

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**SOLAR POMPA SİSTEMLERİ İÇİN ALGILAYICISIZ
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEME ALGORİTMASININ
GELİŞTİRİLMESİ**

Yunus ATAGÜN

Yüksek Lisans Tezi

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OCAK 2025

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**SOLAR POMPA SİSTEMLERİ İÇİN ALGILAYICISIZ MAKSİMUM
GÜÇ NOKTASI İZLEME ALGORİTMASININ GELİŞTİRİLMESİ**

Tez Yazarı
Yunus ATAGÜN

Danışman
Doç. Dr. Reşat ÇELİKEL

OCAK 2025
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: Solar Pompa Sistemleri İçin Algılayıcısız Maksimum Güç Noktası İzleme Algoritmasının Geliştirilmesi

Yazarı: Yunus ATAGÜN

İlk Teslim Tarihi: 09.12.2024

Savunma Tarihi: 08.01.2025

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Doç. Dr. Reşat ÇELİKEL Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Ömür AYDOĞMUŞ Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Ahmet GÜNDOĞDU Batman Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım ‘‘Solar Pompa Sistemleri İçin Algılayıcısız Maksimum Güç Noktası İzleme Algoritmasının Geliştirilmesi’’ Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

08.01.2025

Yunus ATAGÜN



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamın başından itibaren bana her konuda yardım eden, bilgilerini ve fikirlerini paylaşarak yol gösteren, çalışmam boyunca her konuda anlayış gösterip motive olmamı sağlayan ve emeğiyle tezimi bitirmemi sağlayan Sayın Hocam Doç. Dr. Reşat ÇELİKEL'e teşekkür ederim.

Yunus ATAGÜN
ELAZIĞ, 2025



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLOLAR LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	5
1.2. Tezin Organizasyonu.....	6
2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER.....	7
2.1. Fotovoltaik Hücrenin Matematiksel Modeli.....	8
2.2. Güneşlenme Oranının Etkisi.....	9
2.3. Kısmi Gölgeleme Koşulları	11
3. FIRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORLARI	16
3.1. Fırçasız Doğru Akım Motorlarının Yapısı.....	16
3.2. Matematiksel Modeli.....	17
3.3. Fırçasız Doğru Akım Motorunun Kontrolü	20
4. DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜ VE ALGILAYICISIZ MGNİ ALGORİTMASI	26
4.1. DC-DC Dönüştürücü	27
4.1.1. Alçaltan DC-DC Dönüştürücü	27
4.1.2. Yükselten DC-DC Dönüştürücü.....	28
4.1.3. Alçaltan-Yükselten DC-DC Dönüştürücü	29
4.1.4. ZETA Dönüştürücü	29
4.2. Geleneksel MGNİ Yöntemleri.....	32
4.2.1. Değiştir Ve Gözle(D&G) Algoritması	33
4.2.2. Artan İletkenlik Algoritması	34
4.2.3. Açık Devre Gerilim (VOC) Algoritması	36
4.2.4. Sabit Gerilim Yöntemi	37
4.3. Önerilen Algılayıcısız MGNİ Algoritması	37
5. FOTOVOLTAİK POMPA SİSTEMİ VE BENZETİMİ.....	41
5.1. FV Sistem Benzetiminin Atmosferik Koşulları	42
5.2. FDAM' ın Altı Adım Anahtarlanması MATLAB/Simulink Blokları	44
5.3. Algılayıcısız MGNİ Algoritmasının Benzetimi.....	45
5.4. Benzetim Çalışmasının Sonuçları.....	48
5.5. Sonuç	55
6. SONUÇLAR.....	56
KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Solar Pompa Sistemleri İçin Algılayıcısız Maksimum Güç Noktası İzleme Algoritmasının Geliştirilmesi

Yunus ATAGÜN

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2025, Sayfa: xii + 62

Günümüzde FV(Fotovoltaik) beslemeli sulama sistemlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Fakat kullanılan FV sistemler kısmi gölgelenme koşulları altında düşük verimde çalışmakta ve geleneksel MGNİ(Maksimum güç noktası izleme) yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Bunun yanında geleneksel MGNİ algoritmaları FV sistemin akım ve gerilim bilgisini elde etmek için algılayıcılara ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışmada sistem maliyetini azaltmak için algılayıcısız hibrit MGNİ algoritması önerilmiştir. FV sistemin incelenmesi için MATLAB/Simulink ortamında benzetim çalışması oluşturulmuştur. Önerilen algoritma 4 farklı KGK(Kısmi gölgelenme koşulu) altında test edilmiştir. FV sistem gücü, motor hızı ve akımları her bir koşul altında incelenmiştir. Önerilen algoritmanın yüksek maksimum güç izleme performansı benzetim sonuçları ile gösterilmiştir. Sürekli durumda en düşük MGNİ verimi %95.66 iken en yüksek MGNİ verimi %99.9 olarak elde edilmiştir. MGNİ algoritması 2 saniyeden daha düşük bir zamanda tamamlanmıştır. MGNİ algoritmasının birinci aşaması 1.3 saniyede tamamlanmıştır. Birinci aşamanın sonunda ise maksimum FV sistem gücünün büyük bölümüne ulaşılmıştır. MGNİ algoritmasının ikinci aşaması daha dar bir alanda maksimum güce ulaşmak için kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: FV pompalama sistemi, algılayıcısız algoritma, MGNİ, Kısmi gölgelenme koşulları

ABSTRACT

Development Of Sensorless Maximum Power Point Tracking Algorithm For Solar Pump Systems

Yunus ATAGÜN

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechatronics Engineering

January 2025, Pages: xii + 62

Nowadays, the use of PV(Photovoltaic) fed irrigation systems is becoming more and more widespread. However, the used PV systems operate with low efficiency under partial shading conditions and traditional MPPT(Maximum power point tracking) methods are insufficient. In addition, traditional MPPT algorithms require sensors to obtain current and voltage information of the PV system. In this study, a sensorless hybrid MPPT algorithm is proposed to reduce the system cost. A simulation study was created in the MATLAB/Simulink environment to examine the PV system. The proposed algorithm was tested under 4 different PSCs(Partial shading conditions). PV system power, motor speed and currents were examined under each condition. The high maximum power tracking performance of the proposed algorithm was demonstrated with the simulation results. While the lowest MPPT efficiency was 95.66% in the steady state, the highest MPPT efficiency was obtained as 99.9%. The MPPT algorithm was completed in less than 2 seconds. The first stage of the MPTT algorithm was completed in 1.3 seconds. At the end of the first stage, most of the maximum PV system power was reached. The second stage of the MPTT algorithm was used to reach the maximum power in a narrower area.

Keywords: FV pumping system, Sensorless algorithm, MPPT, Partial shading conditions

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 FV seri-paralel dizi bağlantıları[37]	7
Şekil 2.2 FV hücresine ait elektriksel eşdeğer devre modeli	8
Şekil 2.3 Standart test koşullarında IV ve PV grafiği.....	9
Şekil 2.4 Değişken ışınım şartlarında IV ve PV grafiği	10
Şekil 2.5 Değişken sıcaklık şartlarında IV ve PV grafiği	10
Şekil 2.6 Tekdüze güneşlenme ve KGK altında PV grafiği	11
Şekil 2.7 Eşit ışınım altında FV dizisinin incelenmesi	12
Şekil 2.8 Farklı ışınım altında FV dizisinin incelenmesi.....	13
Şekil 2.9 Farklı ışınım altında FV dizisinin incelenmesi $I_{st} > I_{sc2}$	14
Şekil 3.1 Altı adımlı evirici ve FDAM' a ait sargılar	17
Şekil 3.2 FDAM' ın her bir fazına ait zıt emk' sı, alan etkili algılayıcılarının çıkış sinyalleri ve faz akımlarının dalga şekilleri [48].....	19
Şekil 3.3 Anahtarların iletim durumu[48]	22
Şekil 3.4 Şekil 3.3'ün devamı[48].....	23
Şekil 3.5 Histerezis akım kontrollü hız kontrol yöntemi	24
Şekil 3.6 Darbe Genişlik Modülasyonu ile hız kontrol yöntemi	24
Şekil 4.1 MGNİ uygulanan FV sistemin yapısı.....	26
Şekil 4.2 Alçaltan DC-DC dönüştürücü devresi.....	28
Şekil 4.3 Yükselten DC-DC dönüştürücü devresi	28
Şekil 4.4 Alçaltan-Yükselten DC-DC dönüştürücü devresi	29
Şekil 4.5 (a)ZETA Dönüştürücü eşdeğer devresi,(b) Durum-1 ,(c) Durum-2	30
Şekil 4.6 D&G algoritmasının akış şeması.....	34
Şekil 4.7 Artan iletkenlik algoritması.....	35
Şekil 4.8 Açık devre gerilim(VOC) algoritması	36
Şekil 4.9 Önerilen algoritmanın akış şeması	39
Şekil 5.1 FV pompa sisteminin MATLAB/Simulink benzetimi.	42
Şekil 5.2 25°C sabit sıcaklık farklı ışınım değerlerinde FV sistemde üretilen güç	42
Şekil 5.3 1000W/m ² sabit ışınım farklı sıcaklık değerlerinde FV sistemde üretilen güç	43
Şekil 5.4 Dört farklı KGK altında çalışan FV sistemden elde edilen güçler	44
Şekil 5.5 Altı Adım anahtarlama için MATLAB/Simulink blokları	45
Şekil 5.6 FV sistem gerilimi tahmini ve görev periyodu üretimi blokları	46

Şekil 5.7 Maksimum güç noktası ve görev periyodu tespit blokları.....	46
Şekil 5.8 K GK1 için FV sistem gücü ve motor hızı	49
Şekil 5.9 K GK2 için FV sistem gücü ve motor hızı	49
Şekil 5.10 K GK3 için FV sistem gücü ve motor hızı	50
Şekil 5.11 K GK4 için FV sistem gücü ve motor hızı	51
Şekil 5.12 Dört farklı K GK için algoritmada üretilen görev periyotları.....	51
Şekil 5.13 Dört farklı K GK için FV sistemin akım ve gerilim değerleri.....	52
Şekil 5.14 Dört farklı K GK için evirici hat gerilimleri.....	53
Şekil 5.15 Dört farklı K GK için motor faz akımları.....	54
Şekil 5.16 Dört farklı K GK için FDAM' ın ürettiği moment değerleri.....	54



TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo.2.1 FV sistemde kullanılan panelin özellikleri.....	14
Tablo 3.1 FDAM' in konumuna göre ürettiği sinyaller ve eviricinin anahtarlama durumları	21
Tablo 3.2 Solar pompa sisteminde kullanılan FDAM parametreleri	25
Tablo 4.1 ZETA dönüştürücü parametreleri	32
Tablo 5.1 Benzetim çalışmasında kullanılan farklı KGK' ları.....	43



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a	: İdealite faktörü
C_{\min}	: Dönüştürücü kondansatörünün minimum değeri
C_1	: Zeta dönüştürücü kondansatörü
D	: Görev periyodu
e_a, e_b, e_c	: Zıt emk'lar
E_Z	: FDAM zıt emk'sı
f_{sw}	: IGBT'nin anahtarlama frekansı
V_{sw}	: Açık devre gerilimi
G	: Panel yüzeyindeki ışıınım değeri
G_n	: Nominal ışıınım değeri
i_a, i_b, i_c	: Motor faz akımları
I_s	: DC kaynak akımı
I_{mpp}	: FV dizinin maksimum güç noktasındaki akımı
$I_{sc,n}$: Nominal kısa devre akımı
I_{sc1}	: Birinci panel kısa devre akımı
I_{sc2}	: İkinci panel kısa devre akımı
I_{st}	: FV dizi akımı
I_0	: Ters doyma akımı
k	: Boltzmann sabiti
K_I	: Akım katsayısı
K_V	: Gerilim katsayısı
L_a, L_b, L_c	: Faz indüktansları
L_1, L_2	: Zeta dönüştürücü bobinleri
L_s	: İki faz toplam sargı indüktansı
n	: İdeal diyot sabiti
N_s	: Seri bağlı hücre sayısı
P_{\max}	: FV panel maksimum güç noktası
R	: Yük direnci
R_a, R_b, R_c	: Faz dirençleri
R_s	: İki faz toplam sargı direnci
T	: Hücre sıcaklığı
T_n	: Nominal sıcaklık
V_a, V_b, V_c	: Motor faz gerilimleri
V_{dc}	: Zeta dönüştürücü ortalama çıkış gerilimi
V_{mp}	: Fv modül maksimum güç noktasındaki gerilimi
V_{mpp}	: Seri bağlı 6 adet FV modülün maksimum güç noktasındaki gerilimi
V_{in}	: Dönüştürücü giriş gerilimi
V_{out}	: Dönüştürücü çıkış gerilimi
W_m	: Motorun açısal hızı
q	: Elektron yükü
ψ_p	: Faz kaçak akısı
ΔV_{out}	: Dönüştürücü çıkış gerilimindeki dalgalanma

Kısaltmalar

AC	: Alternatif akım(Alternating current)
Aİ	: Artımsal iletkenlik(Incremental conductivity)
CSA	: Guduk kuşu arama algoritması(Cuckoo search algorithm)
D&G	: Değiştir&Gözle algoritması(Perturb&Observe algorithm)
DC	: Doğru akım(Direct Current)
DGM	: Darbe genişlik modülasyonu(Pulse width modulation)
EMK	: Elektromotor kuvveti(Electromotive force)
FDAM	: Fırçasız doğru akım motoru(Brushles direct current motor)
GMGN	: Global maksimum güç noktası(Global maximum power point)
GWO	: Gri kurt algoritması(Grey wolf algorithm)
KGK	: Kısmi gölgelenme koşulu(Partial shading condition)
LMGN	: Lokal maksimum güç noktası(Local maximum power point)
MGN	: Maksimum güç noktası(maximum power point)
MGNİ	: Maksimum güç noktası izleme(Maximum power point tracking)
IGBT	: Yalıtım kapılı bipolar transistör(Insulated gate bipolar transistor)
PSO	: Parçacık sürü optimizasyonu(Particle swarm optimization)
STK	: Standart test koşulu(Standard test condition)
SynRM	: Senkron relüktanslı motor(Synchronous reluctance motor)
TCT	: Toplam çapraz bağlantı(Total cross-connection)
WOA	: Balina optimizasyon algoritması(Whale optimization algorithm)

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artması ve teknolojinin gelişmesiyle enerjiye duyulan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde ihtiyaç duyulan enerjinin büyük çoğunluğu fosil kaynaklı yakıtlardan sağlanmaktadır. Geleneksel enerji kaynaklarının gelecekte tükenecek olup ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılayamayacak olması ve çevreyi kirletmesi gibi nedenlerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önem giderek artmaktadır. Bunun yanında artan enerji fiyatları ve enerjide dışa bağımlılık ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmektedir. Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında elektrik üretimi için önemli bir rol oynamaktadır. Güneş enerjisi FV (Fotovoltaik) paneller kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülür. Fakat bu panellerin verimleri oldukça düşüktür. Bu nedenle her zaman FV sistemlerin maksimum güç üretebilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Burada maksimum güç noktası ışınım ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak değişmektedir. FV panellerden değişik atmosferik koşullar altında maksimum güç çekilmesini sağlamak için Maksimum Güç Noktasını İzleme (MGNI) algoritmaları geliştirilmiştir [1].

