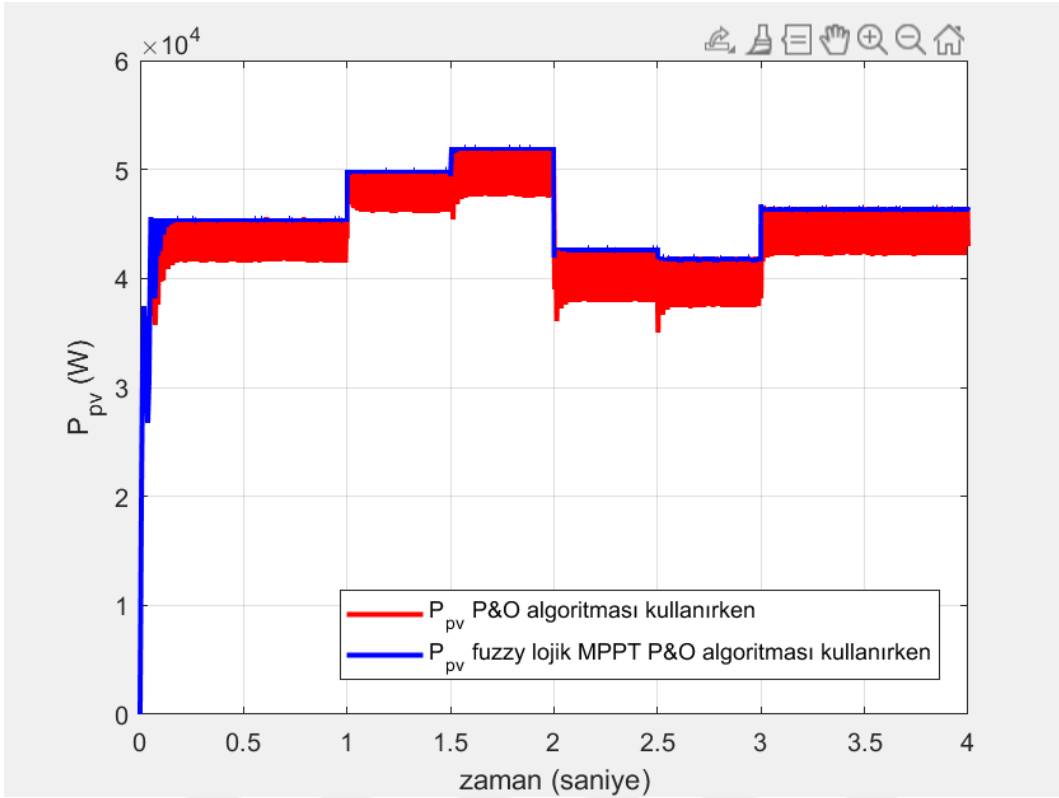




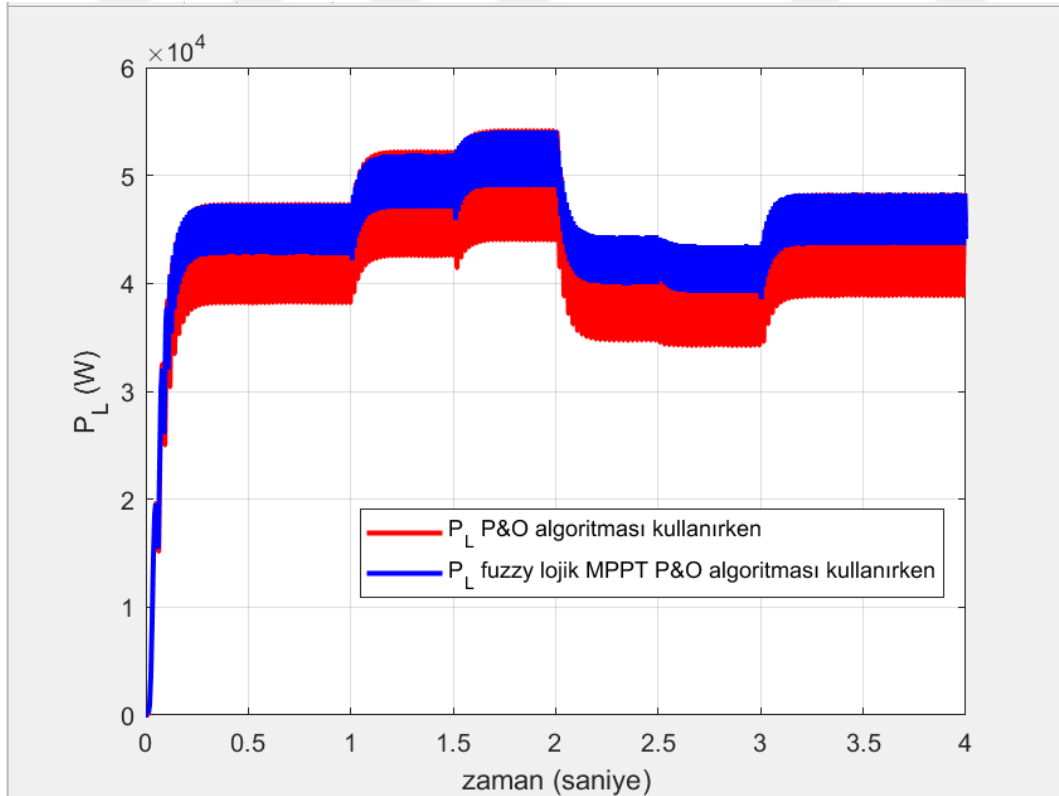
Şekil 3.12. Yük, Boost dönüştürücü çıkışındaki gerilim

Şekil 3.11 ve 3.12'de gösterilen şıktılar, bulanık mantığa dayalı MGNI kontrolörünün P&O MGNI kontrolörüne göre üstünlüğünü göstermektedir. Bulanık mantık tabanlı MGNI kontrolörüne kıyasla, P&O MGNI kontrolörü için PV panellerin çıkışındaki büyük gerilimj dalgalanmaları olması olumsuz bir durumdur. Bununla birlikte, bulanık mantığa dayalı MGNI kontrolöründe yükün uçlarındaki gerilim değerinin P&O MGNI kontrolörüne göre daha büyük olduğu görülmektedir.

Şekil 3.13, PV panellerden alınan gücü, Şekil 3.14 ise yükün-Boost dönüştürücü çıkışındaki gücü göstermektedir.



Şekil 3.13. PV panellerden alınan güç



Şekil 3.14. Yükün-Boost dönüştürücü çıkışındaki güç

Tablo 3. 3. FUZZY lojik kullanırken çıkış gerilimler

| FUZZY çıkış gerilimi  | $I_r=1000W/ m^2$ için | $I_r=1100W/ m^2$ için            | $I_r=900W/ m^2$ için             |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Panelin çıkışı        | 25° için 345 V        | 25° için 357 V<br>15° için 365 V | 15° için 373 V<br>20° için 350 V |
| Dönüştürücünün çıkışı | 25° için 665 V        | 25° için 700 V<br>15° için 720 V | 25° için 650 V<br>15° için 640 V |

Tablo 3. 4. P&amp;O MGNİ kullanırken çıkış gerilimler

| P&O çıkış gerilimi    | $I_r=1000W/ m^2$ için | $I_r=1100W/ m^2$ için            | $I_r=900W/ m^2$ için             |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Panelin çıkışı        | 25° için 330 V        | 25° için 343 V<br>15° için 350 V | 15° için 358 V<br>20° için 335V  |
| Dönüştürücünün çıkışı | 25° için 650 V        | 25° için 685 V<br>15° için 705 V | 25° için 635 V<br>15° için 625 V |

Tablo 3. 5. FUZZY lojik kullanırken çıkış güçler

| FUZZY çıkış gücü      | $I_r=1000W/ m^2$ için | $I_r=1100W/ m^2$ için              | $I_r=900W/ m^2$ için             |
|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Panelin çıkışı        | 25° için 46 KW        | 25° için 50 KW<br>15° için 51.5 KW | 15° için 42 KW<br>20° için 41 KW |
| Dönüştürücünün çıkışı | 25° için 46 KW        | 25° için 50 KW<br>15° için 51.5 KW | 15° için 42 KW<br>20° için 41 KW |

Tablo 3. 6. P&amp;O MGNİ kullanırken çıkış güçler

| P&O çıkış gücü        | $I_r=1000W/ m^2$ için | $I_r=1100W/ m^2$ için              | $I_r=900W/ m^2$ için                 |
|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Panelin çıkışı        | 25° için 43.5 KW      | 25° için 47 KW<br>15° için 48.5 KW | 15° için 39.5 KW<br>20° için 38.7 KW |
| Dönüştürücünün çıkışı | 25° için 43.5 KW      | 25° için 47 KW<br>15° için 48.5 KW | 15° için 39.5 KW<br>20° için 38.7 KW |

Şekil 3.13 ve 3.14'de gösterilen sonuçlar, bulanık mantık tabanlı MGNİ kontrolörünün, P&O MGNİ kontrolörüne göre üstünlüğünü göstermektedir. Görüldüğü gibi P&O MGNİ kontrolöründe 20°C sıcaklık ve güneş ışınımı  $I_r=1000W/m^2$  değerlerinde, Boost dönüştürücünün çıkışındaki ortalama güç  $4.35 \cdot 10^4 W$ 'dir. Aynı zamanda bulanık tabanlı MGNİ kontrolörü için boost dönüştürücünün çıkışındaki ortalama güç  $4.6 \cdot 10^4 W$  yani %5,74 daha fazla bir güç değeri sağlanmaktadır.

## 4. PV PANELDEN BESLENEN POMPA TAHİRİK SİSTEMİNİN ENDÜKSİYON MOTORUNUN KAYAN KİP KONTOLÜ

### 4.1. Endüksiyon Motor Çalışma ve Kontrolü

Asenkron motorlar, yüksek güvenilirlikleri, düşük maliyetleri ve yüksek dayanıklılıkları ile tanımlanırlar. Endüstriyel tesis ve işletmelerde yaygın olarak kullanıldıkları kabul edilirler (Diyoke ve diğ., 2016); (Chen ve diğ., 2015); (Jisha ve diğ., 2013); (Ebrahim ve diğ., 2008); (Tan ve diğ., 2003); (Fereka ve diğ., 2018). Asenkron motorun hızı, uygulanan gerilim değeri, frekansı ve manyetik kutup sayısına bağlıdır. Yarıiletken kontrol yöntemlerinin geliştirilmesi öncesinde, bu motorların kontrolü zordu (Ebrahim ve diğ., 2008) Güç yarıiletkenler ve sayısal kontrolün gelişimi ile, kolay hale gelmiştir. Motor kontrol yöntemlerinden yönlendirilmiş akı kontrol (YAK, Field-Oriented Control: FOC) yöntemi uygulanırken, asenkron motorun çalışması DC motora benzetilebilir (Jisha ve diğ., 2013); (Ebrahim ve diğ., 2008). Bu bölümde, üç fazlı asenkron motoru incelenerek ve FOC yöntemine dayalı bir tahrik sistemi geliştirilmesi hedeflenmiştir. Hız ve manyetik akıyı düzenlemek için harici kontrol döngüsünde PI kontrolör ve kayan kipli kontrolör arasında karşılaştırma yapılmaktadır. Dahili kontrol döngüsü için, üç fazlı akımların düzenlenmesinde hysteresis ayarlayıcılar kullanılacaktır.

Üç fazlı asenkron motorlar, benzer motorlarla karşılaştırıldığında birçok uygulamada daha yüksek enerji yoğunluğu mekanik dayanım gibi üstünlükler görülür. Asenkron motor hız kontrolünde güç eviricilere gereksinim duyulur. Hızlı teknolojik yenilikler ve endüstriyel devrimle birlikte indüksiyon motor kontrolü kolaylaşmıştır. Bilezikli ve sincap kafesli olmak üzere iki farklı türde asenkron motor yaygın olarak kullanılmaktadır.

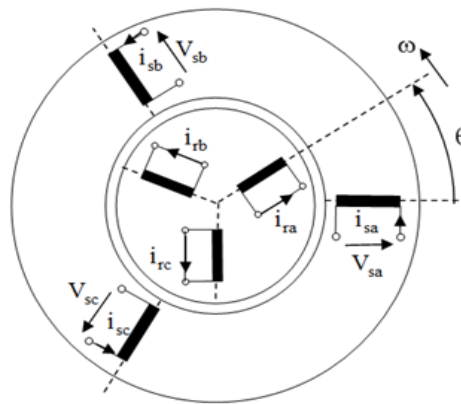
Stator: Foucault akımlarını azaltmak için birbirinden izole edilmiş ardışıl paketlenmiş ince demir saç levhadan oluşan çekirdeğe sarılmış üç fazlı sargıların döküm veya benzeri bir gövdeye yerleştirilmesinden oluşan duran kısma stator denmektedir. Stator çekirdeğindeki oluklara yerleştirilen bakırdan tellerden sarılan bobinler üç fazlı olarak 120° açılarla yerleştirilmiştir.