Su canlılar için büyük öneme sahiptir. Suyun pompa ile temini tarım, günlük tüketim ve sanayi amaçlı kullanımlarda büyük rol oynamaktadır. Özellikle tarımsal verim tamamen suyun varlığına bağlıdır [2]. Yaz mevsiminde yağışların azalmasıyla yaşanan su kıtlığı nedeniyle tarımsal sulamada yaşanan sorunlar artmaktadır. Bunun yanında su teminine tarım dışında günlük tüketim ve sanayide de ihtiyaç duyulmaktadır. Genel olarak ihtiyaçların karşılanması için su pompalama sistemleri tarafından çok fazla elektrik gücü tüketilir. Elektrik şebeke hattının bulunmadığı veya güvenilir olmadığı kırsal bölgelerde tarımsal sulama için FV beslemeli su pompalama sistemleri giderek cazip hale gelmektedir. FV beslemeli su pompalama sistemleri gürültüsüz çalışıp çevreye karbon salınımı yapmadığı için doğa dostudur. Su pompasının çalışabilmesi için bir elektrik motoru veya bir jeneratör gereklidir. Kırsal bölgelerde ve özellikle elektrik şebekesinin bulunmadığı yerlerde kullanılan su pompaları için dizel jeneratör yerine FV beslemeli su pompalama sistemi kullanmak ekonomik ve çevre dostu olacaktır. FV beslemeli su pompalama sistemleri ilk yatırım maliyetleri yüksek olmasına rağmen yakıt ve bakım gerektirmediği için kısa sürede yatırım maliyetini çıkarabilmektedirler. FV sulama sistemlerini yüksek verimli ve düşük maliyetli hale getirmek araştırma konularının temelini oluşturmaktadır. Özellikle MGNI algoritmaları FV sistemi maksimum verimde çalıştırmak için yoğun olarak incelenmiştir.

En eski olarak basit tırmanma teknikleri olan Değiştir&Gözle (D&G) ve Artımsal İletkenlik (AI) algoritmaları MGNI algoritmaları olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu algoritmalar özellikle uygulamalardaki kolaylık ve basit yapısı nedeniyle günümüzde de tercih edilmektedir [3]. Bu algoritmalar kontrol amacıyla kullanılan görev periyodunun artırılması sonucunda güç ve akımdaki değişimlerin gözlemlenmesi ve bir sonraki adımda görev periyodunun artırılması veya azaltılması

ilkesine göre çalışmaktadır. Fakat hızlı atmosferik değişimlere daha hızlı cevap verebilmesi ve sürekli durumdaki dalgalanmaların azaltılması amacıyla bu yöntemlerin modifiye edilmiş türleri de kullanılmıştır ve halen geliştirilmektedir [4-6].

0.8Voc tekniği iyi bilinen en eski algoritmalarından olan Sabit Gerilim tekniğinden türetilmiştir. Maksimum gücün olduğu FV sistem geriliminin tespit edilmesi ile gerçekleştirilir. Daha sonra bir kontrolör ile sistem bu gerilim noktasında çalıştırılır. Son yıllarda zorlayıcı atmosferik koşullar altında çalışabilen yüksek performanslı yöntemlerde geliştirilmiştir. Yöntemin basitliği en önemli avantajı olarak ortaya çıkmıştır [7-8].

Böylece MGNİ algoritmalarının verimlerinin artırılması sürekli olarak çalışma konusu olmuştur. Özellikle geliştirilen algoritmaların uygulanabilirliğinin yüksek olması önemli bir avantaj olarak görünmektedir. Yüksek seviyeli işlemlerin sistem kurulum maliyetlerini etkilemesi önemli bir problem olmaktadır. Fakat MGNİ algoritmalarının yapay zekâ tekniklerini kullanılarak geliştirilmesi yüksek verim ve hızlı cevap süresi bakımından önemli bir çalışma konusu haline gelmiştir [9-11].

Bu yöntemlerin dışında Bulanık Mantık tabanlı ve optimizasyon tabanlı MGNİ algoritmaları son yıllarda güncelliğini artırmaktadır. Bu yöntemlerin birçok çalışmada yüksek performansları gösterilmiştir [12-13]. Kısmi gölgelenme koşullarında (KGK) geleneksel yöntemlerin birçoğu etkisiz kalmaktadır ya da düşük performans ile çalışmaktadır. Bunun nedeni birden fazla maksimum güç noktasının oluşmasıdır. Bu noktalardan sadece bir tanesi Global Maksimum Güç Noktasıdır (GMGN) ve algoritmanın bu noktayı bulması gerekmektedir. Bu nedenle geleneksel yöntemlerin modifiye edilmiş durumları veya optimizasyon tabanlı MGNİ algoritmaları kullanılmaktadır. Optimizasyon tabanlı MGNİ algoritmaları hem normal güneşlenme hem de KGK' da yüksek performansla çalışmaktadır. Son yıllarda çok fazla çalışmaya konu olmakla beraber PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu), CSA (Guguk Kuşu Arama Algoritması), GWO (Gri Kurt Optimizasyon) ve WOA (Balina Optimizasyon Algoritması) en yaygın olarak kullanılan optimizasyon algoritmaları olarak görünmektedir [14-21]. Aynı zamanda bu yöntemler sürekli artmakta ve her geçen gün yeni algoritmalar geliştirilmektedir. Yeni geliştirilen algoritmalarda temel amacın yüksek verim ve MGN' ye hızlı bir şekilde ulaşmak olduğu görülmektedir. Özellikle KGK' da GMGN' yi hızlı olarak bulmak algoritmalar ve sistem verimi için oldukça önemlidir. Çünkü diğer noktalarda elde edilen güç bazen oldukça düşük kalmaktadır. Sonuç olarak sistem verimine oldukça fazla zarar vermektedir. Fakat bu algoritmaların en önemli ve ortak probleminin yüksek işlem karmaşıklığı olduğu görülmektedir. Bunun için yüksek seviyeli, işlemcilerle gerek duyulur ve sistem maliyeti artar. Ayrıca yöntemlerin farklı sistemlere uygulanabilirliği uyumsama algoritmaları ile daha etkin olarak gerçekleştirilmektedir. Fakat bu işlem yöntemlerinin karmaşıklığını daha da artırmaktadır.

FV sistemler sulama sistemlerinin enerjisinin sağlanmasında yoğun olarak kullanılmaktadırlar. MGNİ algoritmalarının yine bu sistemlerde kullanılması zorunludur. FV sistemlerde kullanılan motorlar ve pompalar doğrusal olamayan bir yük karakteristiği ortaya koyduğu için geleneksel yöntemler atmosferik koşulların hızlı değişimi veya KGK' da ya geç cevap vermekte ya da yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle FV sulama sistemlerinde MGNİ algoritmalarının da geliştirilmesi zorunlu bir durumdur.

[22]'de FV beslemeli konum algılayıcısız çalışan bir FDAM' a (Fırçasız Doğru Akım Motoru) sahip su pompalama sistemi için çalışma yapılmıştır. Önerilen bu çalışma FDAM' ın algılayıcısız çalışması için zıt emk'nın sıfır geçişine dayalı bir teknikten oluşmaktadır. Bu çalışmada FDAM faz akımlarını ölçen akım algılayıcılarına olan ihtiyacı ortadan kaldırılmıştır. FV sistemin maksimum güç noktasına göre hızı otomatik olarak ayarlayan bir MGNİ yöntemi kullanılmıştır.

FV sistemlerde MGNİ noktasının ayarlanması için genellikle DC-DC dönüştürücüler kullanılmaktadır. DC-DC dönüştürücüler sistem kurulum maliyetini artırmaktadır. Bu nedenle DC-DC dönüştürücü kullanmadan FDAM' lı pompayı besleyen FV pompa sistemini geliştirilmiştir. FDAM' ın kontrolü için ortak bir gerilim kaynağı dönüştürücüsü kullanarak solar FV dizisini en yüksek güçte çalıştırabilen basit bir kontrol tekniği önerilmiştir [23].

Önerilen diğer bir su pompalama sistemi maksimum güç noktası kontrolörü, yükselten dönüştürücü, evirici ve bir su pompasını çalıştıran 3 fazlı indüksiyon motorundan oluşmaktadır. Önerilen su pompalama sistemi MGNİ için bir yapay zekâ yöntemi içermektedir. Değişen ışınım koşulları altında MGN elde etmek için Gri Kurt Optimizasyonundan ilham alan bir algoritma geliştirilmiştir. Önerilen algoritmanın KGK altında çalışırken PSO ve Aİ yöntemlerine olan üstünlüğü benzetim çalışmasında gösterilmiştir. Önerilen algoritma 0,11 saniyede maksimum güce ulaşır yaklaşık sıfır hata ile maksimum gücü izlemiştir [24].

[25]'de TCT (Toplam Çapraz Bağlantı) FV dizisi için asenkron motor kullanan akıllı su pompalama sistemi tasarlanmıştır. Bu tasarımda ışınım, gerilim ve akım algılayıcıları kullanılarak bu üç parametre algoritmada kullanılmıştır. Işınım algılayıcısı ile KGK altında TCT FV dizisine ait her modülün gerçek zamanlı ışınlanma verilerini ölçer. Gerilim ve akım algılayıcıları ise MGNİ için kullanılmıştır.

Kısmi gölgeleme koşulları FV sulama sistemleri için önemli bir problemdir. KGK' nın FV sulama sistemi üzerindeki etkisini benzetim yoluyla ortaya koyan ve deneysel yolla doğrulanan bir çalışma ortaya konulmuştur [26]. Diğer bir çalışmada FV dizisinin sağladığı maksimum güçten yararlanmak ve su pompalama sisteminin güvenilirliğini arttırmak için FDAM kullanılmıştır. Önerilen sistem kısmi gölgeleme koşulları altında MGN elde etmek için CSA algoritması kullanılmıştır [27].

Senkron relüktans motorlar düşük maliyet ve yüksek verimle endüstride kendisine yer edinmiştir. Senkron relüktans motor kullanılan bir solar pompa sisteminde akım algılayıcısı kullanılmadan MGNİ algoritması geliştirilmiştir. Sistem tanımlama yöntemi ile motor kontrol verileri kullanılarak FV sistem akımı tahmin edilmiştir. Çok yüksek verimle çalışan bu yöntem KGK altında oldukça yüksek performans ortaya koymuştur [28].

Hibrit algoritmalar MGNİ algoritmaların önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. KGK altında FV sistemden maksimum güç elde etmek için VSC (Gerilim Tarama) ve CSA yöntemleri birleştirilerek hibrit bir MGNİ algoritması önerilmiştir. Önerilen hibrit algoritma VSC, CSA ve PSO yöntemleri ile 10 farklı KGK altında test edilip kıyaslanmıştır. Yapılan kıyaslamada önerilen hibrit algoritmanın üstünlüğü açıkça ortaya konulmuştur [29].

FV sistemlerde DC-DC dönüştürücüler önemli bir maliyet oluşturmaktadır. FV beslemeli Senkron Relüktans Motor kullanan bir su pompalama sistemiyle ilgili bir çalışma yapılmıştır. Sistemde DC-DC dönüştürücü kullanılmamıştır. FV panellere doğrudan bir evirici bağlanmıştır. Bu çalışma normal koşullar ve KGK altında iki farklı MGNİ tekniği kullanılmış ve karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda DE (Diferansiyel Evrim) yönteminin D&G yöntemine göre FV panellerden daha fazla çıkış gerilimi elde ettiği görülmüştür [30]. Literatür incelendiğinde FDAM' ın kullanıldığı birçok FV sistem çalışması görülmektedir.

[31]'de Su pompalama sistemine ait DC-DC dönüştürücünün kontrolü için iki farklı optimizasyon yöntemi uygulanmıştır. D&G ve PSO yöntemleri arasından PSO algoritması ile sistemin maksimum güç noktasında çalıştığı gözlemlenmiştir.

[32]' de FV beslemeli FDAM kullanan su pompalama sistemini maksimum güç noktasında çalıştırmak için PSO kullanılmıştır. Yapılan çalışmada PSO tekniğinin geleneksel D&G tekniğine göre daha iyi bir performans gösterdiği kanıtlanmıştır.

[33]' te ışınım ve sıcaklık değerlerinin giriş olarak kullanıldığı bir akıllı yöntem MGNİ algoritması için kullanılmıştır. Bir FV sisteme bağlanan FDAM bu yöntemle maksimum güç noktasında çalıştırılmıştır.

[34]' te şebekeye bağlı bir FV beslemeli pompa sistemi için MGNİ algoritmasının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntemin etkinliğinin gösterilmesi için üç farklı DC-DC dönüştürücü için algoritma test edilmiştir.

[35]' te yüksek kazançlı bir DC-DC dönüştürücüsü kullanan FV sistemde pompa motoru olarak FDAM kullanılmıştır. MGNİ algoritması WOA algoritması kullanılarak optimize edilmiştir.

[36]' da Z-source tip bir DC-DC dönüştürücü kullanan FDAM' una sahip FV sistemin MGNİ algoritması bulanık mantık ve artımsal iletkenlik algoritmalarının birleştirilmesi ile oluşturulmuştur.

MGNİ algoritmaları ile ilgili yapılan çalışmalar çok fazla olmakla beraber temelde iki önemli özelliğin karşılanması gerektiği gözlemlenmektedir. Bu özellikler sürekli durumda yüksek verimle maksimum güç noktasını takip etme ve hızlı değişen atmosferik koşullara hızlı bir şekilde uyum sağlama olarak söylenebilir. Fakat atmosferik koşulların değişimi homojen bir güneşlenme olduğunda daha kolay takip edilebilmektedir. Kısmi gölgelenme durumunda ise birden fazla MGN oluşmaktadır. Algoritmalar bunların içerisinde GMGN noktasını seçebilmelidir. Bu özellik algoritmaların karmaşıklığını artırmakta ve uygulamaları zorlaştırmaktadır. Diğer taraftan sistem kurulum maliyetleri de önemlidir. Algılayıcılar ve DC-DC dönüştürücüler bu maliyetin bir bölümünü oluşturmaktadır.

FV sulama sistemlerinin bir yük olarak davranışı doğrusal değildir. Atmosferik koşullar değiştiğinde pompa ve motorun güç ve moment seviyeleri değişecektir. Pompaya maksimum gücün aktarılması da ancak FV sistemden maksimum güç çekilmesi ile mümkündür. Bu nedenle doğrusal olmayacak bu değişimlere cevap verebilecek etkili MGNİ algoritmaları düşük maliyetlerle geliştirilmelidir.

1.1. Tezin Amacı

FV beslemeli su pompalama sistemleri fotovoltaik paneller, DC-DC dönüştürücü ve motor-pompa sisteminden oluşmaktadır. FV paneller düşük verimle çalışırlar. Bu yüzden FV panelleri maksimum verimde çalıştırmak için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Özellikle KGK altında çalışmada panellerden maksimum güç elde etmek oldukça zor hale gelip karmaşık algoritmalar gerektirmektedir. Bu algoritmaların çalışabilmesi için FV sistemden elde edilen gerilim, akım ve ortam koşullarını oluşturan sıcaklık, ışımaya değerlerinden birkaç tanesine ihtiyaç duyulmaktadır. FV sistemin akım ve gerilim değerlerini elde etmek için gerekli algılayıcılar sistem maliyetinin bir kısmını oluşturmaktadır.

Bu tez çalışmasında FV sulama sistemi için gerilim tarama yöntemi ile modifiye edilmiş D&G algoritmasının birleştirilmesi sonucunda elde edilen hibrit bir MGNİ algoritması oluşturulmuştur. Bu algortmada motorun zıt emk'sının taraması yapılmıştır. Motorun hız ve akım bilgisi kullanılarak mekanik gücü yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Tarama sonucunda elde edilen maksimum güç değeri kesin değildir ve maksimum güç bölgesini belirlemiştir. Çünkü ortam değişkenlerine bağlı olarak değişen sistem parametreleri tam bir hesaplamayı mümkün kılmamaktadır. Bu nedenle MGNİ algoritması iki aşamalı olarak tasarlanmıştır. Birinci aşamada tarama işlemi sonucunda MGN' nin bölgesi tespit edilmiştir. Birinci aşamadaki veriler ikinci aşamada MGNİ algoritmasının girişini oluşturmuştur. İkinci aşamada motorun hız ve akım bilgisi kullanılmıştır ve birinci aşamada elde edilen MGN bölgesindeki maksimum güç noktasının kesin değerinin tespiti sağlanmıştır.

Bu yöntemin en önemli avantajı sadece motor verilerinin kullanılmasıdır. FV sisteme ait akım, gerilim ve ışıma değerlerinden herhangi biri kullanılmamıştır. Bu sayede sistem maliyeti azaltılarak KGK koşulları altında maksimum güç üretilmesi gerçekleştirilmiştir. Diğer taraftan yüksek performans gösteren algoritmalar yapay zeka yöntemleri veya optimizasyon yöntemleri oldukça karmaşık ve uygulanması zor olan yöntemlerdir. Bu çalışmada basit bir akış şeması ile oluşturulabilecek bir yöntem geliştirilmiştir.