Rotor: Motorun dönen kısmını oluşturan ve genelde birbirinden elektriksel olarak yalıtılan demir saç levhaların bir silindirik çubuk şeklinde çelik mil üzerine yerleştirilerek rulmanlarla desteklenen kısımdır.

Sargılı-Bilezikli Rotor: Sargılı asenkron motorlarda sargılar stator sargılarında olduğu gibi rotor saç paketindeki oluklara yerleştirilmiştir. Sargı uçları, rotor ile dönmekte olan mile sabitlenen iletken bakır bileziklere bağlanır. Bileziklere elektrik akımı aktaran besleme devresine, bileziklere sürtünerek akım akım aktaran karbon-bakır alaşımlı fırçalar ile sağlanmaktadır.

Sincap Kafesli Rotor: Rotor oluklarına yerleştirilen sargı eşdeğeri iletken çubukların uçları bilezik benzeri iletkenlerle kısa devre edilmiştir. Bu kısa devre çubuklarında stator sargılarından akan akım etkisi ile gerilimler indüklenerek kısa devre akımları ve dolayısıyla manyetik alan oluşur. Motorun dönmesi ve dolayısı ile döndürme momentinin üretilmesini sağlar. Stator bobinlerini besleyen gerilimin frekansına bağlı olarak rotor-stator arasındaki hava aralığında aynı frekansta dönen bir elektromanyetik alan oluşur.  $\omega_s = 2\pi f_s$  açısal hızıyla dönen manyetik alan rotor iletkenleriyle etkileşime girerek iletkenlerden bir elektrik akımı dolaşmasını sağlar. Bu akımların oluşturduğu manyetik alan etkisi ile oluşan elektromotor kuvvet etkisi ile bu hıza yakın bir devir ve moment indüklenir (Diyoke ve diğ., 2016)

#### 4.2. Üç Fazlı Asenkron Motorun Matematiksel Modeli



Şekil 4.1. Asenkron motorda a, b ve c eksen sistemindeki üç fazlı endüksiyon motorun genel yapısı (Diyoke ve diğ., 2016).

Motorunun matematiksel modeli Şekil 4.1'de gösterilen genel eşdeğer devreye göre oluşturulabilir.

Motorda  $\omega$ , elektriksel rotor açısal hızıdır. Motorun çift kutup sayısı ve mekanik hızına bağlıdır. Şekil 4.1'de verilen motorda, fazların dirençlerinin eşit olduğu varsayılarak, stator faz gerilimleri Denklem (4.1), (4.2) ve (4.3) ile tanımlanabilir.

$$\text{a fazı için:} \quad V_{sa} = R_s I_{sa} + \frac{d\phi_{sa}}{dt} \quad (4.1)$$

$$\text{b fazı için:} \quad V_{sb} = R_s I_{sb} + \frac{d\phi_{sb}}{dt} \quad (4.2)$$

$$\text{c fazı için:} \quad V_{sc} = R_s I_{sc} + \frac{d\phi_{sc}}{dt} \quad (4.3)$$

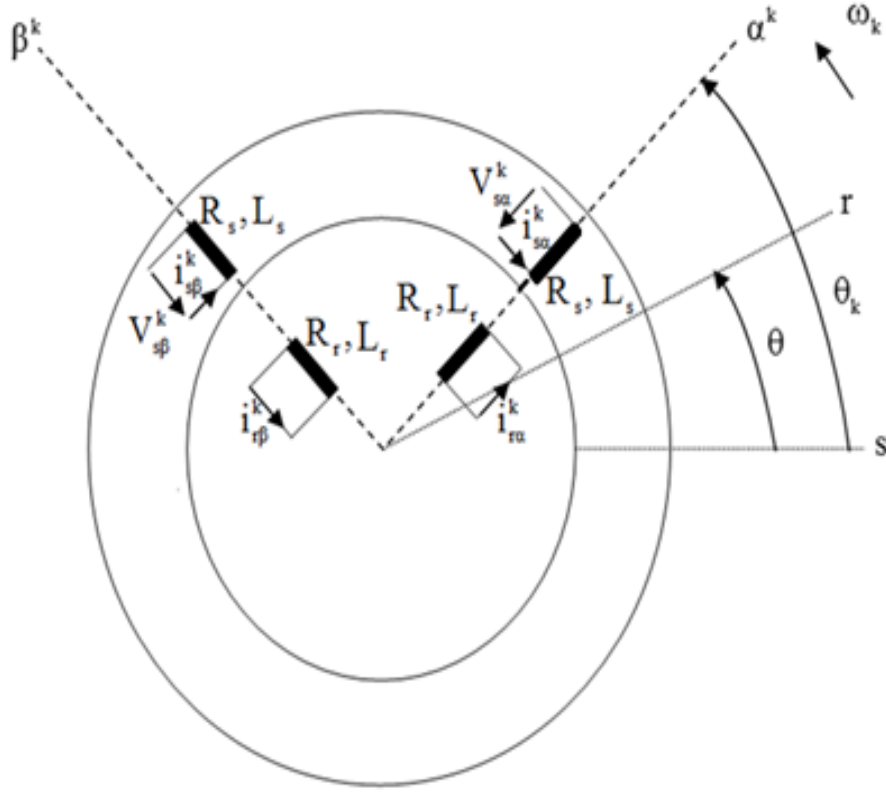
Benzer şekilde, Şekil 4.1'den, faz dirençleri eşit varsayarak, rotor faz gerilimleri Denklem (4.1), (4.2) ve (4.3) ile tanımlanabilir.

$$\text{a fazı için:} \quad V_{sa} = R_r I_{sa} + \frac{d\phi_{ra}}{dt} \quad (4.4)$$

$$\text{b fazı için:} \quad V_{sb} = R_r I_{sb} + \frac{d\phi_{rb}}{dt} \quad (4.5)$$

$$\text{c fazı için:} \quad V_{sc} = R_r I_{sc} + \frac{d\phi_{rc}}{dt} \quad (4.6)$$

Burada;  $V_{s(r)abc}$  rotorun ve stator gerilimleri,  $i_{s(r)abc}$  rotor ve stator akımları,  $\phi_{s(r)}$  rotor ve stator manyetik akıları,  $R_{s(r)}$  rotor ve stator sargı dirençleri, s indisi, stator ve r indisi rotoru göstermektedir. Tanım denklemleri, zamanla değişen sabitler içerir. Dolayısıyla, çözümleri karmaşıktır. Bu nedenle, üçlü eksen sistemi yerine, Şekil 4.2'de gösterilen, statora göre  $\omega_k$  rasgele bir hızla dönen ve ortogonal bir koordinat eksen  $(\alpha^k, \beta^k)$  sistemi tanımlanmıştır.



Şekil 4.2. Rastgele hızda dönen  $\alpha^k, \beta^k$  eksenleri sisteminde üç fazlı endüksiyon motor prensip devresi (Li ve diğ., 2019)

Bilindiği gibi, d, q eksen takımında  $\omega_k = \omega_s$  tanımlanabilir. Üç eksenli sistemden iki eksen sistemine geçiş için klark dönüşümü kuralları kullanılır (Li ve diğ., 2019); (Sudaryanto ve diğ., 2020).

Klark dönüşüm kuralları, Denklem (4.7) ve (4.8) ile tanımlanabilir.

$$\begin{bmatrix} X_d \\ X_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta_s) & \cos(\theta_s - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta_s + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\theta_s) & -\sin(\theta_s - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_s + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{sa} \\ X_{sb} \\ X_{sc} \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

$$\begin{bmatrix} X_{sa} \\ X_{sb} \\ X_{sc} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta_s) & -\sin(\theta_s) \\ \cos(\theta_s - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_s - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta_s + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_s + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_d \\ X_q \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Rotor akıları,  $\Phi_{rd}$ ,  $\Phi_{rq}$  ile tanımlanmaktadır. Stator akımları ise  $i_{sd}$ ,  $i_{sq}$  ile gösterilip durum değişkeni olarak kabul edilir. Bu eksen sistemi,  $\omega_k$  açısız hız ile döndüğü kabul edilerek motor Denklem (4.9) ve (4.13) ile verilir (Fereka ve diğ., 2018).

$$\frac{di_{sd}}{dt} = -a_5 i_{sd} + \omega_k i_{sq} + a_3 \Phi_{rd} + a_4 \omega \Phi_{rq} + b v_{sd} \quad (4.9)$$

$$\frac{di_{sq}}{dt} = -\omega_k i_{sd} - a_5 i_{sq} - a_4 \omega \Phi_{rd} + a_3 \Phi_{rq} + b v_{sq} \quad (4.10)$$

$$\dot{\Phi}_{rd} = a_2 i_{sd} - a_1 \Phi_{rd} + (\omega_k - \omega) \Phi_{rq} \quad (4.11)$$

$$\dot{\Phi}_{rq} = a_2 i_{sq} - (\omega_k - \omega) \Phi_{rd} - a_1 \Phi_{rq} \quad (4.12)$$

$$\dot{\omega} = \left(\frac{p}{J}\right) (G \Phi_{rd} i_{sq} - G \Phi_{rq} i_{sd} - T_d) - \left(\frac{f}{J}\right) \omega \quad (4.13)$$

Burada;

$$a_1 = \frac{R_r}{L_r}, \quad a_2 = \frac{L_m R_r}{L_r}, \quad a_3 = \frac{L_m R_r}{\sigma L_s L_r^2}, \quad a_4 = \frac{L_m}{\sigma L_s L_r}, \quad a_5 = \frac{L_r^2 R_s + L_m^2 R_r}{\sigma L_s L_r^2}, \quad b = \frac{1}{\sigma L_s}$$

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}, \quad G = \frac{p L_m}{L_r}$$

$\omega_k$  : d, q eksenlerin açısız hızı  $=\omega_s$

$v_{sq}$ ,  $v_{sd}$  : d, q eksen sistemi stator gerilim bileşenileri

$i_{sq}$ ,  $i_{sd}$  : d, q eksen sistemi stator akım bileşenileri

$\Phi_{rq}$ ,  $\Phi_{rd}$  : d, q eksen sistemi stator akı bileşenileri

$\omega = p\Omega$ : elektriksiz açısız hızı ( $p$ ) çift kutup sayısı,  $\Omega$  rotorun mekanik açısız hızı

$L_m$ , Sataor ve rotorun periyodik endüktansı

$L_s$ : Stator endüktansı

$L_r$ : Rotor endüktansı

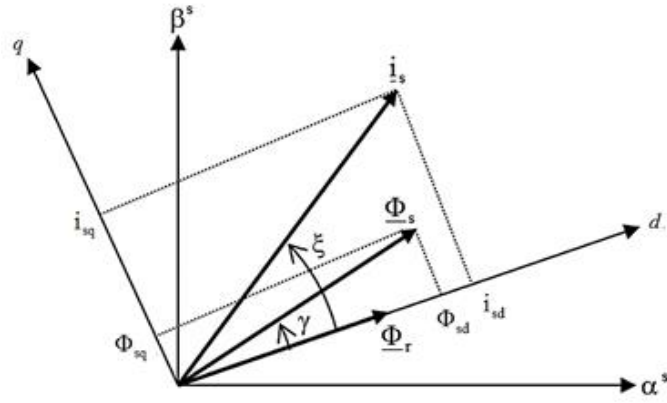
$J$  : atalet momenti

$T_d$ : yük momenti

$f$ : sürtünme katsayısı

### 4.3. Yönlendirilmiş Akı Yöntemi ile Motor Kontrolü:

Yönlendirilmiş akı yöntemi ile 3 fazlı motorun çalışması, doğru akım motorun çalışma prensibine benzetilir. Şekil (4.3) de gösterdiği gibi rotor akısı  $\Phi_r$  d eksenini yönündedir. (Ammar ve diğ., 2016); (Echeikh ve diğ., 2016).