1.2. Tezin Organizasyonu

Bu tez çalışmasında genel olarak FDAM' ın kullanıldığı bir FV sulama sistemi incelenmiş ve bir MGNİ algoritması geliştirilmiştir. Birinci bölümde FV sulama sistemlerinin genel tanıtımı yapılmıştır. Ayrıca bu sistemler ile ilgili bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. FV sulama sistemlerinde kullanılan MGNİ algoritmaları tanıtılmış ve tez çalışmasında kullanılacak algoritmanın önemi belirtilmiştir.

İkinci bölümde FV sistemlerin genel yapısı tanıtılmıştır. FV sistemlerde maksimum gücün oluştuğu noktalar incelenmiştir. Normal güneşlenme ve KGK altında çalışan FV sistemlerin güç ve gerilim ilişkileri gösterilmiştir.

Üçüncü bölümde FDAM tanıtılmıştır. Motorun yapısı kontrolü ve çalışması üzerine genel bilgiler verilmiştir. Ayrıca FDAM' ın matematiksel modeli oluşturularak akım eşitlikleri oluşturulmuştur.

Dördüncü bölümde ilk olarak DC-DC dönüştürücü tipleri tanıtılmış ve ardından bu çalışmada kullanılan ZETA tip DC-DC dönüştürücü anlatılmıştır. Daha sonra geleneksel MGNİ algoritmaları tanıtılıp ve son olarak önerilen algılayıcısız MGNİ algoritması anlatılmıştır.

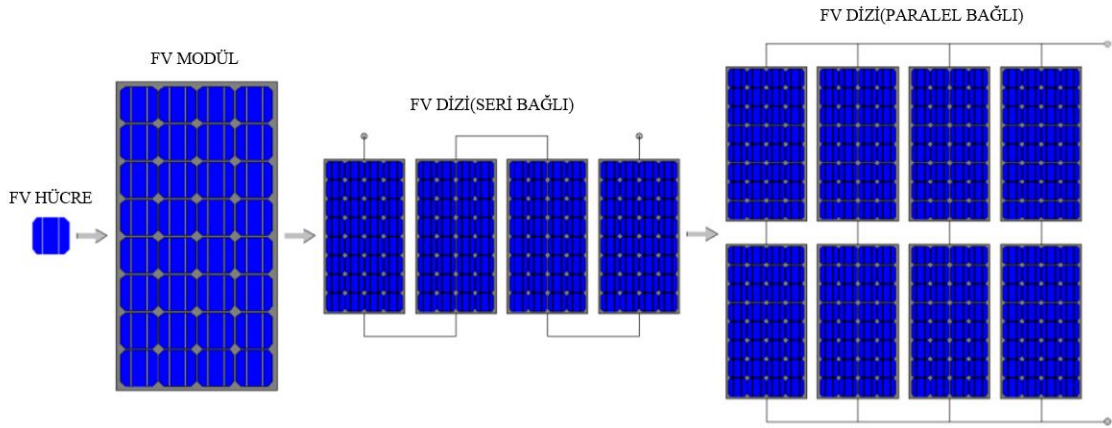
Beşinci bölümde FV pompa sistemi ve benzetimi anlatılmıştır. Bu amaçla oluşturulan FV dizisinin 4 farklı KGK altında benzetimi yapılarak üretebileceği maksimum güçler ve bu noktadaki gerilimler grafiksel olarak gösterilmiştir. Yine FV pompa sisteminde yer alan FDAM'ın altı adım anahtarlamasının MATLAB/Simulink blokları gösterilmiştir. Sistemde kullanılan iki aşamalı algılayıcısız MGNİ algoritmasının MATLAB/Simulink blokları ve algoritma kodları gösterilmiştir. FV pompa sistemi tanıtıldıktan sonra bu sisteme uygulanan 4 farklı KGK koşulunun her biri için benzetim sonuçları gösterilmiş ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

Altıncı bölümde 4 farklı KGK durumunda FV sistemin üretebileceği maksimum güce yaklaşma yüzdeleri verilmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu bölümde son olarak gelecekte yapılacak olan çalışmalar anlatılmıştır.

2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Elektrik enerjisine duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır. Elektrik üretiminde büyük paya sahip olan geleneksel enerji kaynakları ihtiyaç duyulan enerji karşısında yetersiz kalmaktadır. Bunun yanında geleneksel enerji kaynaklarının doğayı kirletmesi, sürekli olmayıp tükenecek olması alternatif enerji kaynağı olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Geleneksel enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisinin elektrik üretiminde ki payı giderek azalmaktadır. Diğer taraftan yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneşin elektrik üretimindeki payı giderek artmaktadır. Doğada sürekli halde bulunan güneş enerjisi FV sistemler kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülür. FV sistemler doğayı kirletmeme, bakımlarının kolay olması, şebeke bağlantısı gerektirmediği için istenilen bölgede kurulması ve tesisat maliyetinin düşük olması gibi birçok avantaja sahiptir. Kırsal bölgelerde yakıtla çalışan su pompalama sistemleri yerine FV beslemeli su pompalama sistemleri tercih edilmeye başlanmıştır. FV sistemler kurulum maliyeti yüksek olmasına rağmen kısa süre içerisinde kurulum maliyetlerini çıkarmaktadırlar.

FV paneller güneş hücrelerinden oluşmaktadır. Bu hücrelerden elde edilecek gücü arttırmak için çok sayıda hücre birbirine seri veya paralel bağlanmaktadır. Bu bağlanma sonucu oluşan yapıya FV modül denir. Bu modüllerde birbirine seri veya paralel bağlanarak FV dizisini oluşturur. Şekil 2.1'de FV dizisi ve onu oluşturan elemanlar görülmektedir.



Şekil 2.1 FV seri-paralel dizi bağlantıları[37]

FV panel, üzerine düşen güneş ışığının çok az bir kısmını elektrik enerjisi olarak dönüştürürler. Yapıldıkları malzemelerin özelliğine bağlı olarak değişik dalga boylarındaki ışınım bulunduran güneş enerjisinin yalnız spektral cevap aralıklarına denk olan kısmı elektrik enerjisine çevrilirken, çok büyük kısmı FV malzeme üzerinde ısıl yük olarak ortaya çıkar. Isı yükünün artışı FV panellerin verimlerini düşürmekte ve uzun dönemde malzeme yapısına zarar vermektedir [38].

2.1. Fotovoltaik Hücresinin Matematiksel Modeli

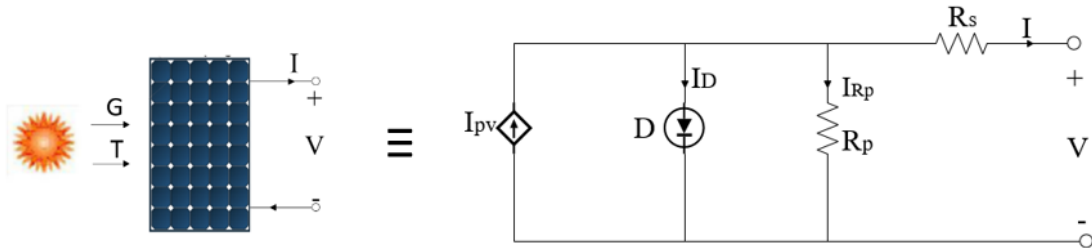
Şekil 2.2’de görülen FV hücre modeli bir diyot, bir akım kaynağı ve iki adet dirençten oluşmaktadır. Devrede üretilen çıkış akımı Denklem 2.1 ve Denklem 2.3 arasında görülmektedir.

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

$$I = I_{PV} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V+R_s I}{a}\right) - 1 \right] - \frac{V+R_s I}{R_p} \quad (2.2)$$

$$a = \frac{N_s n k T}{q} \quad (2.3)$$

Burada I_0 ters doyma akımını ve kaçak akımı ifade eder. a idealite faktörünü, N_s seri bağlı hücre sayısını, n ideal diyot sabitini, k Boltzmann sabitini ($1.3806503 \times 10^{-23}$ J/K), T hücre sıcaklığı (Kelvin), q elektron yükünü ($1.60217646 \times 10^{-19}$ C) gösterir. FV panelin ışığın etkisiyle ürettiği akım Denklem 2.4’te görülmektedir.



Şekil 2.2 FV hücresine ait elektriksel eşdeğer devre modeli

$$I_{PV} = \left(I_{PV,n} + K_I (T - T_n) \right) \frac{G}{G_n} \quad (2.4)$$

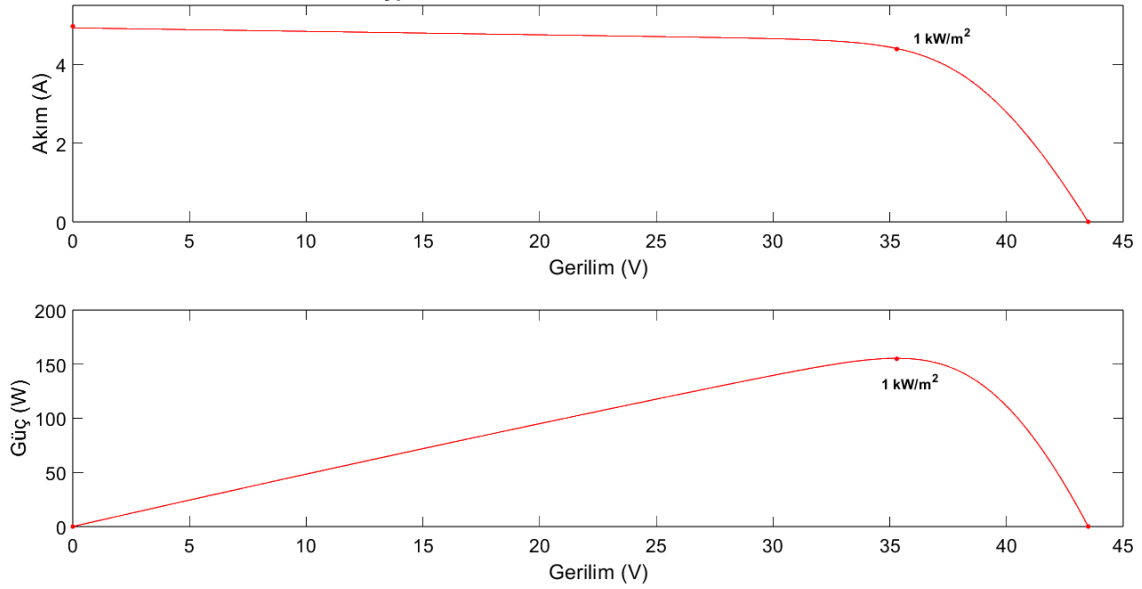
Burada $I_{PV,n}$ 25 °C ve 1000 W/m² ışınım değerinde üretilen akımı ifade eder. T_n nominal sıcaklığı (Kelvin), G panel yüzeyindeki ışınım değerini (W/m²), G_n ise nominal ışınım değerini ifade eder (W/m²). Diyodun doyma akımı I_0 ise Denklem 2.5’te verilmiştir.

$$I_0 = \frac{I_{SC,n} + K_I(T - T_n)}{\exp\left(\frac{V_{OC,n} + K_V(T - T_n)}{a}\right) - 1} \quad (2.5)$$

Denklem 2.5'te verilen $I_{SC,n}$ nominal kısa devre akımını, $V_{OC,n}$ açık devre gerilimini, K_I akım katsayısını ve K_V gerilim katsayısını ifade eder.

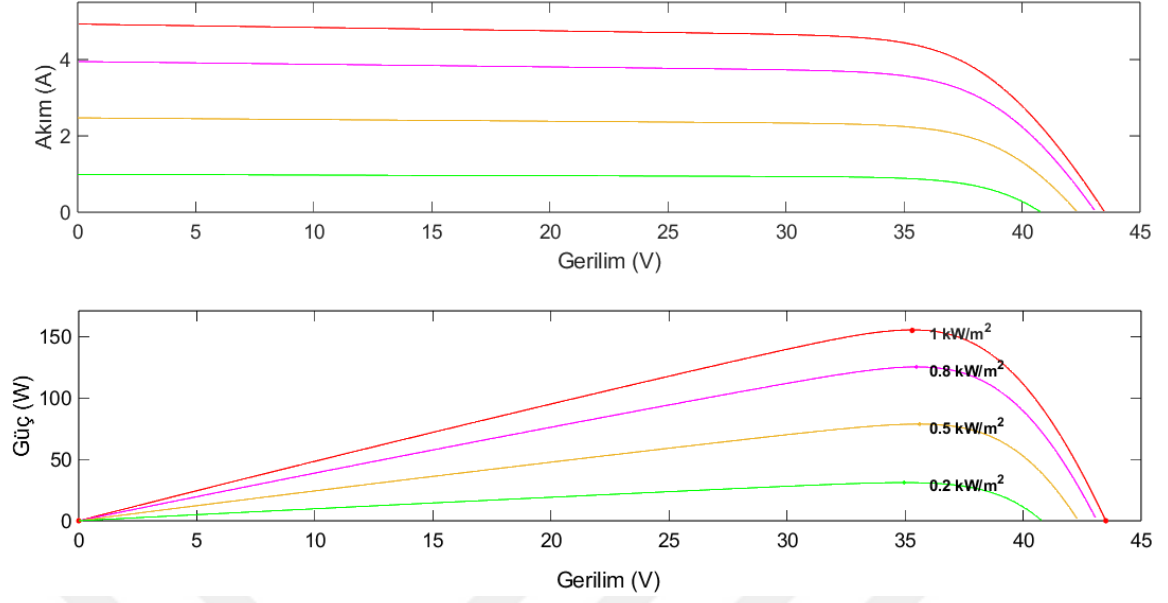
2.2. Güneşlenme Oranının Etkisi

FV panellerden elde edilen güç panelin güneşlenme oranına ve ortam sıcaklığına bağlıdır. FV panel üzerine düşen ışınım miktarı ve ortam sıcaklığı değerleri kullanılarak panele ait MGN belirlenir. FV sistemlerde verimliliğin hesaplanması için standart bir atmosferik koşul vardır. Bu standarda, standart test koşulu denilmektedir. Standart test koşulunda ışınım değeri 1000 W/m^2 ve $25 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık altında FV panelden elde edilecek MGN tespit edilir [39]. Şekil 2.3'de 154 W gücündeki bir panele ait standart test koşulundaki IV ve PV grafikleri verilmiştir.



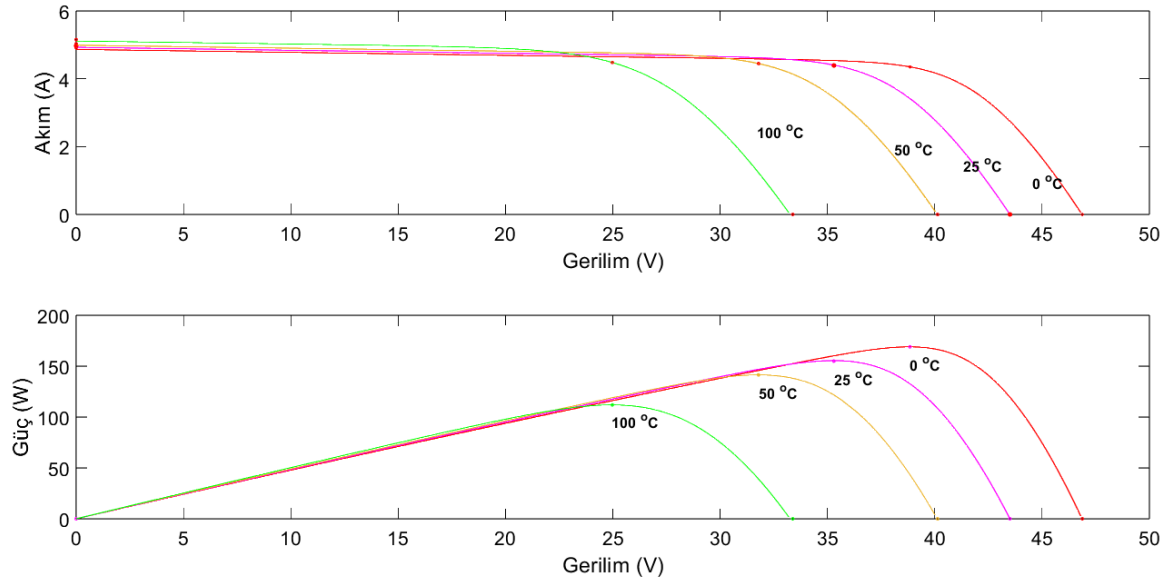
Şekil 2.3 Standart test koşullarında IV ve PV grafiği

FV panellerin ürettiği akım ve güç değeri üzerine düşen ışınım şiddetine ve sıcaklığa bağlı olarak değişiklik gösterir. Şekil 2.4'de 154 W gücündeki FV panele ait sabit sıcaklık altında farklı ışınım değerlerine ait IV ve PV grafiği gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Değişken ışınım şartlarında IV ve PV grafiği

Şekil 2.4’de ortam sıcaklığı sabit tutularak panele uygulanan ışınım değeri artırıldığında FV sisteminin çıkışındaki akımın arttığı görülmüştür. Buna bağlı olarak panelin ürettiği güç değeri de artmıştır.