Şekil 4.3. d eksenindeki rotor akısı

Şekil 4.3 de gösterildiği gibi rotor akısı Denklem (4.14) ve (4.15) ile tanımlanarak akı kontrolü gerçekleştirilebilir.

$$\underline{\Phi}_r = \Phi_{rd} = \Phi_r \quad (4.14)$$

$$\Phi_{rq} = 0 \quad (4.15)$$

İç kontrol döngüsünde kullanılacak ayarlayıcı ile 3 fazlı akım ayarları yapılır. Bununla motor sürücüsündeki evirici için gerekli sürücü kontrol sinyalleri üretilir.

#### 4.4. PI Kontrolörüyle Motor Kontrolü

PI kontrolörü, elektrik makinalarının kontrolünde yaygın ve kolay kontrolörlerden biridir. Değişen sistem parametrelerine duyarlı olmaları dezavantaj sayılmaktadır.

PI kontrolörü ile  $\Phi_{rd}$  rotor akı kontrolü Denklem (4.14) ve (4.15) te Denklem (4.11) deki tanım konarak Denklem (4.16) elde edilir.

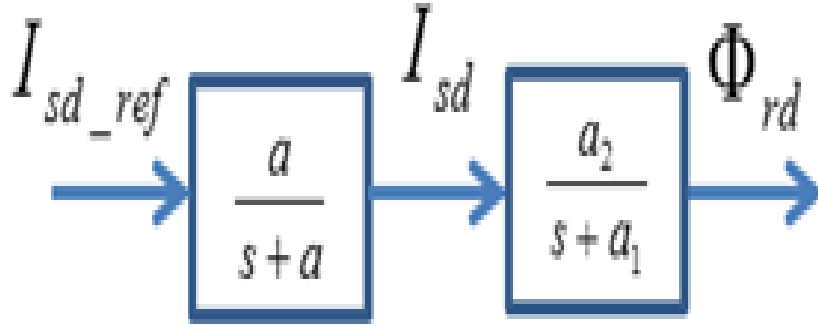
$$\dot{\Phi}_{rd} = a_2 i_{sd} - a_1 \Phi_{rd} \quad (4.16)$$

Burada;  $i_{sd}$  giriş ve  $\Phi_{rd}$  çıkış sinyalleri ile birinci dereceden bir transfer fonksiyonu ile tanımlanarak Denklem (4.9) da yerine konup iç bozunumların ihmal edilmesiyle, Denklem (4.17) şeklinde yazılabilir.

$$\frac{di_{sd}}{d} = -a_5 i_{sd} + b v_{sd} \quad (4.17)$$

Denklem (4.17),  $i_{sd}$  çıkış ve  $v_{sd}$  giriş sinyalleri ile birinci dereceden bir transfer fonksiyonu ile gösterilebilir. Fakat,  $i_{sd}$  akımı ayarı için yavaşlatan

bir ayarlayıcı düzenek eklenebilir. Böylece, ayarlama döngüsünde giriş sinyali ( $i_{sd\_ref}$ ) ve çıkış sinyali  $i_{sd}$  olan birinci dereceden bir transfer fonksiyonu ile tanımlanabilir. Motorun kontrol blok diyagramı, d eksenini doğrultusunda Şekil 4.4’de gösterilebilir.



Şekil 4.4. d eksenini motor kontrol blok diyagramı

Şekil 4.4’de gösterilen blok diyagramından görüldüğü gibi,  $\Phi_{rd}$  akı ayarı ve referans akımı ( $i_{sd-ref}$ ) bulmada bir PI kontrolörü eklenebilir.

#### 4.5. PI Kontrolörü ile $\omega$ Elektromanyetik Hız Kontrolü

(4.13) denklemi (4.14)ve(4.15)’te yerine konarak dış bozunum  $T_d$  ihmal edilmesiyle,  $i_{sq}$  giriş ve  $\omega$  çıkış sinyalleri ile tanımlanan birinci dereceden bir transfer fonksiyonu şeklinde Denklem (4.18) elde edilebilir

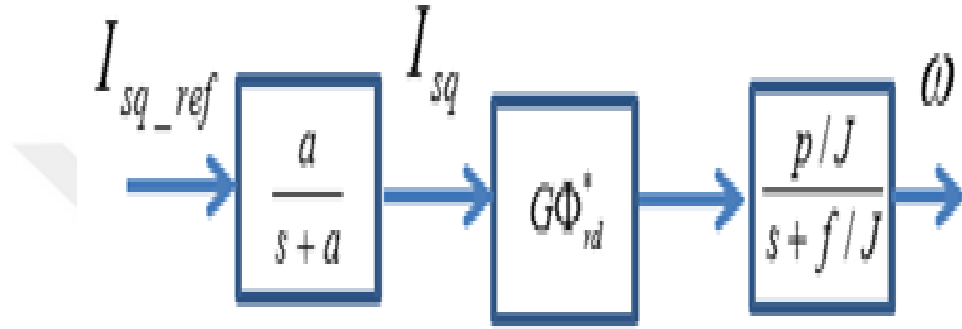
$$\dot{\omega} = (p/J)(G\Phi_{rd}^*i_{sq}) - (f/J)\omega \quad (4.18)$$

İç bozunumlar ihmal edilerek, Denklem (4.10) tanımı, Denklem (4.19) da verilen ifade gibi yazılabilir.

$$\frac{di_{sq}}{dt} = -a_5i_{sq} + bv_{sq} \omega \quad (4.19)$$

Dolayısıyla,  $i_{sq}$  çıkış ve  $v_{sq}$  giriş sinyali ile tanımlanan birinci dereceden bir transfer fonksiyonu ile gösterim yapılabilir.

$i_{sq}$  akım ayarı için, yavaşlatan ayarlayıcı devre eklenerek ayar döngüsü  $i_{sd}$ , çıkışı, ( $i_{sq\_ref}$ ) ise girişi olan birinci dereceden bir transfer fonksiyonu ile tanımlanabilir. Denklem (4.18) de tanımlanan transfer fonksiyonuna benzer. Böylece motor kontrol blok diyagramı, Şekil 4.5' de gösterildiği gibi q eksenini yönünde gösterilebilir



Şekil 4.5. q eksenindeki motor kontrolü blok diyagramı

Şekil 4.5'te gösterilen blok diyagramından görüldüğü gibi, elektromanyetik hız ve referans akımı ( $i_{sd-ref}$ ) bulmada bir PI kontrolörü eklenebilir.

#### 4.6. Eksen Sisteminde $\omega_k$ Elektromanyetik Hız

Referans akımlar ( $i_{sd\_ref}, i_{sq\_ref}$ ) elde edildikten sonra, 3 faz referans akımlarına ( $i_{sa\_ref}, i_{sb\_ref}, i_{sc\_ref}$ ) dönüştürülür. Bununla birlikte  $\omega_k$  elektromanyetik hızın hesabında üç eksenli sistemden iki eksenli sisteme dönüşüm yapılır. PI kontrolü için Denklem (4.12) eşitliği Denklem (4.14) ve (4.18) de yerine konarak Denklem (4.20) deki  $\omega_k$  elde edilebilir (Echeikh ve diğ., 2016) ; (Wang ve diğ., 2018) .

$$\omega_k = \frac{a_2 i_{sq}}{\Phi_{rd}} + \omega \quad (4.20)$$



$$v = v_{eq} + v_{att} \quad (4.21)$$

Burada;  $V_{eq}$ : eşdeğer gerilimi ve bu sistemin kayan yüzey üzerindeki dinamiklerini tanımlayan gerilimdir.  $V_{att}$  ise çekim gerilimi olup, sisteme bağlı durum trafosunu kayma yüzeyine doğru hareket ettirmeye çalışan gerilimdir.

#### 4.7.1. Hız Ayar

Hız ayarı yapılırken, öncelikle, düzenlenecek değişken için buna ait referans değerine bağlayan uygun bir fonksiyon seçilmelidir. Bu fonksiyon, sıfıra uzak ve türetilmesiyle sisteme etkin girdi vermesi gibi iki koşulu sağlamalıdır.

Hız ayar döngüsü komutasyon fonksiyonu, Denklem (4.22) şeklinde tanımlanabilir.

$$S_\omega = \omega_{ref} - \omega \quad (4.22)$$

Denklem (4.22) den türev alınarak denklem (4.13) te yerine konursa, Denklem (4.23) elde edilir.

$$\dot{S}_\omega = \dot{\omega}_{ref} - (P/J)(G\Phi_{rd}i_{sq}) + (f/J)\omega \quad (4.23)$$

Hızı kayma yüzeyine doğru hareket etmeye zorlamak için, denklem (4.24) deki çekim yasası kullanılabilir.

$$\dot{S}_\omega = -K_1 \text{sig}(S_\omega) - Q_1(S_\omega) \quad (4.24)$$

Denklem (4.23) ve (4.24) eşitlenerek denklem (4.25) elde edilir.

$$i_{sq-ref} = (\dot{\omega}_{ref} + (f/J)\omega + K_1 \text{sig}(S_\omega) + Q_1(S_\omega)) / ((PG/J)\Phi_{rd}) \quad (4.25)$$

#### 4.7.2. d Eksen Akı Ayarı

d eksenini akı ayarı için Denklem (4.26) komutasyon fonksiyonu kullanılabilir.

$$S_d = \Phi_{rd-ref} - \Phi_{rd} \quad (4.26)$$

Denklem (4.26) dan türev alınarak (4.11) denkleminde yerine konulması ile Denklem (4.27) bulunur.

$$\dot{S}_d = \dot{\Phi}_{rd-ref} - a_2 i_{sd} + a_1 \Phi_{rd} - (\omega_k - \omega) \Phi_{rq} \quad (4.27)$$

d eksen akısını kayma yüzeyine doğru hareket etmeye zorlamak için Denklem (4.28) ile tanımlanan bir çekim yasası kullanılabilir.

$$\dot{S}_d = -K_2 \text{sig}(S_d) - Q_2(S_d) \quad (4.28)$$

(4.27) ve (4.28) denklemleri eşitlenerek (4.29) denklemi bulunur

$$i_{sd-ref} = (\dot{\Phi}_{rd-ref} + a_1 \Phi_{rd} - (\omega_k - \omega) \Phi_{rq} + K_2 \text{sig}(S_d) + Q_2(S_d)) / a_2 \quad (4.29)$$

### 4.7.3. q Ekseni Akı Ayarı

Klasik PI kontrolörü kullanıldığında,  $\omega_k$  ve değişken parametreleri içeren (4.20) denklemi kullanılmıştır. Buna rağmen, denklem, motorun nominal değerlerine bağlı olacaktır. Manyetik doyma gerçekleştirilerek sistem manyetik akısı yönü doğru olarak elde edilmeyebilir. Çünkü q eksen akısı ayarlanmadığından, açık çevrim sistemde  $\omega_k$  değeri elde edilir. Dolayısıyla burada  $\omega_k$  değerini veren bir yöntem kullanarak akı bileşenini q ekseninde düzenlenir.

Rotor q eksen akı ayarı için denklem (4.30) da verilen komutasyon fonksiyonu kullanılır.

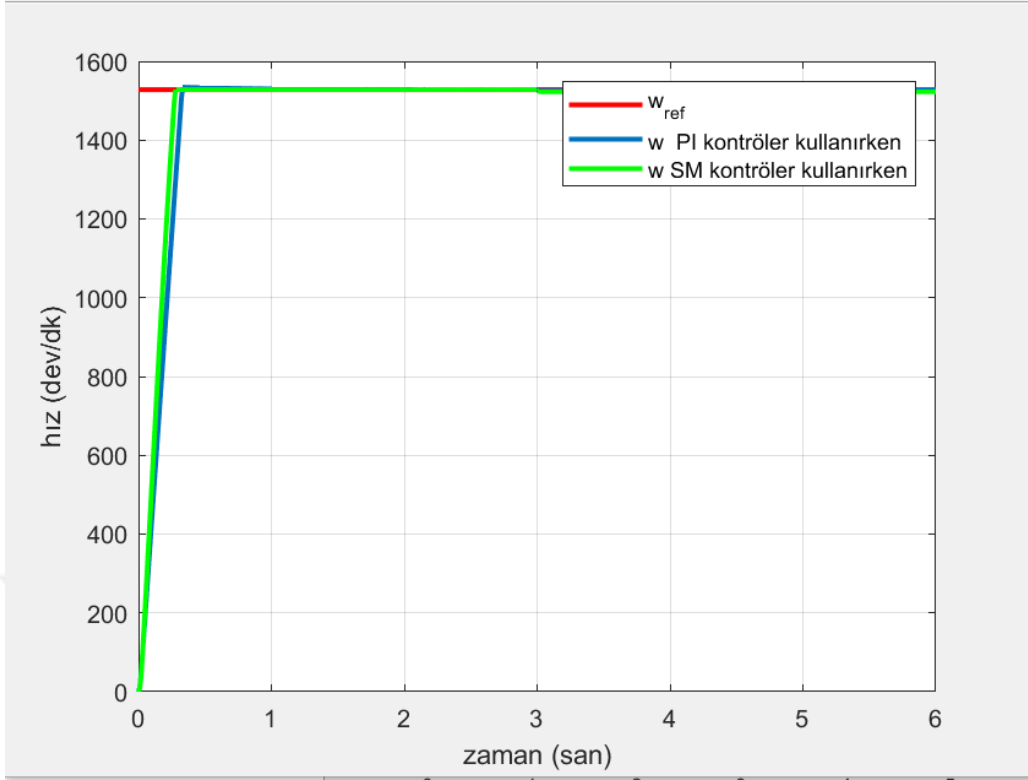
$$S_q = \Phi_{rq-ref} - \Phi_{rq} \quad (4.30)$$

(4.30) denklemden türev alınarak denklem (4.12) de yerine konması ile, denklem (4.31) elde edilir.

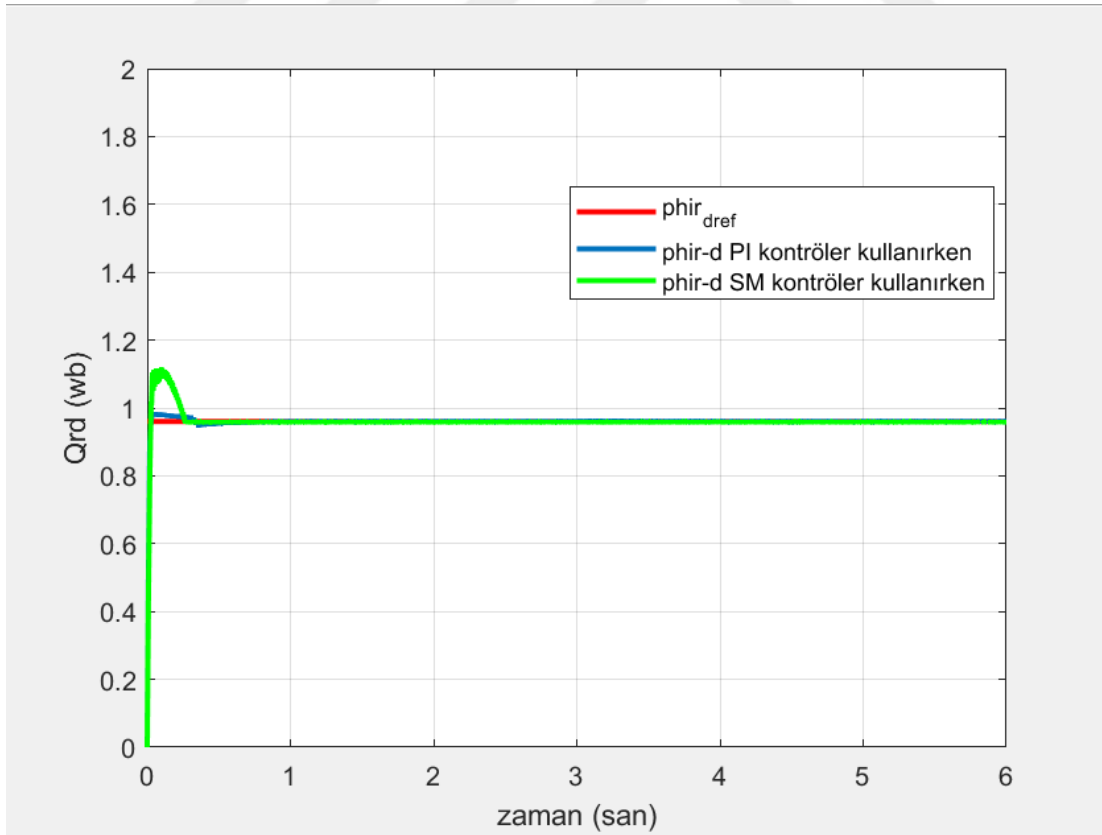
$$\dot{S}_q = \dot{\Phi}_{rq-ref} - a_2 i_{sq} + (\omega_k - \omega) \Phi_{rd} + a_1 \Phi_{rq} \quad (4.31)$$

q eksen akısını, kayma yüzeyine doğru hareket etmeye zorlamak için, denklem (4.12) de gösterilen çekim yasası kullanılabilir.

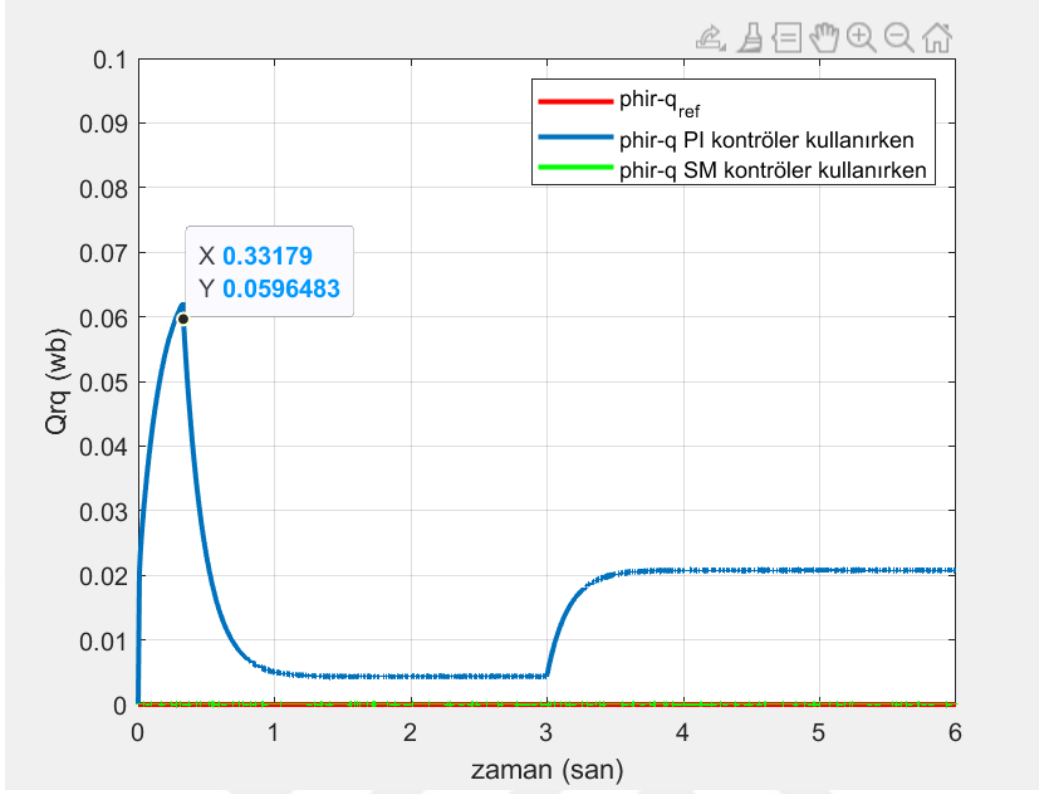




Şekil 4.8. Hız ayarı için sistem cevabı



Şekil 4.9. d eksenli akı ayarında sistem cevabı



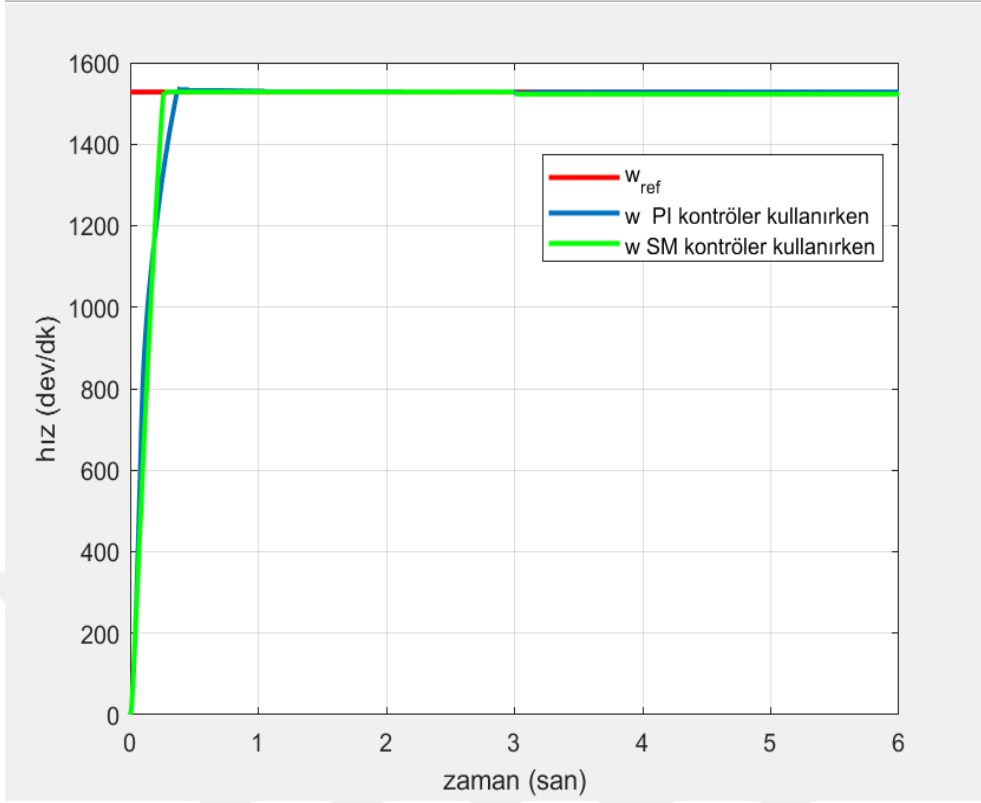
Şekil 4.10. q eksenini akı ayarında sistem cevabı

Şekil 4.8'den, PI ve SM kontrolöründe statik hata sıfır olduğu gözlemlenmiş, ancak kayan tip kontrolörün, referans hızı takip ederken daha hızlı yanıt verdiği gözlemlenmektedir.

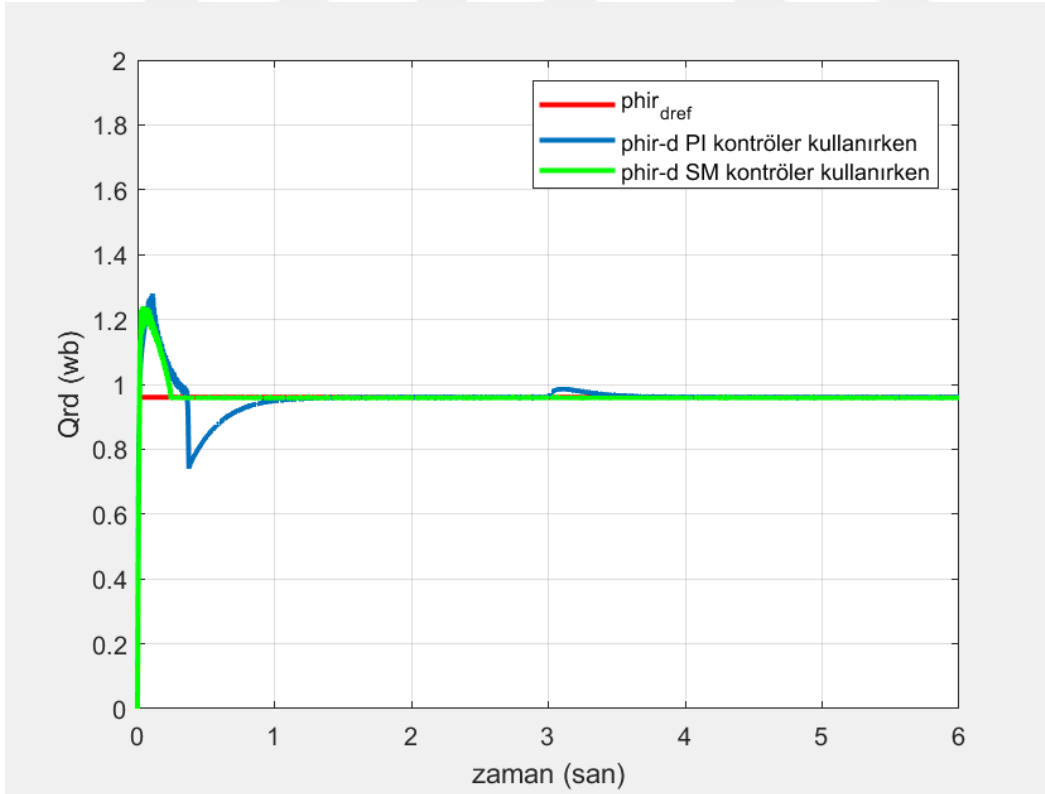
d eksenini akı ayarı için, Şekil 4.9'da PI ve SM her iki kontrolörün statik hatasının sıfır, ancak kayan tip kontrolörün PI kontrolöre kıyasla daha büyük bir hedef aşımına sahip olduğu görülmektedir.

q eksenini akı ayarı için, Şekil 4.10'dan görülebileceği gibi, kayan tip kontrolörün cevap hızının PI kontrolöründen üstün olduğu görülmektedir. SM kararlılık süresi sıfır iken PI için bu süre 0,6 saniye olarak gerçekleşmektedir. Ayrıca SM için statik hatanın sıfır olduğu, PI için ise yaklaşık 0,02 Wb olduğu gözlemlenmektedir.