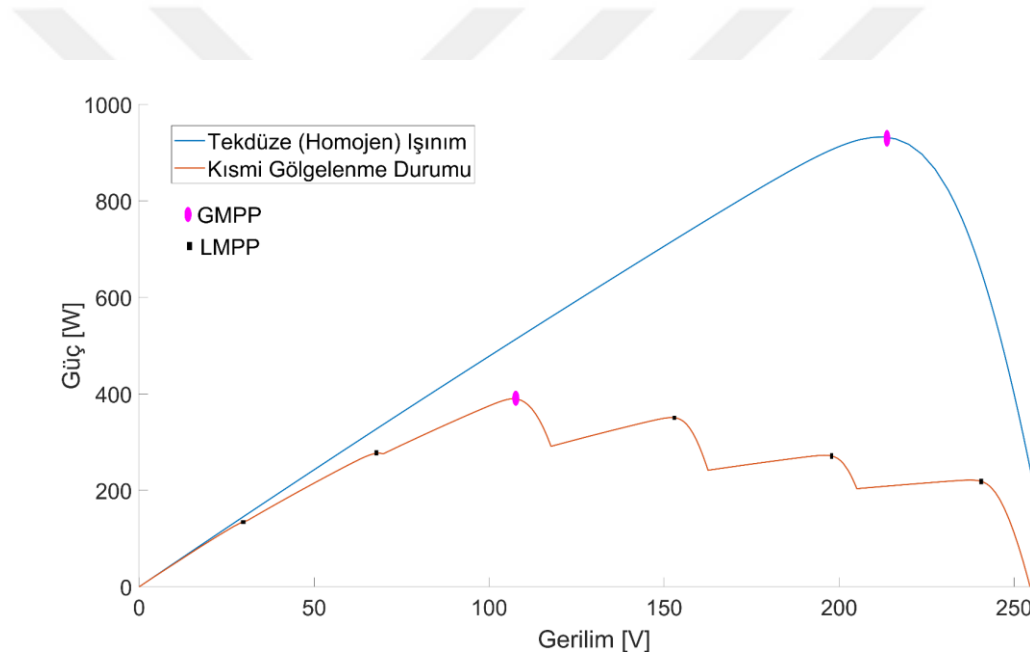


Şekil 2.5 Değişken sıcaklık şartlarında IV ve PV grafiği

Şekil 2.5’deki grafik incelendiğinde sabit ışınım şiddeti altında FV sistemin IV ve PV grafiği üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Sıcaklık arttığında FV sistemin çıkışındaki gerilimin azalacağı görülmektedir. Gerilimdeki azalmaya bağlı olarak sistemin üreteceği güçte azalacaktır.

2.3. Kısmi Gölgeleme Koşulları

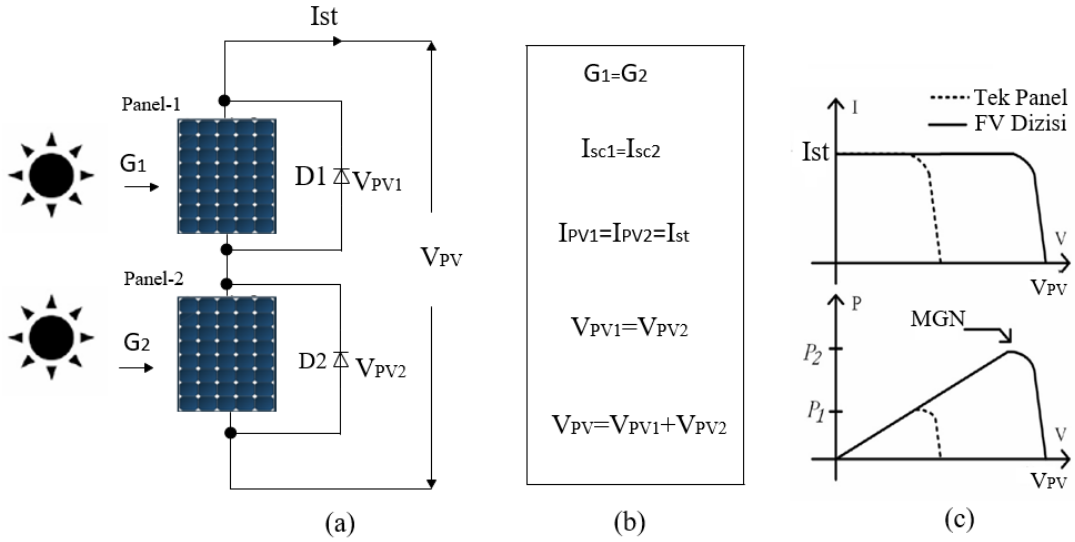
Bir FV dizisinde her bir panelin üzerine düşen ışınım değeri aynı ise tekdüze güneşlenme durumu söz konusudur. Fakat paneller üzerindeki ışınım değeri farklı olursa bu durumda kısmi gölgeleme koşulları oluşur. FV dizilerin tozlanma, bulutların güneşi engellemesi, ağaç ve yüksek katlı yapılar yüzünden panellerin bir kısmının daha az güneş görmesi nedeniyle güneş gören panellere göre daha az güç üretirler. Bu durumun oluşmasına kısmi gölgeleme denilmektedir[40]. Tekdüze güneşlenmede sadece bir tane maksimum güç noktası oluşurken kısmi gölgeleme koşulları altında birden fazla maksimum güç noktası oluşmaktadır. Bu noktalar LMGN (lokal maksimum güç noktası), ve GMGN (global maksimum güç noktası) olarak adlandırılır. Şekil 2.6'da tekdüze ışınım altında bir adet MGN olduğu görülmekte KGK altında ise birden fazla MGN olduğu görülmektedir.



Şekil 2.6 Tekdüze güneşlenme ve KGK altında PV grafiği

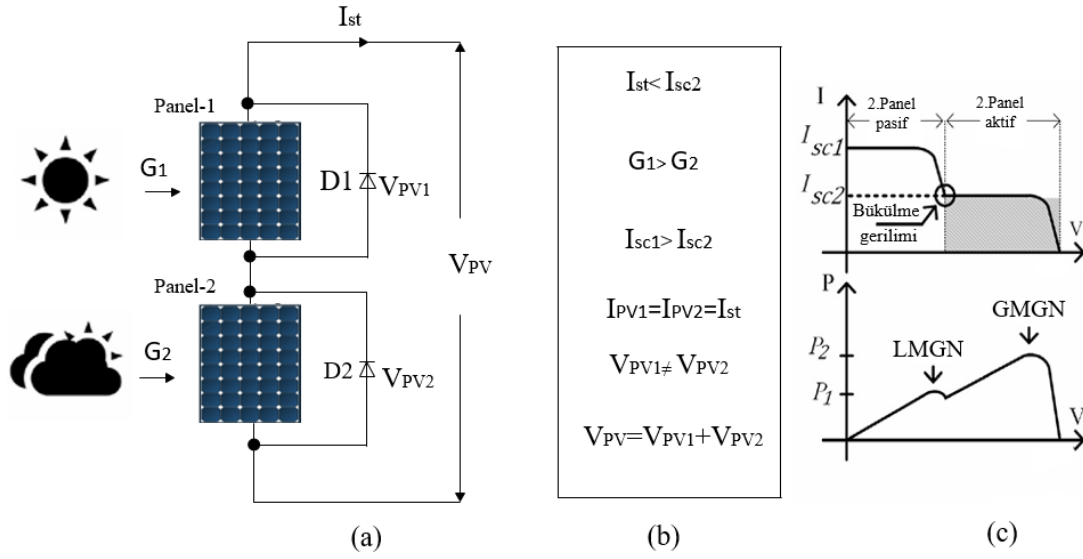
FV modüllerin seri veya paralel olarak bağlantısıyla FV diziler oluşmaktadır. Paralel bağlı olan modüllerin gerilim seviyeleri aynı olur. Diğer yandan paralel modüllerden geçen akımları toplamı dizi akımını oluşturur. Kısmi gölgeleme durumunda olan paneller normal güneşlenme etkisinde olan panellere göre daha az akım üretirler. Kısmi gölgeleme durumunda dizi akımı gölgeli panelin R_s ve R_p dirençleri üzerinden geçer. Bu durum panelin ısınmasına ve panelin kullanılmayacak duruma gelmesine neden olur. Bu durumun önüne geçmek için bypass diyotu kullanılır. Ancak Bypass diyotu kullanılmasının iki önemli dezavantajı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi kısmi gölgeleme durumunda olan FV panelden güç üretimi yapılamamasıdır. Diğer bir durum ise güç üretimi yapılamaması durumunda birden fazla MGN oluşması ve buna bağlı olarak maksimum güç noktası izlemenin daha zor hale gelmesidir [41].

Şekil 2.7’de birbirine seri iki panelin aynı ışınım değerinde ki durumu incelenmiştir. Bypass diyotlarının ideal anahtar oldukları varsayılmıştır. Şekil 2.7(a)’da birbirine seri bağlı iki panelin aynı ışınım altında ($G_1 = G_2$) devre modeli gösterilmiştir. Şekil 2.7(b)’ de devre modeliyle ilgili eşitlikler gösterilmiştir. Şekil 2.7(c)’de ise akım-gerilim(IV) ve güç-gerilim(PV) grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Eşit ışınım altında FV dizisinin incelenmesi

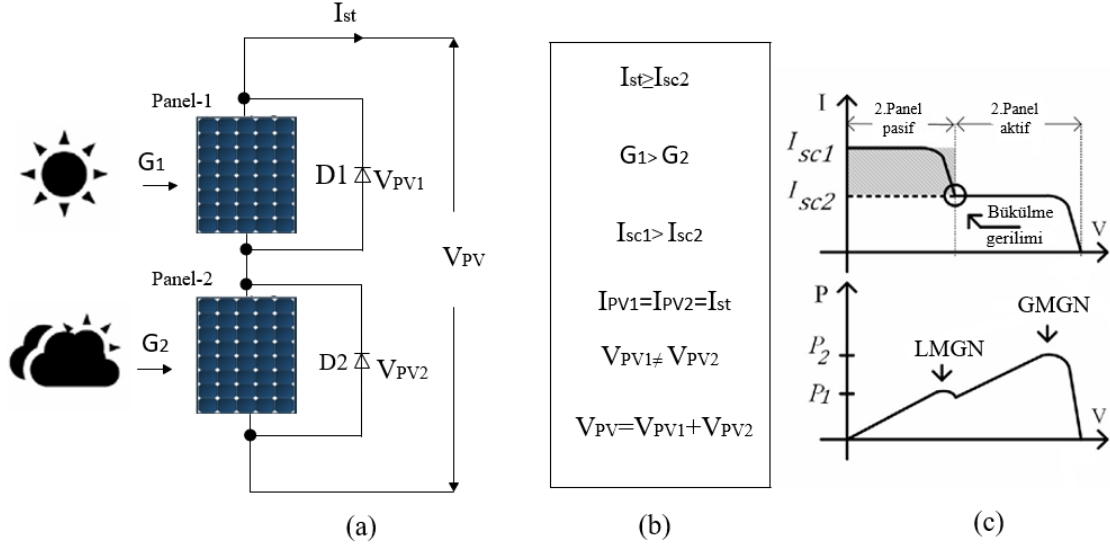
Panellere uygulanan tekdüze güneş ışınımı altında panel gerilimleri ($V_{PV1} = V_{PV2}$) ve kısa devre akımları $I_{sc1} = I_{sc2}$ eşit olur. Bu durumda FV dizisinin IV karakteristiği ve tek panelin IV karakteristiği benzer olur. Fakat FV dizisini oluşturan paneller seri bağlandığından dizinin gerilim değeri tek panelin iki katı değerindedir. Şekil 2.7 (c) incelendiğinde tekdüze ışınım altında bir tane MGN olduğu görülmektedir.



Şekil 2.8 Farklı ışınlam altında FV dizisinin incelenmesi

Şekil 2.8’ de bypass diyotlarının FV dizisi üzerindeki etkisini göstermek amacıyla 2. panele daha az ışınlam ($G_1 > G_2$) uygulanmıştır. FV dizisine ait eşitlikler Şekil 2.8(b)’de gösterilmiştir. Birinci panel tam ışınlam altında olduğundan kısa devre akımı gölgeli durumda olan ikinci panele göre daha büyük ($I_{sc1} > I_{sc2}$) olur. Çalışma durumunda FV dizisinin akımı (I_{st}) gölgeli panel akımından (I_{sc2}) daha düşük olur. Bu durumda tüm bypass diyotları ve paneller kesme koşullarında olacaktır. Bahsedilen çalışma bölgesi Şekil 2.8(c)’de gölgeli olarak gösterilmiştir. Her iki panelin gerilimleri sıfırdan büyük olup yüke güç sağlamaya devam etmektedirler.

Gölgeli panelin kısa devre akımı (I_{sc2}) dizi akımına (I_{st}) eşit olursa ($I_{st} = I_{sc2}$) gölgeli panel zorlanarak kısa devre akımı, panel gerilimi ve ürettiği güç sıfıra yaklaşacaktır. Bypass diyotu kullanılırsa D_2 iletim durumunda olur ancak gölgeli panelin kısa devre akımı (I_{sc2}) dizi akımına (I_{st}) eşit olduğundan D_2 diyotundan akım geçmeyecektir. Şekil 2.8(c)’de bu çalışma noktasına ait gölgeli alandaki bükülme gerilimi gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Farklı ışınım altında FV dizisinin incelenmesi $I_{st} > I_{sc2}$

FV dizi akımının kısa devre akımından daha büyük olduğu durum ($I_{st} > I_{sc2}$) Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Gölgeli panel akımı I_{sc2} ve dizi akımı I_{st} arasındaki fark D_2 bypass diyotuna doğru akacaktır. İkinci panelin akımı ve gerili sıfıra yaklaştığından bu panelin üreteceği güç ihmal edilebilir. KGK altında güç-gerilim grafiğinde(PV) herhangi bir nokta yerine GMGN'de çalışabilecek MGNI yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Tablo.2.1 FV sistemde kullanılan panelin özellikleri

Sun Earth Solar Power TPB125x125-72-P 155W FV paneli	
Maksimum çıkış gücü(P_{max})	157,967W
Açık devre gerilimi(V_{OC})	43,5V
Kısa Devre Akımı(I_{SC})	4,97A
Maksimum Güç noktasında ki gerilim(V_{mp})	35,3V
Maksimum güç noktasında ki akım(I_{sc})	4,39A

Tablo 2.1'de bu çalışmada kullanılan FV panele ait özellikler verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan FV sistem 6 adet birbirine seri bağlı panelden oluşmaktadır. Bir panelin maksimum güç noktasında ürettiği gerilim 35.3V, ürettiği akım 4.39A ve gücü 157,967W olarak verilmiştir. Buna göre FV sistemin üretebileceği maksimum güç yaklaşık olarak 950W olarak verilmiştir.