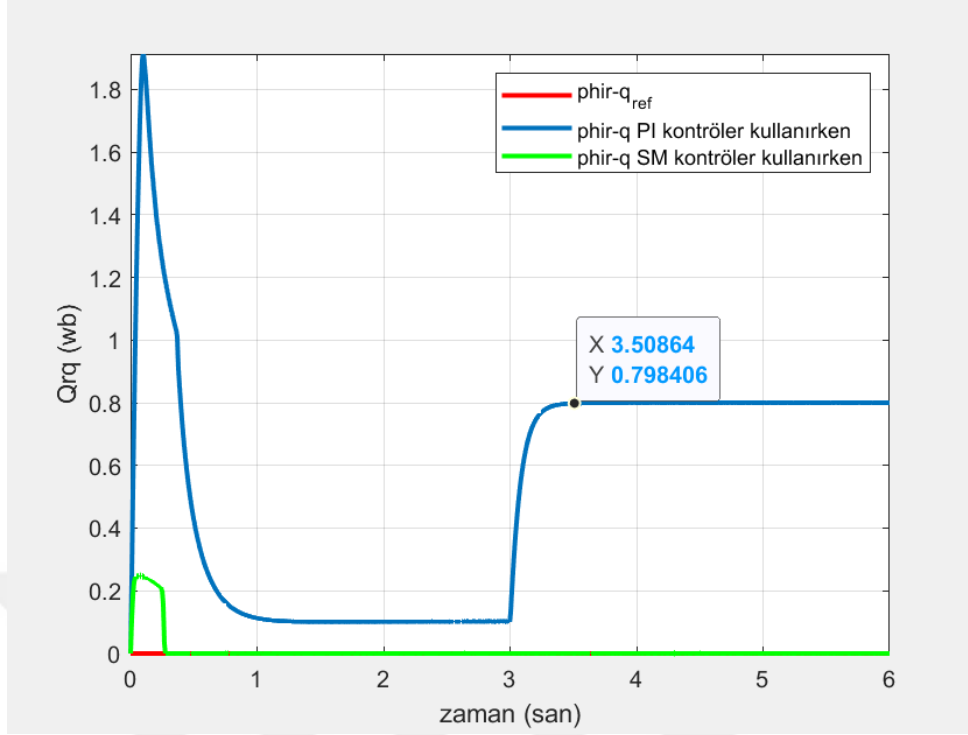
Rotor direncini %50 arttırarak simülasyon tekrarlandığında, cevap sonuçları incelendiğinde, hız ayarına karşı sistem tepkisi Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Şekil 4.12 ve 4.13 manyetik akı ayarında sistem tepkisini gösterilmektedir.



Şekil 4.11. Stator ve rotor direnç değerleri arttırıldıktan sonra hız ayarı sistem tepkisi



Şekil 4.12. Stator ve rotor direnç değerleri arttırıldığında sistemin d akısı ayarındaki cevap



Şekil 4.13. Stator ve rotor dirençleri arttırılınca sistemin q eksen akısı ayarındaki cevabı

Şekil 4.11'de kayan kip kontrolörünün PI kontrolöre kıyasla daha yüksek performans ve kararlılık sağladığı görülmektedir. Referans hızı takip ederken daha hızlı yanıt verdiği ve PI ile SM her iki kontrolöre göre statik hatanın sifıra yakın olduğu görülür.

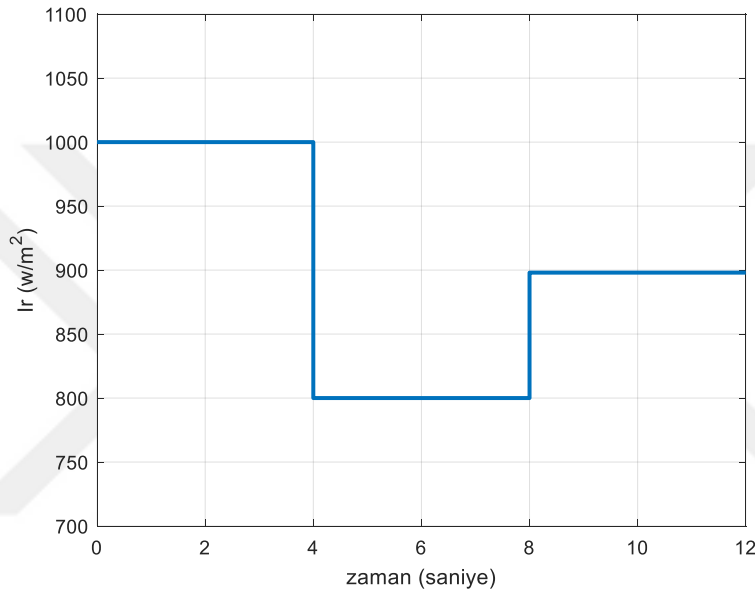
d eksenini akı ayarı için, Şekil 4.12'de görülen kayan kip kontrolörü parametre değişiklikleri, PI kontrolörüne kıyasla daha az etkilendiği görülmektedir. PI kontrolörü kullanıldığında, 1 saniyeyi aşan büyük sayılabilen bir kararlılık süresi ile hedefin %30 aşıldığını göstermektedir. Kayan kip kontrolörü için kararlılık süresinin 0,25 saniye olduğu ve hedefin %25 aşıldığı görülmektedir.

q eksenini akısı ayarında, Şekil 4.13'den görüldüğü gibi, kayan kip kontrolörünün cevap hızı, PI kontrolöründen üstün olduğu görülmektedir. Bu kararlılık süresi, SM için 0.25 s iken PI için 1 s'den fazladır. SM kullanılırken motorun ilk kalkışında akı değeri 0,2 Wb iken, PI mikrokontrolöründe 1,9 Wb'dir. SM için statik hatanın sifır, PI için ise 0.8 Wb olduğu da gözlenmektedir.

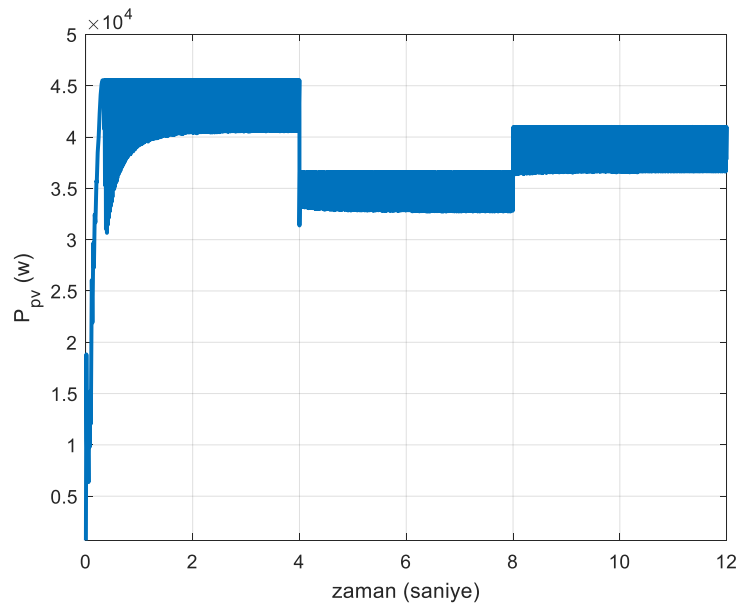


dönüştürücü ile motoru besleyen invertör arasına bağlanan kondansatörün üzerinde düşen gerilim değişimlerini vermiştir.

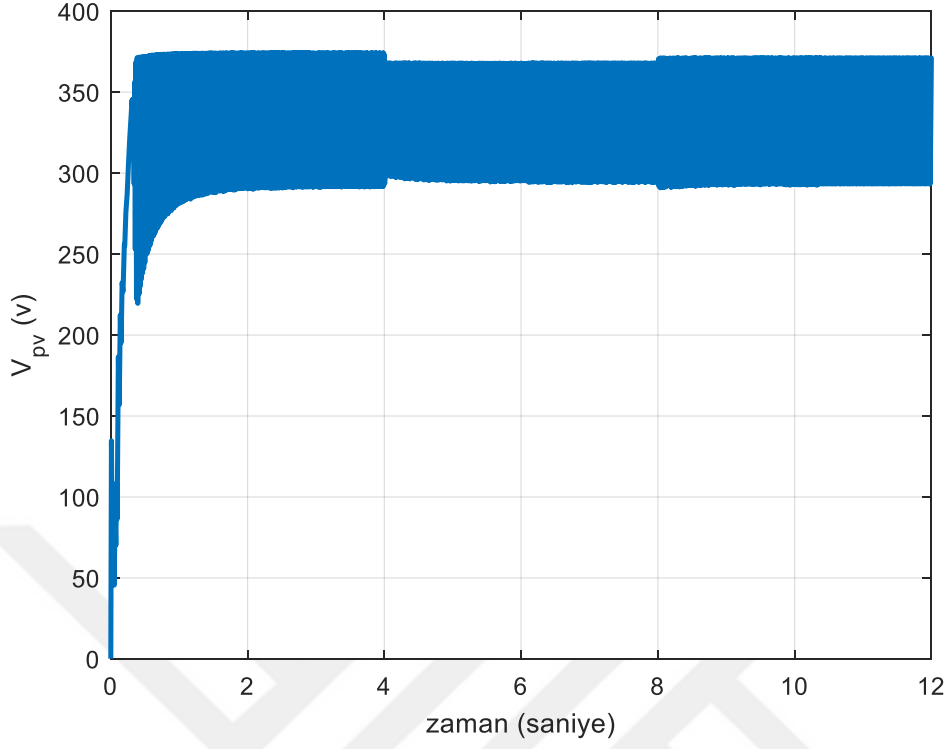
Fuzzy-P&O MPPT – Asenkron motorun SM kontrolü kullanıldığında üretilen fotovoltaik güç Şekil (5.6)'da ve panellerin gerilimi Şekil (5.7)'de gösterilmektedir . Şekil (5.8) DC-DC konvertör ile inverter arasında bulunan kapasitör gerilimi göstermektedir



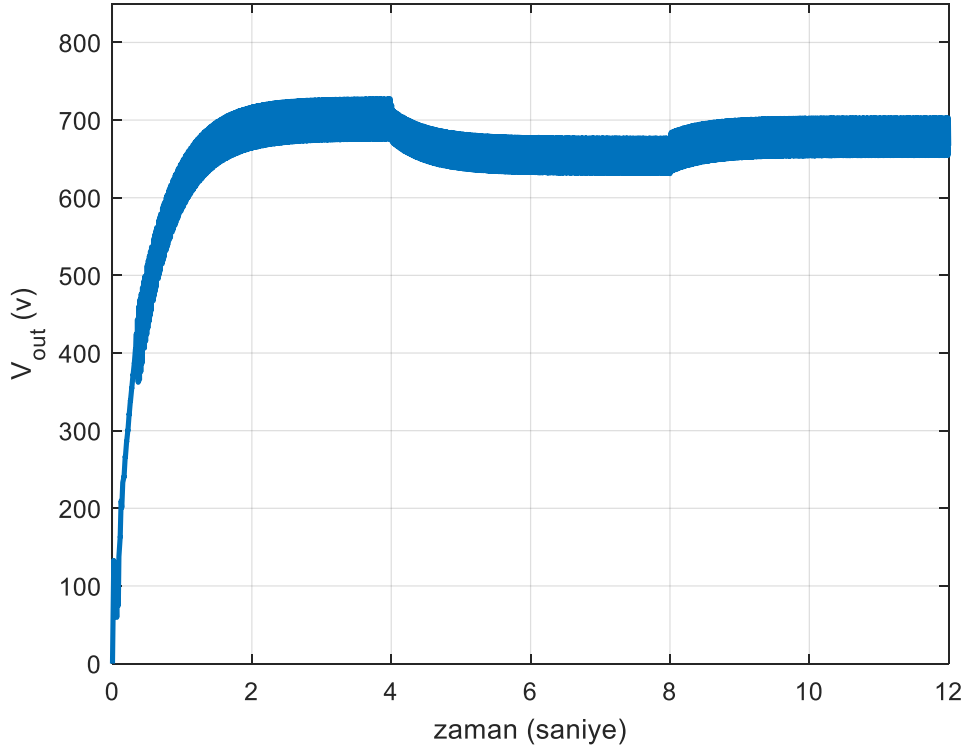
Şekil 5.2. Güneş radyasyonundaki değişiklikler