FV sistemlerin birçok alanda kullanımı elektriğe duyulan ihtiyacın artmasıyla giderek yaygın hale gelmektedir. Özellikle şebeke geriliminin kısıtlı olduğu veya hiç olmadığı bölgelerde güvenilir olmayan şebeke gerilimi yerine FV sistemlerin kullanımı tercih edilmeye başlanmıştır. FV

sistemler yenilebilir enerji kaynaklarından olup temiz enerji sağlamaktadır. Diğer taraftan FV sistemlerin avantajları göz önüne alındığında gelecekte ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin üretimindeki payının artması kaçınılmaz olacaktır.

FV sistemler giderek yaygınlaşmasının yanında düşük verimle çalışmaktadırlar. Bu sebeple FV sistemleri yüksek verimle çalıştırmak için literatürde birçok akademik çalışma yapılmıştır. Bu tez çalışmasında da FV sistemden yüksek verim elde etmek için bir algoritma geliştirilmiştir. Tezin bu bölümünde FV sistemin yapısı, FV sistemlerden elde edilen gücün güneşlenme oranına bağlı olarak değişimi ve son olarak KGK durumu incelenmiştir. Bir sonraki bölümde ise solar pompa sisteminde pompayı tahrik etmek için kullanılan FDAM anlatılmaktadır.



3. FIRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORLARI

Elektrik motorları, FV beslemeli su pompalama sistemlerinin önemli bir bileşenidir. Bu sistemlerde senkron relüktans motor (SynRM), sürekli mıknatıslı senkron motor, endüksiyon motoru ve fırçasız doğru akım motoru (FDAM) gibi çok farklı motor çeşitleri kullanılmaktadır[42]. FDAM'lar DC motor ve endüksiyon motoruyla kıyaslandığında daha iyi bir alternatif olarak sunulmaktadır. Bu motorların güvenilir olması, çok az bakıma ihtiyaç duyması ve basit kontrole sahip olması avantajlı hale gelmesini sağlamıştır. Diğer yandan AC motorlara kıyasla verimlidirler. FDAM'lar özellikle FV sulama sistemleri için üstün özellikleri nedeniyle son yıllarda ilgiyi üzerine çekmiştir[43].

3.1. Fırçasız Doğru Akım Motorlarının Yapısı

Fırçasız doğru akım motorları yapısında temel 4 kısım bulunmaktadır. Bunlar; sabit mıknatıs bulunduran ve manyetik akı üreten rotor, faz sargılarından oluşan stator, rotor ile stator arasında yer alan hava aralığı ve hareketli rotorun konumunu belirleyen pozisyon algılayıcılarıdır[44].

Stator motorun duran kısmı olup nüve ve sargılardan oluşmuştur. Üç fazlı sargılar nüve içerisindeki boşluklara yerleştirilerek stator elde edilir. Statordaki boşluk sayısı faz sayısına, sargı sayısına ve rotor kutup sayısına bağlı olarak değişir. Kesirli bir boşluk/kutup oranı tercih edilerek vuru momentini minimize edilir[45].

Fırçasız doğru akım motorunun dönen kısmını oluşturan rotor kalıcı mıknatıstan oluşmaktadır. Rotorda kullanılan kalıcı mıknatıslar bir veya daha fazla mıknatısın bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Kalıcı mıknatıslı rotorda fırça düzeneği ve kollektör bulunmadığından bakıma ihtiyaç duymaz, ark oluşmaz ve sürtünme kayıplarının azalmasını sağlamaktadır. Kalıcı mıknatısı elde etmek için genellikle ucuz olan ferrit malzemesinden yapılan mıknatıslar tercih edilmektedir. Buna karşın ferrit malzemesinden elde edilen mıknatıslar akı yoğunluğunun düşük olması ve daha az manyetik yoğunluk sağlaması gibi dezavantaj bulundurmaktadır.

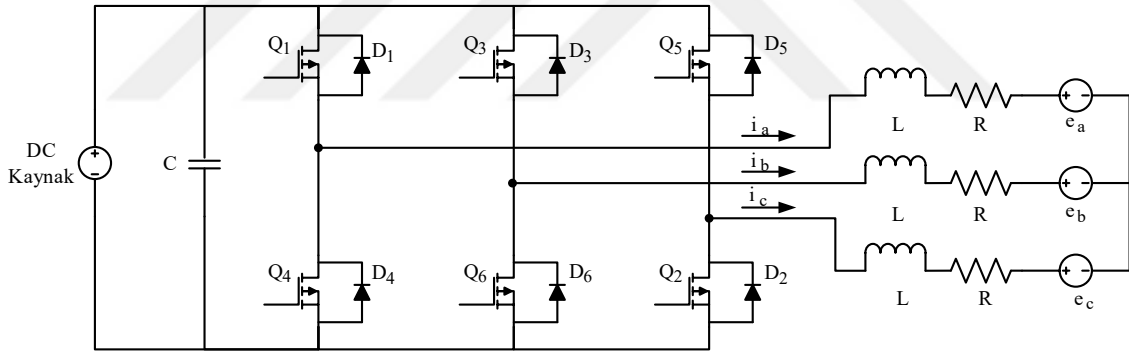
Stator ile rotor arasında bulunan boşluğa hava aralığı denilmektedir. Hava aralığının motor verimi üzerinde doğrudan etkisi bulunmaktadır. Hava aralığının fazla olması durumunda elde edilen manyetik akının azalmasına neden olmaktadır.

Pozisyon algılayıcıları rotorun konumunu belirleyip bir komütasyon kod çözücüsüne lojik kodları iletir. Bu kod işlendikten sonra stator sargılarına güç veren yarı iletken anahtarların tetikleme devreleri, sürücü tarafından aktif hale getirilir[46].

3.2. Matematiksel Modeli

FDAM'lar trapezoidal zıt emk'ya sahip sürekli mıknatıslı senkron motorlardır. Bu motorlara alan etkili algılayıcılardan gelen bilgi doğrultusunda akım dalga şekli belirlenir. Algılayıcılardan gelen bilgiye bir mantık işlemi uygulanarak 3 adet farklı sinyal elde edilir. Bu sinyaller arasında 120° faz farkı bulunmaktadır. Böylece motor akımı kontrol edilirken referans akım dalga şekli elde edilmiş olur. Bir sonraki adımda hangi durumda eviricinin hangi bacağındaki anahtarın aktif veya pasif olacağı belirlenerek anahtarlama işlemi gerçekleştirilir. Her bir 60° de iki faz arasında akım yönlerinde değişme olacaktır. Sonuç olarak motor faz sargılarındaki akım komütasyonu gerçekleştirilir. Bu yöntem her an için sadece iki faz sargısı iletimde olduğundan ve bir turda altı defa akım yön değiştirdiği için altı adım anahtarlama tekniği olarak adlandırılır. Bu sayede geleneksel DC motorlarda bulunan fırça ve kollektörün ortaya çıkardığı dezavantajlar bulunmamaktadır.

Şekil 3.1'de altı adımlı bir evirici ve FDAM görülmektedir. Algılayıcılardan gelen 3 sinyal arasında 120° faz farkı bulunmaktadır. Gelen sinyallere göre motor her 60° 'de bir motor faz akımlarının yönü belirlenir. Böylece her durumda iki faz sargısı iletimde olacaktır.



Şekil 3.1 Altı adımlı evirici ve FDAM' a ait sargılar

Şekil 3.1'de bazı kabullerin varsayıldığı düşünülerek FDAM sürücüsü gerçekleştirilmiştir. Bu varsayımlarda motorun doyumda olmadığı, tüm sargıların özdeş olduğu yani indüktans ve dirençlerinin aynı olduğu anahtarlama elemanları güç devresinin ideal olduğu ve demir kayıplarının olmadığı kabul edilmiştir.

Fırçasız doğru akım motorunun bu varsayımlar doğrultusunda matematiksel modelini elde etmek için ilk olarak model denklemleri elde edilmektedir. Sistem modeli belirlenirken sistemde yer alacak tüm elemanlar sistem modeline dâhil edilmelidir. Şekil 3.1'de kullanılan üç fazlı FDAM eşdeğer devresi kullanılarak motora ait matematiksel ifade Denklem 3.1'de verilmiştir[47].

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_a & 0 & 0 \\ 0 & R_b & 0 \\ 0 & 0 & R_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L_a & 0 & 0 \\ 0 & L_b & 0 \\ 0 & 0 & L_c \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'de yer alan V_a, V_b, V_c motor faz gerilimlerini, R_a, R_b, R_c faz dirençlerini, L_a, L_b, L_c faz indüktanslarını, i_a, i_b, i_c faz akımlarını ve son olarak e_a, e_b, e_c zıt emk'ları ifade eder. Denklem 3.1'den yola çıkarak motorun faz gerilimleri sırasıyla Denklem 3.2 ile Denklem 3.4 arasında ifade edilmiştir.

$$V_a = R_a \cdot i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_a \quad (3.2)$$

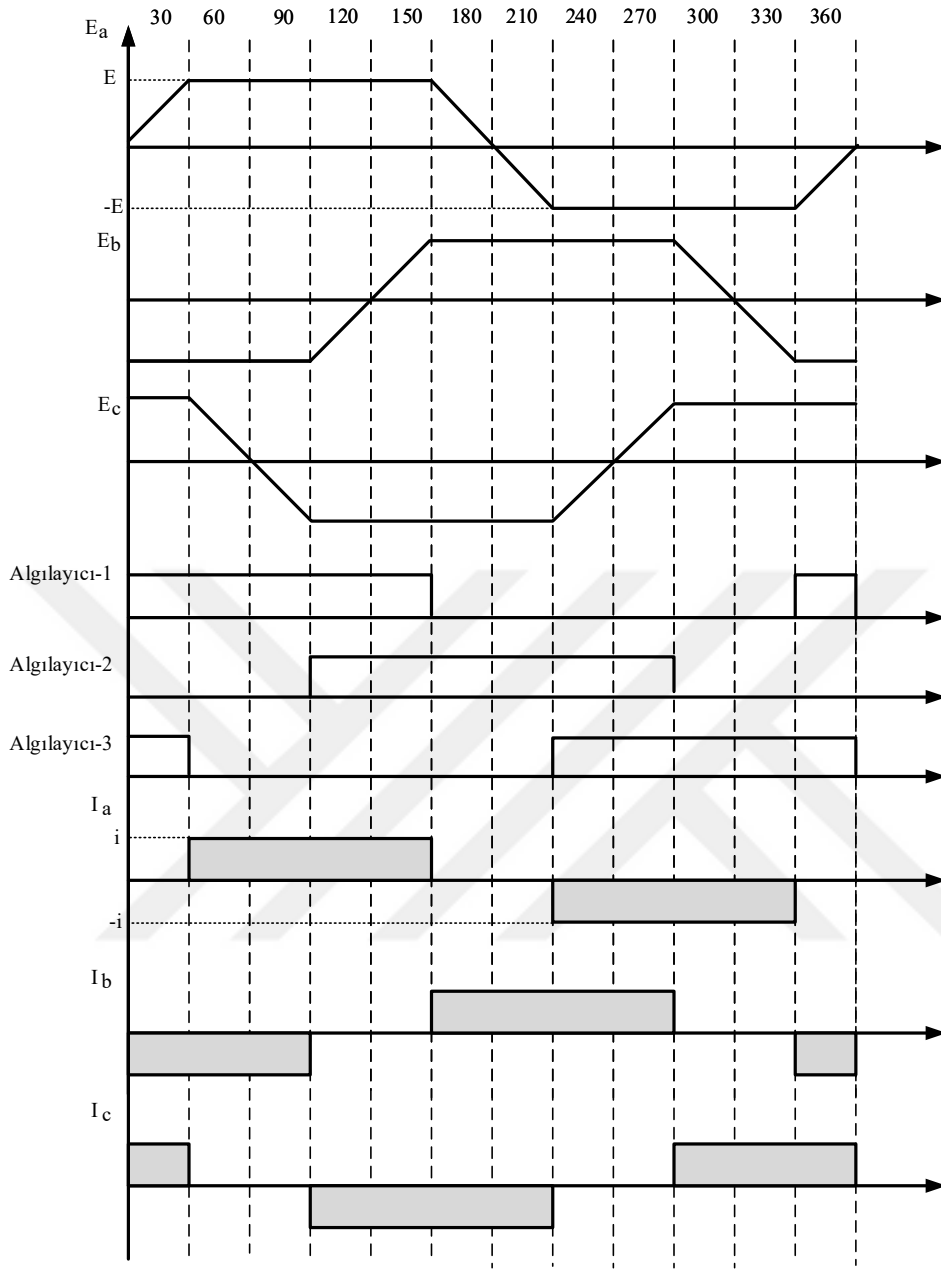
$$V_b = R_b \cdot i_b + L_b \frac{di_b}{dt} + e_b \quad (3.3)$$

$$V_c = R_c \cdot i_c + L_c \frac{di_c}{dt} + e_c \quad (3.4)$$

Faz akımları toplamı sistemin dengede olduğu düşünülürse Denklem 3.5'te görüldüğü gibi sıfıra eşit olacaktır.

$$i_a + i_b + i_c = 0 \quad (3.5)$$

Şekil 3.2'de FDAM'ın her bir fazına ait zıt emk'ları, alan etkili algılayıcılarının çıkış sinyalleri ve faz akımlarının dalga şekilleri görülmektedir.



Şekil 3.2 FDAM' in her bir fazına ait zıt emk' sı, alan etkili algılayıcılarının çıkış sinyalleri ve faz akımlarının dalga şekilleri [48]

Şekil 3.2'de görüldüğü gibi her durumda iki fazın devrede olduğu görülmektedir. Bu durumda fazlar arası gerilim Denklem 3.6 ile Denklem 3.9 arasındaki elde edilebilir.

$$V_{ab} = (i_a R_a + L_b \frac{di_a}{dt} + e_a) - (i_b R_b + L_b \frac{di_b}{dt} + e_b) \quad (3.6)$$

$$V_{ab} = R_{ab}(i_a - i_b) + L_{ab} \frac{d(i_a - i_b)}{dt} + (e_a - e_b) \quad (3.7)$$

$$V_{bc} = R_{bc}(i_b - i_c) + L_{bc} \frac{d(i_b - i_c)}{dt} + (e_b - e_c) \quad (3.8)$$

$$V_{ca} = R_{ca}(i_c - i_a) + L_{ca} \frac{d(i_c - i_a)}{dt} + (e_c - e_a) \quad (3.9)$$

Her durumda iki faz iletimde olduğu için fazlar arası gerilim DC gerilim kaynağına eşit olur. İki faz iletimdeyken üçüncü fazın akımı sıfır olacaktır. Faz akımlarının toplamını sıfır olduğu Denklem 3.5'ten faydalanılarak elde edilen faz akımları ve faz gerilimlerinin yeni eşitlikleri Denklem 3.10 ile 3.12 arasında verilmiştir.

$$i_a = -i_b = i_s \text{ ve } i_c = 0 \quad (3.10)$$

$$e_a = -e_b \text{ ve } e_a = \psi_p \omega_m \quad (3.11)$$

$$V_{ab} = V_{bc} = V_{ca} = V_{dc} \quad (3.12)$$

Bu denklemlerde elde edilen faz akımları (i_a, i_b, i_c) ve faz gerilimleri (V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}), faz gerilimlerine ait denklemde yerine yazılırsa her durum için FDAM'da iki faz iletimde olur. FDAM'ın matematiksel denklemi Denklem 3.13'teki gibi gösterilir.

$$V_{dc} = R_s i_s + L_s \frac{di_s}{dt} + k_e \omega_m \quad (3.13)$$

$$k_e = 2\psi_p \quad (3.14)$$

Denklem 3.13'te görülen R_s iki faza ait toplam sargı direncini, L_s iki faz toplam sargı indüktansını, ω_m FDAM'ın açısal hızını, ψ_p bir fazın kaçak akısını ve i_s ise dc hat akımını ifade eder. Denklem 3.13'te görüldüğü üzere klasik bir doğru akım motoruna benzemektedir.

$$V_{dc} = R_s i_s + L_s \frac{di_s}{dt} + E_z \quad (3.15)$$

Denklem 3.14'te zıt emk ($k_e \cdot \omega_m$) Denklem 3.15'teki gibi E_z olarak ifade edilir ve FDAM'una ait gerilim denklemi en son halini alır.