Şekil 5.3. P&O MPPT – Asenkron motorun PI kontrolü ile üretilen PV gücü



Şekil 5.4. P&O MPPT – AsenM'nin PI kontrolü kullanırken PV paneli voltajı

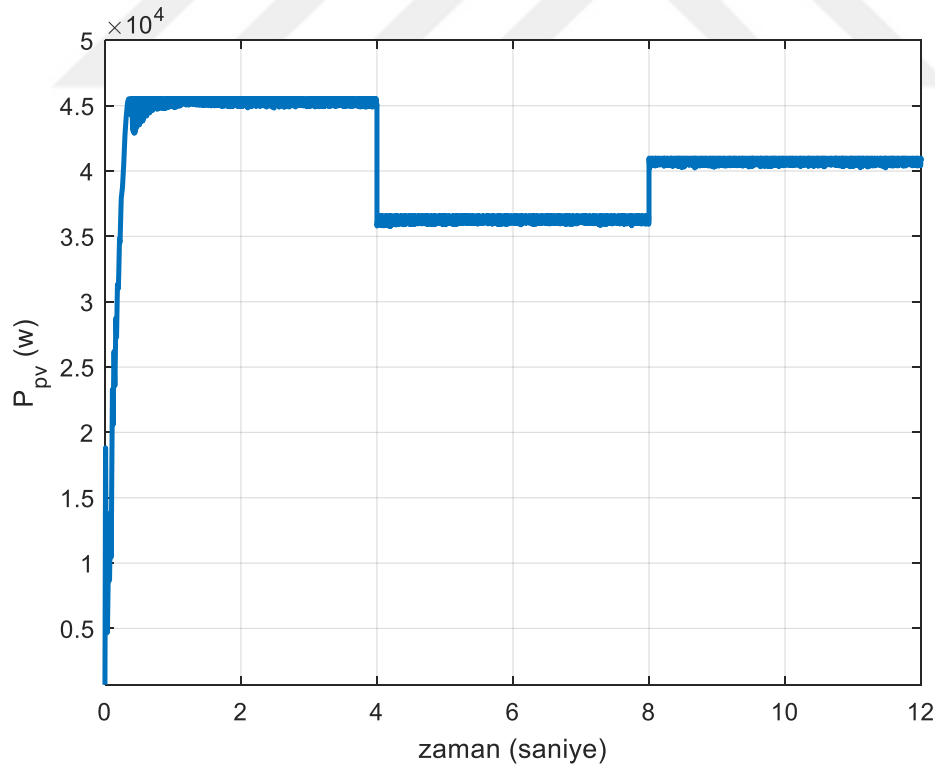


Şekil 5.5. P&O MPPT – Asenkron motorun PI kontrolü ile kapasitör gerilimi değişiklikleri

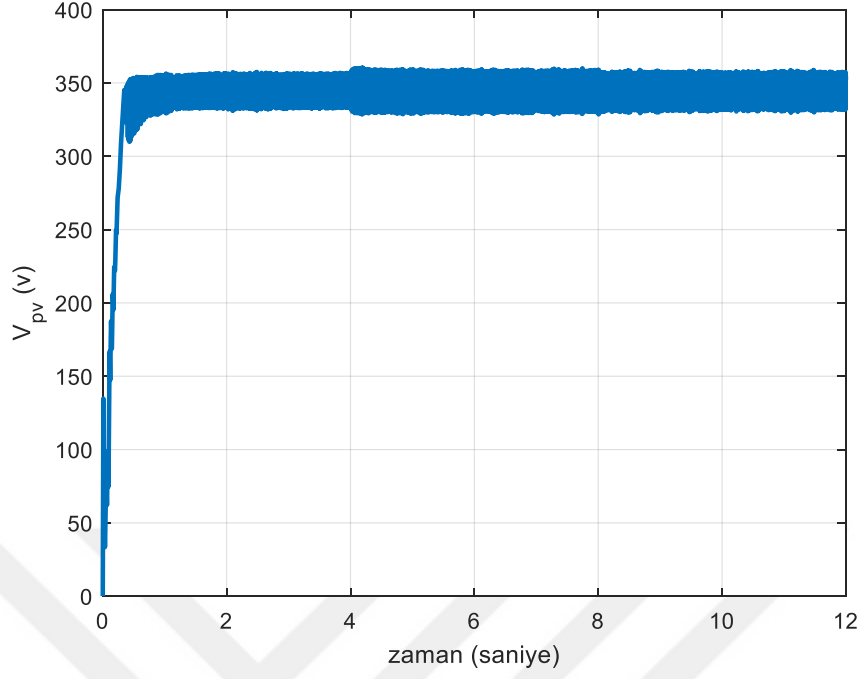
Şekil 5.3'de görüldüğü gibi panellerin kapasitesi ,  $1000\text{W}/\text{m}^2$  güneş ışınımı için  $43.4\text{kW}$  değerine eşittir ,  $800\text{W}/\text{m}^2$  güneş radyasyonu için  $35\text{kW}$ 'a düşer, ardından  $900\text{W}/\text{m}^2$  güneş radyasyonu için  $40\text{kW}$ 'a çıkar. Şekil (5.4'te) panellerin gerilimini  $335\text{V}$  civarında dalgalandığını, Şekil 5.5 ise kondansatör gerilimini  $700\text{V}$  değerinde olduğunu ve daha sonra değer azalmasıyla  $650\text{V}$  değerine düştüğünü göstermektedir. güneş radyasyonu  $900\text{W}/\text{m}^2$  değerinde ve simülasyon süresinin son periyodunda gerilimi artarak  $677\text{V}$  değerine ulaşır .

Tablo 5.1. P&O MPPT kullanırken sabit sıcaklık ve değişik ışınım değerleri için gerilim ve güç değerleri

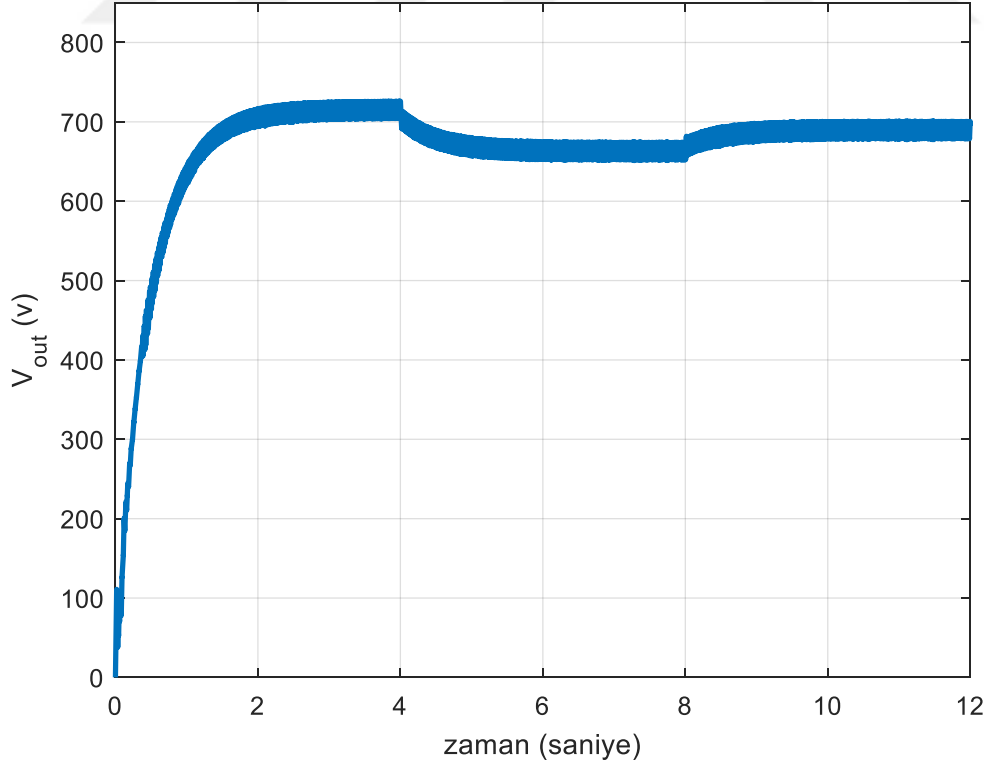
| P&O kullanırken çıkışlar | $I_r=1000\text{W}/\text{m}^2$ için | $I_r=800\text{W}/\text{m}^2$ için | $I_r=900\text{W}/\text{m}^2$ için |
|--------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Panelin çıkışı gücü      | $25^\circ$ için $43.4\text{KW}$    | $25^\circ$ için $35\text{KW}$     | $25^\circ$ için $40\text{KW}$     |
| Panelin gerilimi         | $25^\circ$ için $700\text{V}$      | $25^\circ$ için $650\text{V}$     | $25^\circ$ için $677\text{V}$     |



Şekil 5.6. Fuzzy-P&O MPPT – Asenkron motorun SM kontrolü kullanılırken üretilen PV gücü



Şekil 5.7. Fuzzy-P&O MPPT – Asenkron motorun SM kontrolü kullanırken fotovoltaik panellerin gerilimi



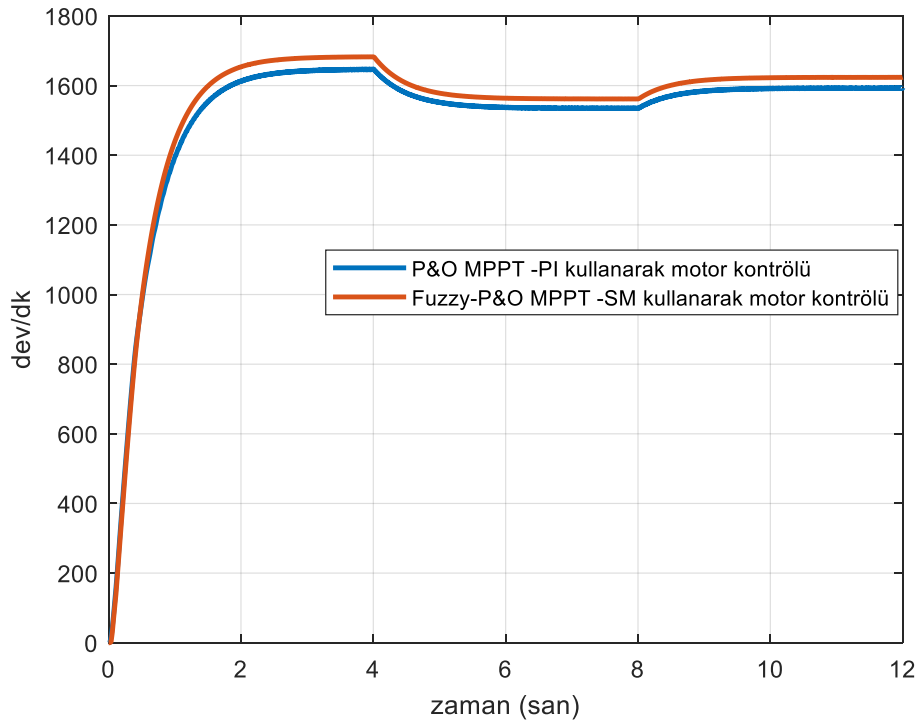
Şekil 5.8. Fuzzy-P&O MPPT – Asenkron motorun SM kontrolü kullanırken kapasitör gerilimi değişiklikleri

Şekil 5.6'da görüldüğü gibi panellerin gücü,  $1000\text{W}/\text{m}^2$  güneş ışınımı için  $45\text{ kW}$  değerine eşitken,  $800\text{W}/\text{m}^2$  güneş ışınımı için  $36.18\text{kW}$  değerine düşmektedir, daha sonra  $900\text{W}/\text{m}^2$  güneş radyasyonu için  $40.05\text{kW}$  değerine ulaşacak şekilde artar. Şekil (5.7), panellerin gerilimi  $345\text{V}$  civarında dalgalandığını, Şekil 5.8 ise kondansatördeki gerilimi  $716\text{V}$  değerinde olduğunu, güneş radyasyonunda azalma esnasında  $665\text{V}$  değerine düştüğünü göstermektedir. Simülasyon süresinin son periyodunda  $900\text{W}/\text{m}^2$  güneş radyasyonunda  $690\text{V}$  değerine arttığını göstermektedir.

Tablo 5.2. Fuzzy lojik kullanırken değişik sıcaklık ve ışınım değerleri için gerilim ve güç değerleri

| Fuzzy kullanırken çıkışlar | $I_r=1000\text{W}/\text{m}^2$ için | $I_r=800\text{W}/\text{m}^2$ için | $I_r=900\text{W}/\text{m}^2$ için |
|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Panelin çıkışı gücü        | $25^\circ$ için $45\text{ KW}$     | $25^\circ$ için $36.18\text{ KW}$ | $25^\circ$ için $40.05\text{ KW}$ |
| Panelin çıkışı gerilimi    | $25^\circ$ için $716\text{ V}$     | $25^\circ$ için $665\text{ V}$    | $25^\circ$ için $690\text{ V}$    |

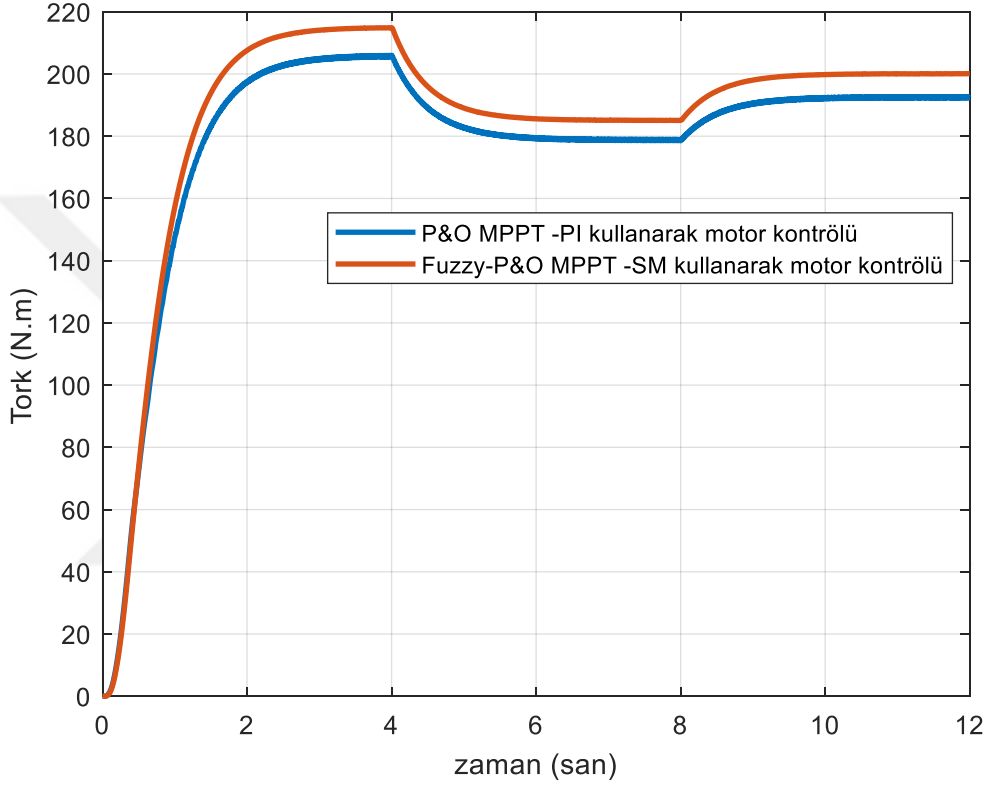
Şekil 5.9 her iki kontrol sistemi için Asenkron motorun dönüş hızı değişimlerini, Şekil (5.10) ise motor mili üzerindeki moment değişimlerini göstermektedir.



Şekil 5.9. Asenkron motorun dönme hızı değişiklikleri

Tablo 5.3. Asenkron motorun değişik ışınım değerleri için dönüş hızı

| Dönüş hızı              | $I_r=1000W/ m^2$ için | $I_r=800W/ m^2$ için | $I_r=900W/ m^2$ için |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Fuzzy-P&O MPPT –SM için | 25° için 1680 dev/dk  | 25° için 1560 dev/dk | 25° için 1624 dev/dk |
| P&O MPPT –PI için       | 25° için 1645 dev/dk  | 25° için 1539 dev/dk | 25° için 1592 dev/dk |



Şekil 5.10. Motorun üzerinde düşen moment değişiklikleri

Tablo 5.4. Değişik ışınım değerleri için motor momenti

| Tork değişimi           | $I_r=1000W/ m^2$ için | $I_r=800W/ m^2$ için | $I_r=900W/ m^2$ için |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Fuzzy-P&O MPPT –SM için | 25° için 214 N.M      | 25° için 186 N.M     | 25° için 200 N.M     |
| P&O MPPT –PI için       | 25° için 204 N.M      | 25° için 178 N.M     | 25° için 193 N.M     |

Şekiller (5.9) ve (5.10)'dan, Fuzzy-P&O MPPT – Asenkron motorun SM kontrolü normal P&O MPPT – Asenkron motorun PI kontrolü kontrol sisteminin\_ kıyasla daha büyük bir getiri elde ettiğini göstermektedir . Burada Fuzzy-P&O MPPT – Asenkron

motorun SM kontrolü hem motorun hızı hem de motor momenti her zaman daha iyi olduğunu göstermektedir.

### **5.3. Sonuçlar**

Bu tezde bir fotoelektrik pompa sistemi üzerinde çalışılmış ve simülasyonu yapılmıştır . PV performansını iyileştirmek için normal P&O algoritması ile bulanık mantığa dayalı bir kontrol sistemi tasarlanmıştır. P&O algoritması ve bulanık mantık arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Pompayı temsil eden endüksiyon motor için iki kontrol sistemi tasarlanmıştır. PI , kayan kim metodu (SM).

Simülasyon sonuçları şekil (5.3) ve şekil (5.6)'de, bulanık mantığa dayalı P&O algoritmasının, normal P&O algoritmasına kıyasla üretilen gücün daha fazla olması nedeniyle daha yüksek performans ve verimlilik elde ettiğini göstermiştir.

Simülasyon sonuçlarına göre şekiller (4.9),(4.10),(4.12),(4.13)'den kayan kip kontrolör kullanıldığında, manyetik doyma problemi ortadan kaldırılmış, yük mevcutken ve stator ve rotor dirençlerinin değerlerinde bir değişiklik olmasına rağmen asenkron motorun performansın daha verimli hale geldiğini göstermiştir.

Kayan kip kontrolörün hız ve akıyı düzenlemek için şekiller (4.8), (4.11)'den daha hızlı tepki verdiği, statör ve rotor direncinin değişmesine rağmen manyetik akı değerlerini kabul edilebilir sınırlarda tuttuğu belirtilmektedir, PI denetleyicinin direnç değerlerindeki değişimden büyük ölçüde etkilendiğini göstermiştir.

### **5.4. Gelecek Beklentileri**

Elde edilen Matlab simülasyon sonuçlara göre tasarlanmış pompalama sistemi daha verimli ve daha pratik bir çalışma sağlamak için aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

- Güneş panellerinde kısmi gölgeleme sorununu dikkate alan maksimum güç noktası izleme algoritmalarının incelenmesi.
- Motorun manyetik akısını tahmin etmek yöntemleri .
- Çalışılan kontrol yöntemlerinin pratik uygulama olasılığını incelemek ve deneysel sonuçları bu araştırma sırasında sunulan teorik sonuçlarla karşılaştırmak.

## KAYNAKLAR

- Abo-Sennah, M ., El-Dabah, M., Mansour, A. (2021). Maximum power point tracking techniques for photovoltaic systems: a comparative study. *International Journal of Electrical & Computer Engineering* ,11(1) , (55-71). DOI: 10.11591/ijece.v11i1.pp55-71
- Akyazi, Ö., Usta, M., Akpınar, A. (2012). A self-tuning fuzzy logic controller for aircraft roll control system. *International Journal of Control Science and Engineering*, 2(6),181-188. DOI: 10.5923/j.control.20120206.06
- Alajmi, B., Ahmed, K ., Finney, S., Williams, B. (2010). Fuzzy-logic-control approach of a modified hill-climbing method for maximum power point in microgrid standalone photovoltaic system. *IEEE transactions on power electronics*, 26(4), 1022-1030. DOI:10.1109/TPEL.2010.2090903
- Al-Majidi, S ., Abbod, M ., Al-Raweshidy, H. (2019). Design of an efficient maximum power point tracker based on ANFIS using an experimental photovoltaic system data. *Electronics*, 8(8), 858. DOI:10.3390/electronics8080858
- Ammar, A., Zemmit, A., Bourek A., Messalti S., ve Benakcha , A. (2016). Design of Combined Vector Control and Direct Torque Control for Induction Motor Drive with Speed MRAS Observer. *The 9th International Conference on Electrical Engineering and First Workshop on Robotics and Controls CEE , 2016(9)*, 2-4.
- BAL, G., Eyimaya ., S. (2019). Design of wind turbine system integrated with battery energy storage system. *Journal of Electrical Engineering and Automation*, 1(2), 72-82. DOI:10.36548/jeea.2019.2.002
- Chen, M., Zhang, W. (2015, Mayıs). H 2 optimal speed regulator for vector controlled induction motor drives. *Chinese Control and Decision Conference ,2015(27)*, 1233-1236.
- Diyoke, G ., Okeke, C., Aniagwu, U. (2016). Different Methods of Speed Control of Three-Phase Asynchronous Motor. *American Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 4(2), 62-68. DOI:10.12691/ajeec-4-2-3
- Ebrahim, O ., Jain, P. (2008, Şubat). LQR-based stator field oriented control for the induction motor drives. *2008 Twenty-Third Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, Austin, TX, USA, 2008(1),1126-1131.DOİ: 10.1109/APEC.2008.4522863
- Echeikh, H., Trabelsi, R., Iqbal, A., Bianchi, N., Mimouni, M. (2016). Comparative study between the rotor flux oriented control and non-linear backstepping control of a five-phase induction motor drive—an experimental validation. *IET Power Electronics*, 9(13), 2510-2521. DOI:10.1049/iet-pel.2015.0726
- Edan, R ., Mahdi, A ., Wahab, T. (2022). Optimized proportional-integral controller for a photovoltaic-virtual synchronous generator system. *International Journal of*

*Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 13(1), 509-519.  
DOI:10.11591/ijped.v13.i1.pp509-519

- Errouha, M., Derouich, A. (2019). Study and comparison results of the field oriented control for photovoltaic water pumping system applied on two cities in Morocco. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*,8(4), 1206-1212. DOI:10.11591/eei.v8i4.1301
- Esram, T., Chapman, P. (2007). Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. *IEEE Transactions on energy conversion*, 22(2), 439-449. DOI:10.1109/TEC.2006.874230
- Farah, L., Haddouche, A., Haddouche, A. (2020). Comparison between proposed fuzzy logic and ANFIS for MPPT control for photovoltaic system. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 11(2), 1065. DOI:10.11591/ijped.v11.i2.pp1065-1073
- Fereka, D., Zerikat, M., Belaidi, A. (2018, Ekim). MRAS sensorless speed control of an induction motor drive based on fuzzy sliding mode control. *2018 7th International Conference on Systems and Control (ICSC) ,2018 (7) 230-236*. DOI:10.1109/ICoSC.2018.8587844
- Gao, X., Hou, Z., Guo, Z., Chen, X. (2015). Reviews of methods to extract and store energy for solar-powered aircraft. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015(44), 96-108. DOI:10.1016/j.rser.2014.11.025
- Hamdi, T., Elleuch, K., Hafedh, A ., ve Toumi, A. (2022). Sliding mode controller with fuzzy supervisor for MPPT of Photovoltaic Pumping system. *IEEE 21st international Ccnference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA),2022 (21), 584-588*. DOI:10.21203/rs.3.rs-2021791/v1
- Hannan, M ., Ghani, Z ., Hoque, M., Ker, P ., Hussain, A., Mohamed, A. (2019). Fuzzy logic inverter controller in photovoltaic applications: Issues and recommendations. *Ieee Access*, 8(11), 24934-24955. DOI:10.3390/electronics8111335
- Hannan, M., Ghani, Z., Mohamed, A., Uddin, M. (2015). Real-time testing of a fuzzy-logic-controller-based grid-connected photovoltaic inverter system. *IEEE transactions on Industry applications*, 51(6), 4775-4784. DOI:10.1109/TIA.2015.2455025
- Huang, Y., Yona, A., Takahashi, H., Hemeida, A., Mandal, P., Mikhaylov, A., Lotfy, M. (2021). Energy management system optimization of *drug store electric vehicles charging station operation*. *Sustainability*, 13(11), 6163. DOI:10.3390/su13116163
- Jisha, L. K., ve Thomas, A. P. (2013, Aralık). A comparative study on scalar and vector control of Induction motor drives. *2013 International conference on Circuits, Controls and Communications (CCUBE),2013(1),1-5*, DOI: 10.1109/CCUBE.2013.6718554.