3.3. Fırçasız Doğru Akım Motorunun Kontrolü

Geri beslemeli olarak çalışan FDAM'ların hız, konum ve akım komütasyonu eviricide sağlanmaktadır. Eviricide bulunan anahtarların anahtarlama zamanının tespiti için farklı algılayıcılar kullanılmaktadır. FDAM'larda kullanılan bu algılayıcılar alan etkili algılayıcılar,

optik kodlayıcılar ve açılı algılayıcılarıdır. Alan etkili algılayıcılar düşük maliyetli olması, basit yapıda olması ve anahtarlama elemanlarının akım dalga şeklini üretebilmesi gibi nedenlerden dolayı FDAM' larda en çok tercih edilen algılayıcılarıdır. Bunun yanında alan etkili algılayıcıların bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar algılayıcının fiziksel olarak motora konumlandırılmasının zor olması ve sıcaklık gibi dış etkenlerden etkilenmesidir.

FDAM' ların kontrolünde çıkışın istenilen değerlerde olabilmesi için kontrol sisteminin girişine uygulanan değerlerin bilinmesi gerekmektedir. Sisteme uygulanan referans giriş sinyali, çıkış değeri ve sistemin ürettiği çıkış ile referans değeri arasındaki fark olan hata değerini en aza indirecek şekilde üretilmelidir. Sistem çıkış değeri ile referans çıkış değerini karşılaştırabilmek için sistem çıkış bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. İhtiyaç duyulan sistem çıkış bilgisini elde edebilmek için algılayıcılar kullanılmaktadır.

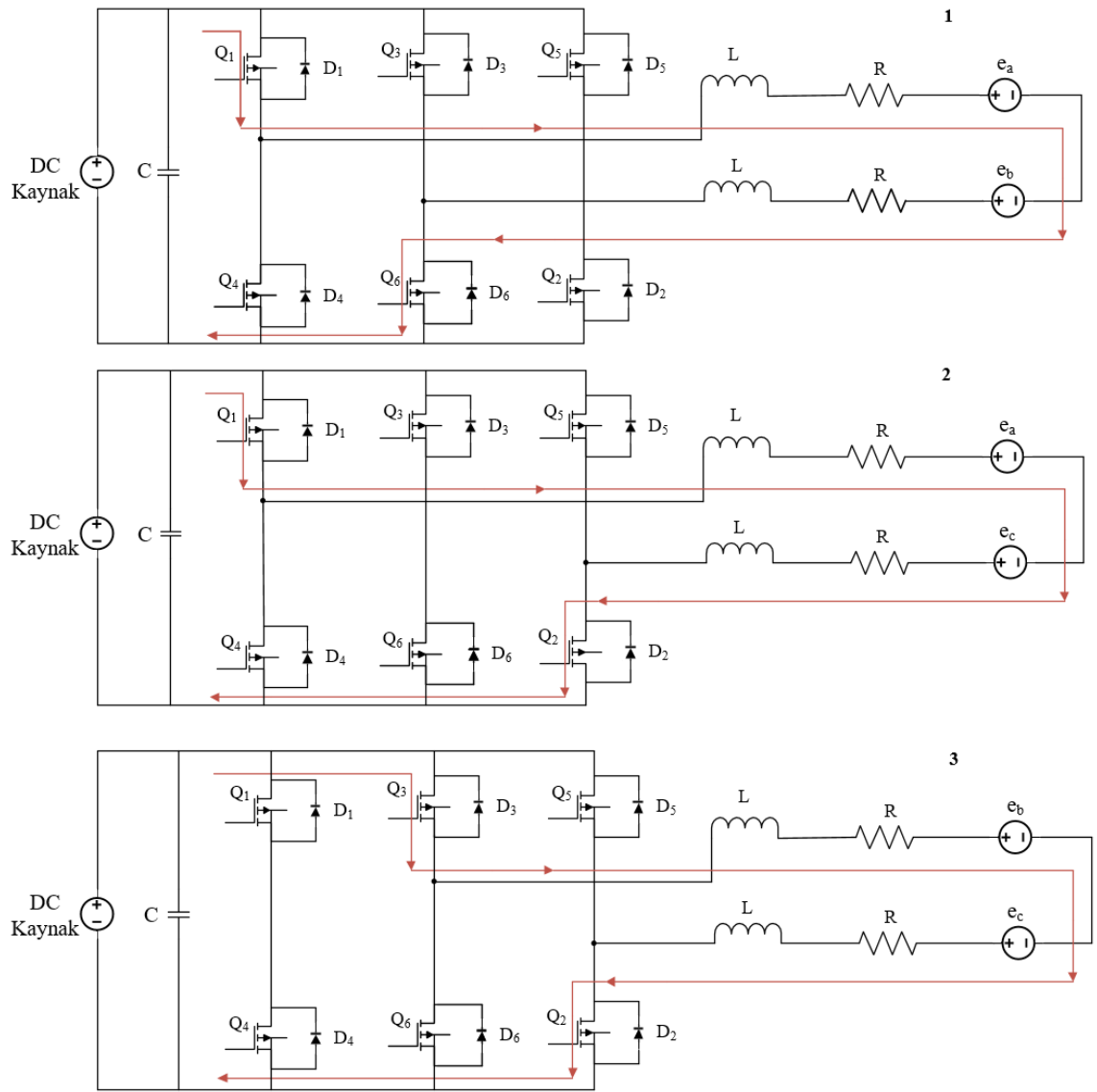
FDAM' larda alan etkili algılayıcılar kullanılarak rotorun konum bilgisi elde edilebilmektedir. FDAM' ın içerisine yerleştirilmiş üç alan etkili algılayıcılar sayesinde rotorun bulunduğu konuma göre her 60°'de yeni bir konum bilgisi elde edilip iletir. Alan etkili algılayıcıların rotorun konumundan elde ettiği 3 adet konum bilgisi işaretlerinin arasında 120° faz farkı bulunmaktadır. Tablo 3.1'de alan etkileyici algılayıcıların rotorun konumundan elde ettiği konum bilgisine göre ürettiği sinyaller ve eviricinin bu sinyallere göre anahtarlama durumları gösterilmiştir.

Tablo 3.1 FDAM' ın konumuna göre ürettiği sinyaller ve eviricinin anahtarlama durumları

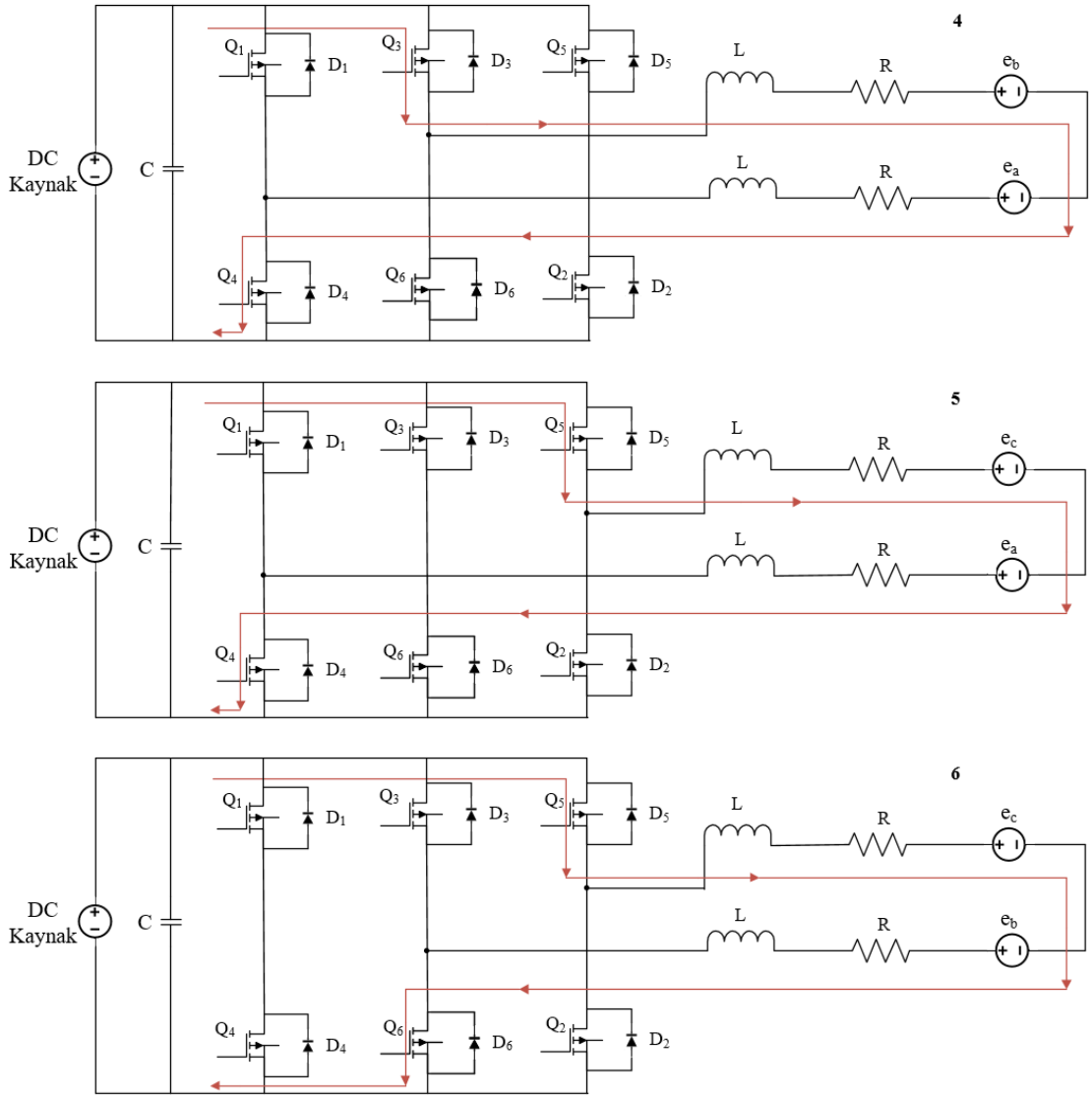
Alg. A	Alg. B	Alg. C	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0	0	1
1	1	0	1	1	0	0	0	0
0	1	0	0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	0	1	1	0	0
0	0	1	0	0	0	1	1	0
1	0	1	0	0	0	0	1	1
1	1	1	0	0	0	0	0	0

FDAM iki faz iletim modunda çalışarak her 60°'de bir konum bilgisi iletir. Bu konum bilgisi ise her periyotta 6 defa anahtarların konumunu değiştirecektir. Bu işlemlerin her gerçekleştiği durumda sadece iki faz iletimde kalacaktır.

Anahtarların iletim durumunun gösterildiği Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 incelendiğinde bir anahtarlama durumundan diğerine geçişte tek bir faz sargısı iletimde kalmaktadır. Bu faz sargısı iletimde iken diğer bir faz sargısı ise kesime girer. Bu durumda aynı anda sadece iki faz sargısı iletimde olmaktadır. Çok kısa süreliğine üç faz akım komütasyonu sırasında iletme girer ve bu durumda moment dalgalanmalarını meydana getirmektedir.

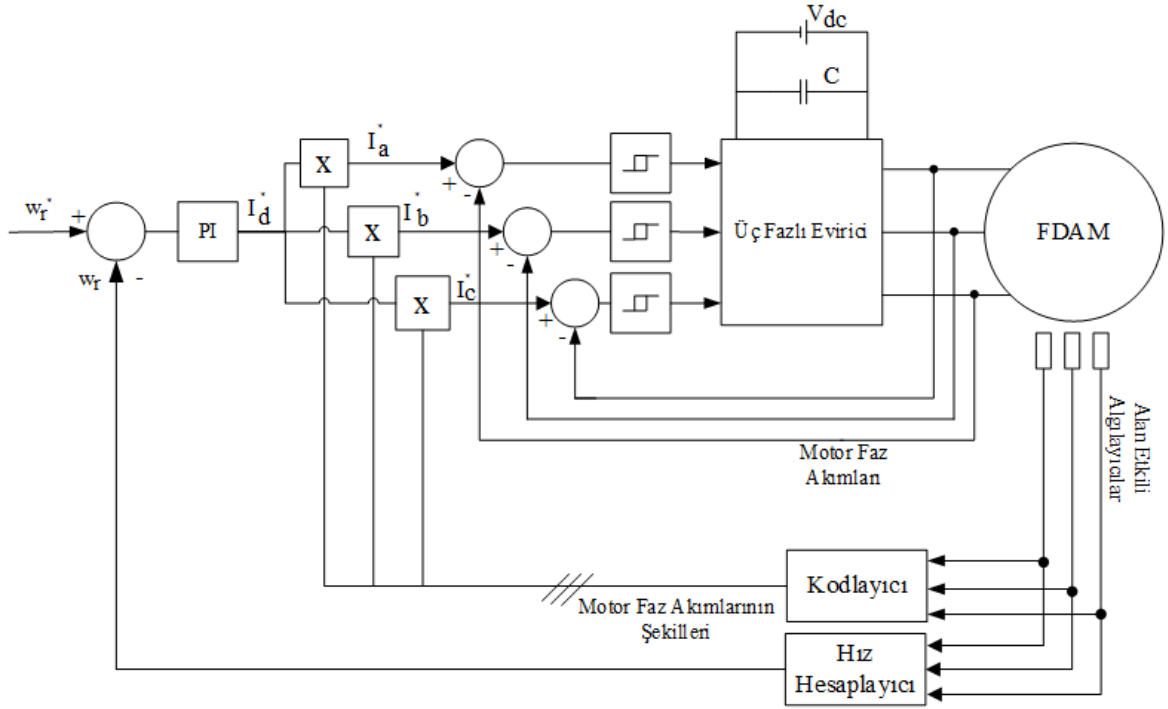


Şekil 3.3 Anahtarların iletim durumu[48]



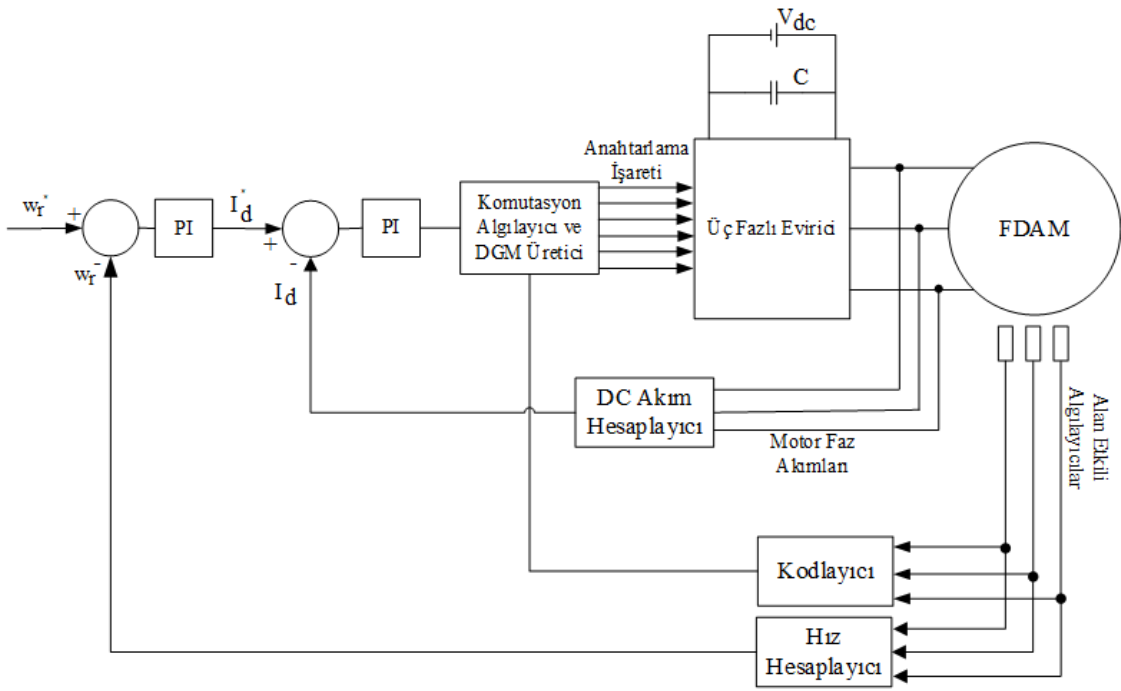
Şekil 3.4 Şekil 3.3'ün devamı[48]

FDAM'ların kontrolü için yaygın olarak akım ve hız kontrolünün yapıldığı yöntemler kullanılmaktadır. FDAM' da akım kontrolü için histerezis akım kontrolü ve darbe genişlik modülasyonu yöntemleri gibi yöntemler kullanılmaktadır. Histerezis akım kontrolü referans bir akımın etrafında oluşturulan bant içerisinde yapılan anahtarlama işlemiyle gerçekleşmektedir. Darbe genişlik modülasyonu yöntemi ise üretilen referans akım taşıyıcı ile bir üçgen sinyalin karşılaştırılmasıyla elde edilmektedir. Faz akımlarının 60° bir yer değiştirdiği durumda referans akım üretilir. Her 60° 'de yön değiştiren üç fazın dalga şekli alan etkili algılayıcılardan elde edilmektedir[48]. Hangi iki anahtarın devrede olacağı alan etkileyici algılayıcılardan elde edilen dalga şekline göre belirlenmektedir. Belirli bir anahtarlama frekansının bulunmadığı histerezis akım kontrolü yönteminde anahtarlama kayıpları hesaplanamaz ve elektromanyetik gürültüyü filtre etmek zordur.