- Karapınar GES ile Türkiye'de elektrik üretiminde güneş enerjisinin payı yüzde 20'ye çıkacak. (2022, 11 Nisan). Anadolu Ajansı. 19 Mayıs 2022 tarihinde
- Kerdphol, T., Rahman, F., Mitani, Y., Watanabe, M., Küfeoğlu, S. (2017). Robust virtual inertia control of an islanded microgrid considering high penetration of renewable energy. *IEEE Access*, 6(1), 625-636. DOI:10.1109/ACCESS.2017.2773486
- Khelifi, M.(2016). Study and control of photovoltaic water pumping system. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 11(1), 117-124. DOI:10.5370/JEET.2016.11.1.117
- Koutroulis, E., Blaabjerg, F. (2012). A new technique for tracking the global maximum power point of PV arrays operating under partial-shading conditions. *IEEE journal of photovoltaics*, 2(2), 184-190. DOI:10.1109/JPHOTOV.2012.2183578
- Lalouni, S., Rekioua, D., Rekioua, T., Matagne, E. (2009). Fuzzy logic control of stand-alone photovoltaic system with battery storage. *Journal of power Sources*, 193(2), 899-907. DOI:10.1016/j.jpowsour.2009.04.016
- Larbes, C., Cheikh, S., Obeidi, T., Zerguerras, A. (2009). Genetic algorithms optimized fuzzy logic control for the maximum power point tracking in photovoltaic system. *Renewable energy*, 34(10), 2093-2100. DOI:10.1016/j.renene.2009.01.006
- Li, W., Xu, Z., Zhang, Y. (2019, Mayıs). Induction motor control system based on FOC algorithm. 2019 IEEE 8th Joint International Information *Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC)*, 2019(8),1544-1548. DOI:10.1109/ITAIC.2019.8785597
- Li, X., Wen, H., Hu, Y., Jiang, L. (2019). A novel beta parameter based fuzzy-logic controller for photovoltaic MPPT application. *Renewable energy*, 2019(130), 416-427. DOI:10.1016/j.renene.2018.06.071
- Liu, P., ve Hao, L. (2006, Haziran). Vector Control-Based Speed Sensorless Control of Induction Motors Using Sliding-Mode Controller. *2006 6th World Congress on Intelligent Control and Automation*, 1(6),1942-1946. DOI:10.1109/ETFA.2006.355362
- Mahmoodabadi, M., ve Nejadkourki, N. (2020). Trajectory tracking of a flexible robot manipulator by a new optimized fuzzy adaptive sliding mode-based feedback linearization controller. *Journal of Robotics*, 2020(2), 1-12. DOI: 10.1155/2020/8813217
- Mohapatra, A., Nayak, B., Das, P., ve Mohanty, K. (2017). A review on MPPT techniques of PV system under partial shading condition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017 (80), 854-867. DOI:10.1016/j.rser.2017.05.083
- Obukhov, S., Ibrahim, A., Diab, A., Al-Sumaiti, A., Aboelsaud, R. (2020). Optimal performance of dynamic particle swarm optimization based maximum power trackers for stand-alone PV system under partial shading conditions. *IEEE Access*, 8(1), 20770-20785. DOI:10.1109/ACCESS.2020.2966430

- Parvat, B., Jadhav, V., Lokhande, N. (2012). Design and implementation of sliding mode controller for level control. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)*, 2012(1),51-54.
- Peng, Q., Yang, Y., Liu, T., Blaabjerg, F. (2020). Coordination of virtual inertia control and frequency damping in PV systems for optimal frequency support. *CPSS Transactions on Power Electronics and Applications*, 5(4), 305-316. DOI:10.24295/CPSSTPEA.2020.00025
- Peralta Vera, A., del Carpio Beltrán, H., Zúñiga Torres, J., Milón Guzmán, J., Braga, S. L. (2019). Experimental Study of a photovoltaic direct current water pumping system for irrigation in rural-isolated region of Arequipa, Peru. *Journal of Solar Energy Engineering*, 141(4), 1128-1139. DOI:10.1115/1.4042724
- Radjai, T., Gaubert, J., Rahmani, L., Mekhilef, S. (2015). Experimental verification of P&O MPPT algorithm with direct control based on Fuzzy logic control using CUK converter. *International transactions on electrical energy systems*, 25(12), 3492-3508. DOI:10.1002/etep.2047
- Radjai, T., Rahmani, L., Mekhilef, S., Gaubert, J. (2014). Implementation of a modified incremental conductance MPPT algorithm with direct control based on a fuzzy duty cycle change estimator using dSPACE. *Solar Energy*, 1(110), 325-337. DOI:10.1016/j.solener.2014.09.014
- Rai, A., Kaushika, N., Singh, B., Agarwal, N. (2011). Simulation model of ANN based maximum power point tracking controller for solar PV system. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95(2), 773-778. DOI:10.1016/j.solmat.2010.10.022
- Remoaldo, D., Jesus, I. (2021). Analysis of a traditional and a fuzzy logic enhanced perturb and observe algorithm for the MPPT of a *photovoltaic system*. *Algorithms*, 14(1), 24. DOI: 10.3390/a14010024
- Saad, K., Sahbani, A., Benrejeb, M., Bartoszewicz, A. (2011). Sliding mode control and fuzzy sliding mode control for DC-DC converters. *Sliding Mode Control*, 2010 (4),1-24. DOI :10.5772/15151
- Sayed, M., Youssef, A., Abdel-Wahab, M., Shabib, G. (2015). Sliding Mode Control of Variable Speed Wind Energy Conversion System Based on Five-Phase, 2015 (17),12-17.
- Scholar, M., Bhopal, L. (2012). An Overview on Modeling and Simulation of *Brushless Doubly Fed Induction Generator Coupled with Wind Energy System using Matrix convertor*, 3 (6),331-336.
- Sharma, G., Parashar, D., ve Chandel, A. (2020, Agosto). Analysis of Dynamic Model of Three Phase Induction Motor with MATLAB/SIMULINK. 2020 International Conference on Advances in Computing, *Communication & Materials (ICACCM)*, 2020 (1) ,51-58. DOI:10.1109/ICACCM50413.2020.9212965

- Subudhi, B., Pradhan, R. (2013). A comparative study on maximum power point tracking techniques for photovoltaic power systems. *IEEE transactions on Sustainable Energy*, 4(1), 89-98. DOI:10.1109/TSTE.2012.2202294
- Sudaryanto, A., Purwanto, E., Ferdiansyah, I., Nugraha, S., Qudsi, O., Rifadil, M. M., Rusli, M. R. (2020, Aralık). Design and Implementation of SVPWM Inverter to Reduce Total Harmonic Distortion (THD) on Three Phase Induction Motor Speed Regulation Using Constant V/F. *International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)*, 2020(3), 412-417. DOI:10.1109/ISRITI51436.2020.9315353
- Swargiary, M., Dey, J., ve Saha, T. K. (2015, Aralık). Optimal speed control of induction motor based on linear quadratic regulator theory. *2015 Annual IEEE India Conference (INDICON)*, 2015(1), 1-6, DOI: 10.1109/INDICON.2015.7443806.
- Takun, P., Kaitwanidvilai, S., ve Jettanasen, C. (2011, Mart). Maximum power point tracking using fuzzy logic control for photovoltaic systems. *Proceedings of International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*,2011(1),1-12.
- Tan, Y., Chang, J., ve Tan, H. (2003). Adaptive backstepping control and friction compensation for AC servo with inertia and load uncertainties. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 50(5), 944-952. DOI:10.1109/TIE.2003.817574
- Tawfiq, K. B., Mansour, A. S., Ramadan, H. S., Becherif, M., ve El-Kholy, E. E. (2019). Wind energy conversion system topologies and converters: Comparative review. *Energy Procedia*, 2019(162), 38-47. DOI:10.1016/j.egypro.2019.04.005
- Trabelsi, R., Khedher, A., Mimouni, M. F., ve M'sahli, F. (2012). Backstepping control for an induction motor using an adaptive sliding rotor-flux observer. *Electric Power Systems Research*, 2012(93), 1-15. DOI:10.1016/j.epsr.2012.06.004
- Tsai, M. F., Tseng, C. S., Hong, G. D., ve Lin, S. H. (2012, Mayıs). A novel MPPT control design for PV modules using neural network compensator. *2012 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 2012(1) 1742-1747. DOI:10.1109/ISIE.2012.6237354
- URL-1 <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/karapinar-ges-ile-turkiyede-elektrik-uretiminde-gunes-enerjisinin-payi-yuzde-20ye-cikacak/2556202>.(Ziyaret tarihi: 10 Nisan 2023).
- URL-2 <https://www.gensed.org/basin/tei%CC%87a%C5%9F-2022-kasim-ayi-kurulu-guc-raporunu-yayinladi#:~:text=Toplam%20kurulu%20g%C3%BC%C3%A7te%20ilk%20s%C4%B1rada,%45%2C76'dir>. (Ziyaret tarihi: 10 Nisan 2023).
- URL-3. <https://turkmuhendis.net/donanim/boost-converter> (Ziyaret tarihi: 10 Nisan 2023).
- URL-4 [https://tr.wikipedia.org/wiki/Bulan%C4%B1k\\_mant%C4%B1k](https://tr.wikipedia.org/wiki/Bulan%C4%B1k_mant%C4%B1k) (Ziyaret tarihi: 10 Nisan 2023).

- Verma, P., Saxena, R., Chitra, A., Sultana, R. (2017, Eylül). Implementing fuzzy PI scalar control of induction motor. *2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI), 2017(1)*, (1674-1678). DOI:10.1109/ICPCSI.2017.8391998
- Wang, F., Zhang, Z., Mei, X., Rodríguez, J., Kennel, R. (2018). Advanced control strategies of induction machine: Field oriented control, direct torque control and model predictive control. *Energies, 11(1)*, 120-133. DOI:10.3390/en11010120
- Wang, Y., Ding, L., ve Li, N. (2011, Aralık). The application of fuzzy parameters self-tuning PID controller in MPPT of photovoltaic power system. *Proceedings 2011 International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering (TMEE), 2011(1)*, (1129-1132). DOI:10.1109/TMEE.2011.6199403
- Worku, M. Y., ve Abido, M. A. (2014, Haziran). Real-time implementation of grid-connected PV system with decoupled PQ controllers. *22nd Mediterranean Conference on Control and Automation, 2014(22)*, (841-846).

## **KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER**

**Ermeli A.**, Kayan Kipli Yöntemi Kullanarak Asenkron Motorun Kontrolü , *Ases Iv.*  
International Scientific Research Conference, Istanbul, Türkiye. 13-14 May  
2023.



## **ÖZGEÇMİŞ**

İlk, orta okulu Lazkiye’de ve lise eğitimi TÜRKİYE ‘de tamamladı. 2016 yılında Siirt Üniversitesi Elektrik ve elektronik Mühendisliği Bölümü’nü kazandı.2020 yılında Siirt Üniversitesi’nden mezun oldu ve aynı yılda ŞIRNAK Özel NEO lisesinde uzman öğretici olarak iki yıl çalıştı . 2020 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dal’ında Yüksek Lisans öğrenimine başladı .