Şekil 3.5 Histerezis akım kontrollü hız kontrol yöntemi

Şekil 3.5’de görülen yöntemde dikkat edilecek en önemli kısım gerçek akımla referans akımının karşılaştırılmasıdır.



Şekil 3.6 Darbe Genişlik Modülasyonu ile hız kontrol yöntemi

Şekil 3.6’de görülen darbe genişlik modülasyonu yönteminde taşıyıcı sinyalin frekansı kullanılarak anahtarlama frekansı belirlenir. Diğer yöntemin aksine bu yöntemde anahtarlama kayıpları tahmin edilebilir ve elektromanyetik gürültüyü filtre etmek daha kolaydır.

Bu iki yöntem konum algılayıcılarından gelen bilgileri kullanarak işlem yapan algoritmalarıdır. Konum algılayıcılarına ihtiyaç duyan yöntemler dışında algılayıcısız kontrol yöntemleri de bulunmaktadır. Algılayıcısız kontrol yöntemleri algılayıcı bulundurmadığından maliyeti düşürmesi ve alan etkili algılayıcılardan kaynaklanan hatalar bulunmadığından daha önemli hale gelmiş ve bu konuyla ilgili birçok yöntem geliştirilmiştir.

FDAM’lar klasik doğru akım motorlarının aksine yapısında fırça kollektör bulunmadığından fırça kollektör yapısının ortaya çıkardığı fiziksel dezavantajları ortadan kaldırmaktadır. Bunun yanında yüksek verimle çalışması, basit anahtarlama yapısının olması ve yüksek hızlarda çalışabilmesi gibi birçok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajları sayesinde endüstride kullanımı giderek yaygın hale gelmektedir.

FV beslemeli su pompalama sistemlerinde pompayı tahrik etmek için bir elektrik motoru kullanılmaktadır. FDAM’lar avantajları sayesinde FV beslemeli su pompalama sistemlerinde tercih edilmeye başlanmıştır. Bu tez çalışmasında da FDAM tercih edilmiştir. Tezin bu bölümünde sırasıyla FDAM’ın genel yapısı, matematiksel modeli ve kontrolü anlatılmıştır.

Tablo 3.2’de bu tez çalışmasında kullanılan FDAM’a ait parametreler görülmektedir.

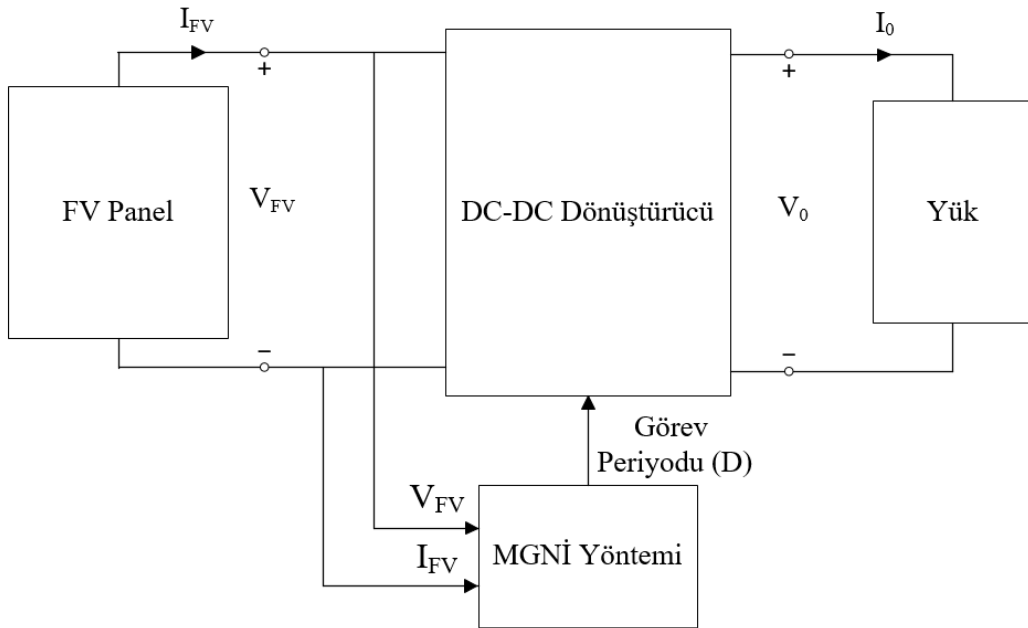
Tablo 3.2 Solar pompa sisteminde kullanılan FDAM parametreleri

FDAM parametreleri	
R_s	3,58 Ω
L_s	9,13mH
K_t	0,74Nm/A
K_e	78 $V_{LL}/kr/min$
N_{rated}	200r/min
P	4

4. DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜ VE ALGILAYICISIZ MGNİ ALGORİTMASI

FV sistemler oldukça düşük verimle çalışmaktadırlar. FV sistemlerde sıcaklık ve ışıınımdaki değişim panelden elde edilecek gücü de değiştirmektedir. Sıcaklıktaki artışlar, ışıınımda değişim panelden elde edilecek maksimum gücü azaltmaktadır. Diğer yandan panellerin üzerine düşen farklı ışıınımda değişim panelden elde edilecek maksimum gücü ulaşılacak gerilim değerini de değiştirmektedir. Bu sebeple tekdüze ışıınımda ve kısmi gölgelenme koşulları altında maksimum güç elde etmek için çeşitli MGNİ algoritmaları geliştirilmiştir.

FV panellerden elde edilen MGN güneşten gelen ışıınımda, sıcaklık ve KGK'ya bağlı olarak değişiklik göstermektedir. FV panelleri MGN'de çalıştırmak için FV panele ait akım ve gerilim bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Elde edilen bu akım ve gerilim bilgisi MGNİ algoritmalarının girişini oluşturmaktadır. MGNİ algoritması ise gelen giriş bilgisine göre çıkışında bir görev periyodu üretir. Bu görev periyodu sistemde kullanılan DC-DC dönüştürücünün MGN'de çalışmasını sağlamaktadır[49]. Genel olarak MGNİ yönteminin görevi FV paneli mevcut ortam koşulları içerisinde üretebileceği maksimum gücü üretmesini sağlamak ve o maksimum güç noktasında çalışmasını devam ettirmektir. Şekil 4.1'de MGNİ tekniği uygulanan bir FV sistemin genel yapısı görülmektedir.



Şekil 4.1 MGNİ uygulanan FV sistemin yapısı

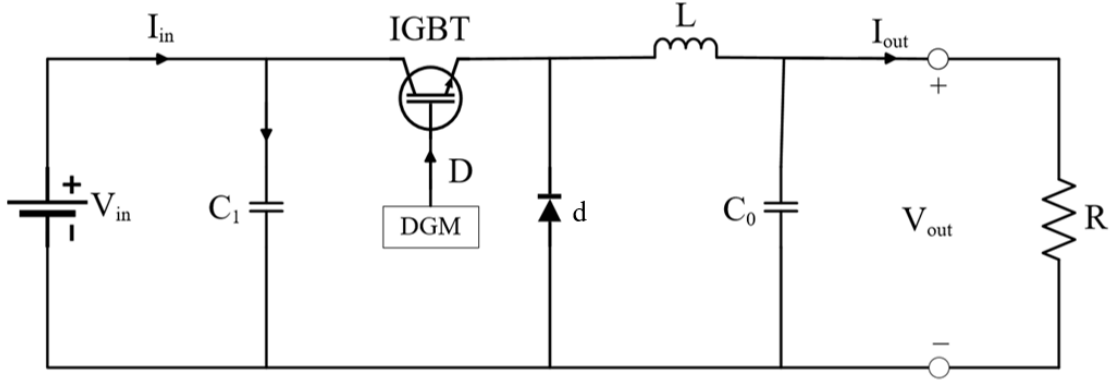
FV dizisinin güç-gerilim karakteristikleri doğrusal değildir. Bu nedenle birçok araştırmacı tarafından çeşitli MGNİ algoritmalarının her zaman güç-gerilim(PV) eğrisi üzerinde yani MGNİ'de çalıştığı gösterilmiştir. FV sistemleri MGN'de çalıştırmak için literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar ışığında MGNİ yöntemleri geleneksel MGNİ, yapay zeka tabanlı ve optimizasyon tabanlı MGNİ olmak üzere ikiye ayrılır.

4.1. DC-DC Dönüştürücü

FV sistemler ortam koşullarından etkilenmelerinden dolayı ürettiği güç ve gerilimde dalgalanmalar meydana gelmektedir. Bu sebeple güç kontrolü, gerilim seviyesini değiştirmek ve gerilimdeki dalgalanmaların önüne geçmek için MGNİ algoritmalarıyla beraber DC-DC dönüştürücüler kullanılır. DC-DC dönüştürücüler Şekil 4.2'de görüldüğü gibi anahtarlama elemanı olarak kullanılan Mosfet veya IGBT (S), bobin (L) ve kondansatörden (C) oluşmaktadır. Dönüştürücünün genel devre yapısına bakıldığında anahtarlama elemanı kullanılarak bobinde depo edilen enerjinin çıkışa aktarılması işleyişine dayanmaktadır. Devrede kullanılan kondansatörün görevi ise çıkış gerilimindeki dalgalanmaları azaltmaktır. Temel DC-DC dönüştürücüler genel olarak 3 sınıfa ayrılır. Bunlar alçaltan DC-DC dönüştürücü, yükselten DC-DC dönüştürücü ve alçaltan-yükselten dönüştürücü olup sırasıyla tanıtılacaktır. Son olarak bu tez çalışmasında kullanılan ZETA dönüştürücü anlatılacaktır.

4.1.1. Alçaltan DC-DC Dönüştürücü

Alçaltan DC-DC dönüştürücü girişine gelen gerilimi çıkışına düşürerek ileten dönüştürücü tipidir. Bu durumda dönüştürücü çıkış gerilimi dönüştürücü giriş geriliminden her zaman daha düşük olur. Bu dönüştürücülerde yarı iletken anahtar kaynak ve bobin arasında seri bağlı olduğundan giriş akımı süreksizdir. Diğer yandan bobin ve kondansatör her durumda yükü beslediği için çıkış akımı süreklidir. Şekil 4.2'de temel alçaltan dönüştürücü devresi verilmiştir. Denklem 4.1'de sürekli akım modundayken gerilim ve akım dönüştürme oranları verilmiştir. Dönüştürücüde kullanılan bobin ve kondansatörün sürekli akım modunda en küçük değerleri Denklem 4.1 ile 4.3 arasında verilmiştir



Şekil 4.2 Alçaltan DC-DC dönüştürücü devresi

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{I_{in}}{I_{out}} = D \quad (4.1)$$

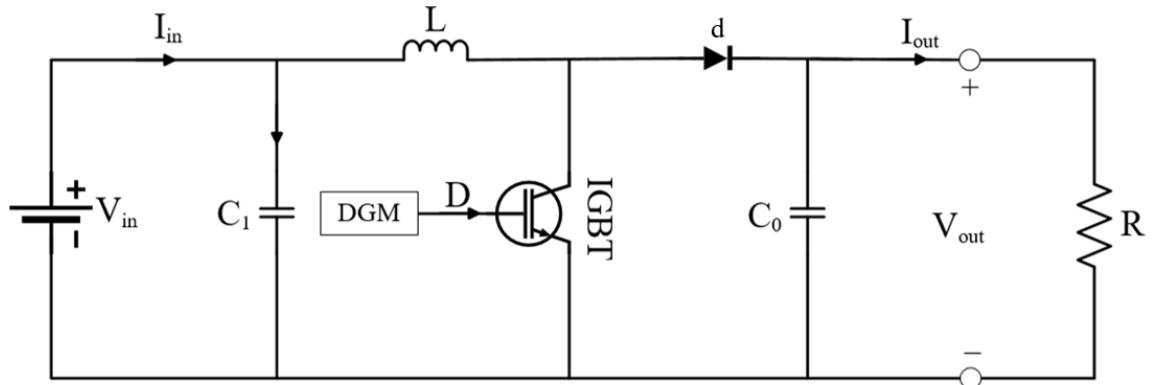
$$L_{min} = \frac{(1-D).R}{2f} \quad (4.2)$$

$$C_{min} = \frac{1-D}{8L(\Delta V_{out}/V_{out})f^2} \quad (4.3)$$

Burada R yük direncini, D görev oranını, f frekansı, ΔV_{out} çıkış gerilimindeki dalgalanmayı ve V_{out} çıkış gerilimini ifade etmektedir.

4.1.2. Yükselten DC-DC Dönüştürücü

Yükselten DC-DC dönüştürücüler girişine uygulanan gerilimi yükselten dönüştürücülerdir. Dönüştürücü giriş gerilimi istenilen çıkış gerilimine yükseltilir. Şekil 4.3’de görülen yükselten dönüştürücü incelendiğinde yarı iletken güç anahtarı iletimde iken sadece bobin enerjilenir ve bobin üzerine gelen enerjiyi depolar. Yine bu durum sırasında yük kondansatör tarafından beslenir. Anahtar kesimde olduğunda ise bobinde biriken enerji ve gerilim kaynağı diyot üzerinden yüke ve kondansatöre akar. Bu durumda çıkış gerilimi giriş geriliminden daha yüksek olur.



Şekil 4.3 Yükselten DC-DC dönüştürücü devresi

Sürekli akım modunda gerilim ve akım oranları Denklem 4.4’de verilmiştir. Bu dönüştürücü sürekli akım modunda çalıştıracak en küçük kondansatör ve bobin değerleri Denklem 4.5 ile Denklem 4.6 arasında verilmiştir.

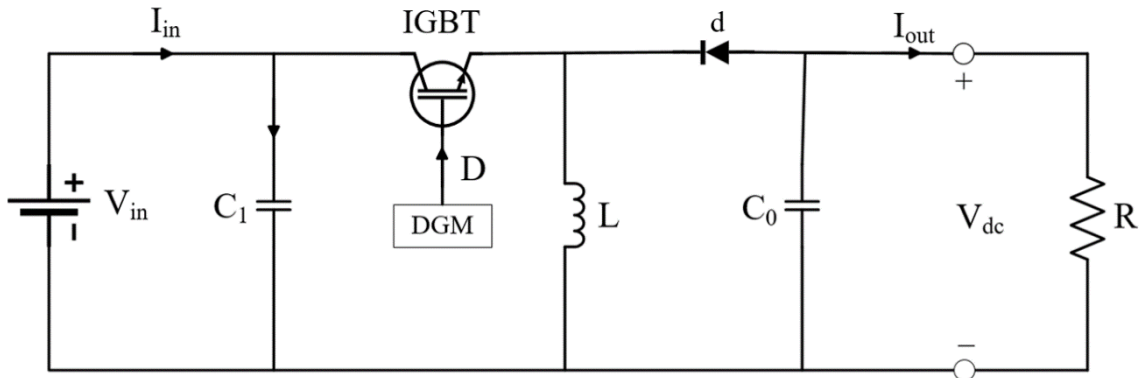
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{I_{in}}{I_{out}} = D \quad (4.4)$$

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2.R}{2f} \quad (4.5)$$

$$C_{min} = \frac{D}{R(\Delta V_{out}/V_{out})} \quad (4.6)$$

4.1.3. Alçaltan-Yükselten DC-DC Dönüştürücü

Alçaltan-yükselten dönüştürücü giriş gerilimini düşürme veya yükseltme özelliğine sahip dönüştürücü tipidir. Bu dönüştürücü tipinde güç anahtarı iletimdeyken gerilim kaynağı sadece bobine enerji sağlar ve bu esnada yükü kondansatör besler. Devrede kullanılan diyot iletimde olduğunda yüke bobinde biriken enerji aktarılır. Bobin girişe paralel bağlandığından bobin akımı giriş ve çıkış akımlarının toplamına eşit olur. Şekil 4.4’te alçaltan-yükselten dönüştürücüye ait devre verilmiştir.



Şekil 4.4 Alçaltan-Yükselten DC-DC dönüştürücü devresi

Denklem 4.7’de bu dönüştürücü tipine ait akım ve gerilim dönüştürme oranları verilmiştir.

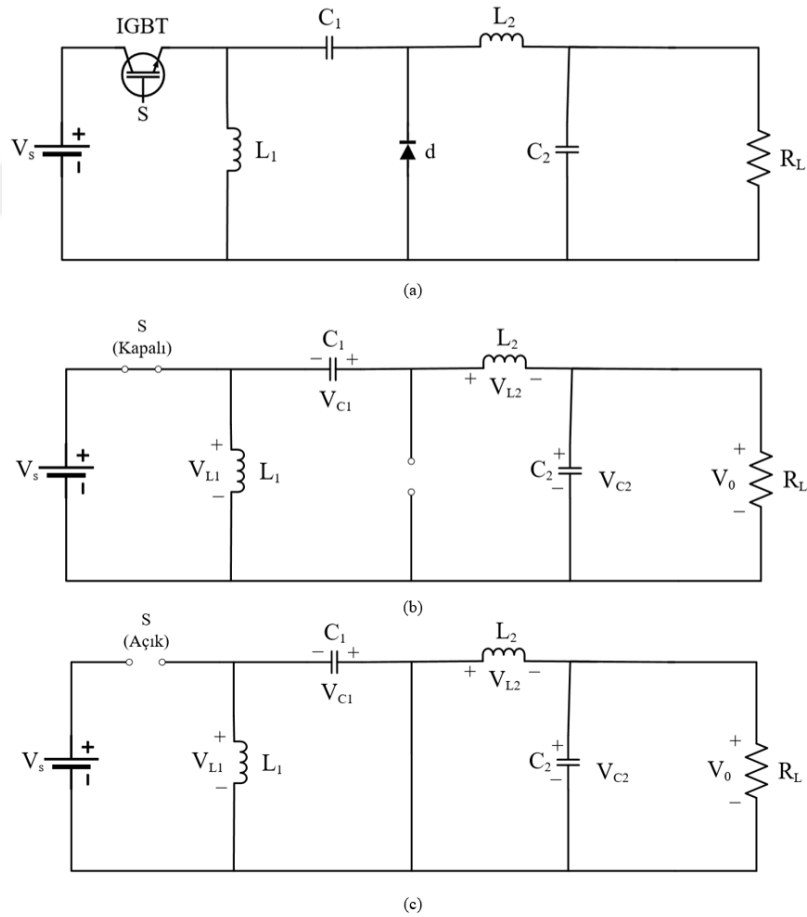
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{I_{in}}{I_{out}} = \frac{D}{1-D} \quad (4.7)$$

4.1.4. ZETA Dönüştürücü

FV beslemeli su pompalama sistemini maksimum güç noktasında çalıştırmak için genellikle bir DC-DC dönüştürücü kullanılır. Bu çalışmada DC-DC dönüştürücü olarak FV

sistemlerde yaygın olarak kullanılan ZETA dönüştürücü kullanılmıştır. FV dizisi ZETA dönüştürücü aracılığıyla maksimum güç üretir ve çıkışına aktarır. ZETA dönüştürücü giriş gerilimini yükselten veya düşüren modda çalışan dördüncü mertebeden bir DC-DC dönüştürücüdür[50]. Klasik bir alçaltan-yükselten dönüştürücünün aksine, ZETA dönüştürücünün sürekli bir çıkış akımı vardır. Çıkış indüktörü akımı sürekli ve dalgalanmasız hale getirir[42]. ZETA dönüştürücü sürekli akım modunda çalıştırıldığında çıkışındaki gerilim ve akımda en az dalgalanma ile sürekli çıkış akımı sağlamaktadır. Çıkışındaki az dalgalanma sebebi ile FV sistemlerde diğer dönüştürücü tiplerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

ZETA dönüştürücü yapısal olarak çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır. L_1 giriş indüktörü, L_2 çıkış indüktörü ve C_1 ara kapasitör gibi bileşenleri içeren ZETA dönüştürücü her zaman sürekli iletim modunda çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 4.5'de ZETA dönüştürücüsünün temel devre şeması görülmektedir.



Şekil 4.5 (a)ZETA Dönüştürücü eşdeğer devresi,(b) Durum-1 ,(c) Durum-2

ZETA dönüştürücüde bulunan S anahtarının açık ve kapalı olmak üzere 2 temel durumu bulunmaktadır. Anahtarın kapalı olduğu durumda dönüştürücü Şekil 4.5(b)'de bulunan Durum-

1'deki gibi çalışır. Durum-1'de çalışırken S anahtarı kapalı ve L_1 ve L_2 indüktörleri şarj durumundadır. Burada L_1 indüktörü kaynak tarafından şarj edilir. Diğer taraftan C_1 ve C_2 kapasitörlerinin şarj olduğu varsayılmıştır. C_1 kapasitörü L_2 indüktörünü şarj eder ve yüke (R_L) sürekli akım sağlar. Durum-1 sırasında d diyotu ise açık devre görevi görür[51].

S anahtarın açık olduğu durumda ZETA dönüştürücü Şekil 4.5(c)'de bulunan Durum-2'deki gibi çalışır. Durum-2'de çalışırken S anahtarı açık olduğu için L_1 ve L_2 indüktörleri boşaltma durumundadır. Bu durumda L_1 indüktörü tarafından C_1 kapasitörü şarj edilir. L_2 indüktörü ise yüke (R_L) sürekli akım sağlar ve d diyotu kısa devre olur.

ZETA dönüştürücü tasarımında kullanılan matematiksel model Denklem 4.8 ve Denklem 4.15 arasında verilmiştir.

$$V_{mpp} = V_{mp} \cdot 6 = 35,3 \times 6 \cong 212V \quad (4.8)$$

$$D = \frac{V_{dc}}{V_{dc} + V_{mpp}} = \frac{215}{215 + 212} = 0.50 \quad (4.9)$$

Burada D görev periyodu olup tahmini Denklem 4.9'da verilmiştir. V_{dc} ise ZETA dönüştürücünün ortalama çıkış gerilimidir. V_{mp} FV modülün maksimum güç noktasındaki gerilimini V_{mpp} ise birbirine seri bağlı 6 adet FV modülün maksimum güç noktasındaki gerilimini ifade edip Denklem 4.8'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır. FV panelin özellikleri bölüm ikide bulunan Tablo 2.1'de verilmiştir.

FV beslemeli pompalama sisteminde kullanılan motorun nominal çalışma gerilimi 160V'tur. Burada motoru besleyecek olan FV dizisinin üretebileceği maksimum gerilim $V_{mpp} = 212V$ olup motorun nominal geriliminden yüksek tutulmasının nedeni FV dizisinin KGK koşullarında düşük gerilim üretecek olmasıdır. Diğer taraftan FV dizisinin üretebileceği maksimum gerilimin motor için yeterli olacağından ZETA dönüştürücü çıkış gerilimi ($V_{dc} = 215V$), FV dizisinin maksimum güç noktasındaki gerilimine ($V_{mpp} = 212V$) yaklaşık bir değer seçilmiştir. Böylece görev periyodunun tahmini Denklem 4.9'da görüldüğü gibi yapılır ve ZETA dönüştürücü tasarımına başlanır.

$$P_{mpp} = P_{max} \times 6 = 158 \times 6 \cong 950W \quad (4.10)$$

$$I_{dc} = \frac{P_{mpp}}{V_{dc}} = \frac{950}{215} = 4.41A \quad (4.11)$$

$$I_{mpp} = \frac{P_{mpp}}{V_{mpp}} = \frac{950}{212} = 4.48A \quad (4.12)$$

Burada P_{max} FV sistemde kullanılan panelin maksimum güç noktasını gösterir. P_{mpp} ise birbirine seri bağlı 6 adet FV modülün maksimum güç noktasını gösterir ve Denklem 4.10'da

tahmini gösterilmiştir. Eviriciden akan ortalama akım I_{dc} tahmini Denklem 4.11’de gösterilmiştir. Denklem 4.12’de FV dizisinin maksimum güç noktasında ki akımı (I_{mpp}) gösterilmiştir.

$$L_1 = \frac{DxV_{mpp}}{f_{sw}x\Delta I_{L1}} = \frac{0.50x212}{20000x4.48x0.06} = 19.8x10^{-3} \cong 20mH \quad (4.13)$$

$$L_2 = \frac{(1-D)xV_{mpp} - (1-0.50)x212}{f_{sw}x\Delta V_{C1}} = \frac{(1-0.50)x212}{20000x4.41x0.06} = 20x10^{-3} \cong 20mH \quad (4.14)$$

D ve I_{dc} tahmininden sonra L_1 , L_2 ve C_1 tahminleri Denklem 4.13 ile 4.15 arasında verilmiştir. Burada f_{sw} ZETA dönüştürücüde yer alan IGBT anahtarının anahtarlama frekansdır. ΔI_{L1} ise L_1 ’den akan akımdaki izin verilen dalgalanma miktarıdır ve $I_{L1} = I_{mpp}$ birbirine eşit olur. ΔI_{L2} ise L_2 ’den akan akımdaki izin verilen dalgalanma miktarıdır ve $I_{L2} = I_{dc}$ birbirine eşit olur.

$$C_1 = \frac{D.I_{dc}}{f_{sw}.\Delta V_{C1}} = \frac{0.50x4.41}{20000x215x0.1} = 5.16x10^{-6} \cong 5\mu F \quad (4.15)$$

Burada ΔV_{C1} , C_1 boyunca gerilimdeki izin verilen dalgalanmadır ve $V_{C1} = V_{dc}$ olur. Tablo 4.1’de ZETA dönüştürücüye ait parametreler gösterilmiştir.

Tablo 4.1 ZETA dönüştürücü parametreleri

Parametre	Değer
Giriş gerilimi(V_{mpp})	212V
İndüktör(L_1)	20mH
İndüktör(L_2)	20mH
Kapasitör(C_1)	5 μ F
Diyot gerilimi	0.8V
Çıkış gerilimi(V_{dc})	215V

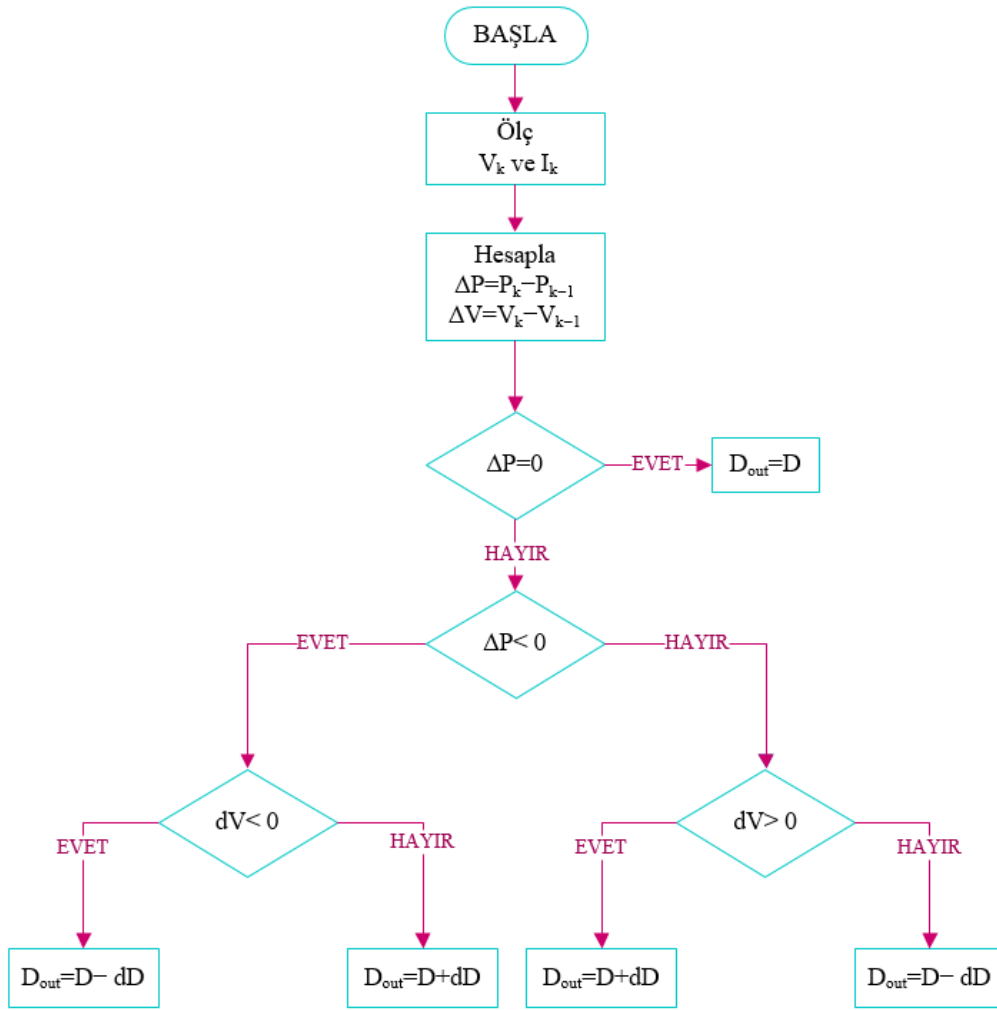
4.2. Geleneksel MGNİ Yöntemleri

Geleneksel yöntemler basit yapıya sahip olup normal koşullar altında MGN’ de çalışmaktadırlar. Fakat ortam koşulları değiştiğinde özellikle KGK oluştuğunda geleneksel yöntemler sistemi MGN’ de çalıştırmakta yetersiz kalmaktadırlar. KGK durumu oluştuğunda FV panelleri MGN’ de çalıştırmak için optimizasyon yöntemleri ve modifiye edilmiş geleneksel yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler KGK altında yüksek performans gösterip sistemi MGN’ de çalıştırdığı gözlemlenmiştir. Geleneksel yöntemler Değiştir ve Gözle algoritması, Artan İletkenlik algoritması, Açık Devre Gerilim algoritması ve sabit gerilim algoritması olmak üzere 4 alt başlıkta incelenecektir.

4.2.1. Değiştir Ve Gözle(D&G) Algoritması

Değiştir ve Gözle algoritması yöntemi kolaylığı ve uygulanabilirliği sayesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu MGNİ yönteminin çeşitli FV sistem tiplerinde uygulamaları olmuştur. Bunun nedeni D&G algoritmasının basit bir kontrol yapısına sahip olması ve maksimum güç takibi için ölçülen birkaç parametreye ihtiyaç duymasındır. Işınım ve sıcaklığa bağlı olarak değişen FV panelin ürettiği akım ve gerilim değerleri algılayıcılar vasıtasıyla ölçülerek FV panelin çıkış gücü elde edilir. D&G algoritması tekdüze ışınım altında güç çıkışını maksimum güç noktasına çıkarmak için akımı hızlı ve doğru ayarlayabilmektedirler. Fakat ışınımın hızlı değiştiği veya KGK durumunda MGN'yi takip etmede yetersiz kalabilmektedirler.

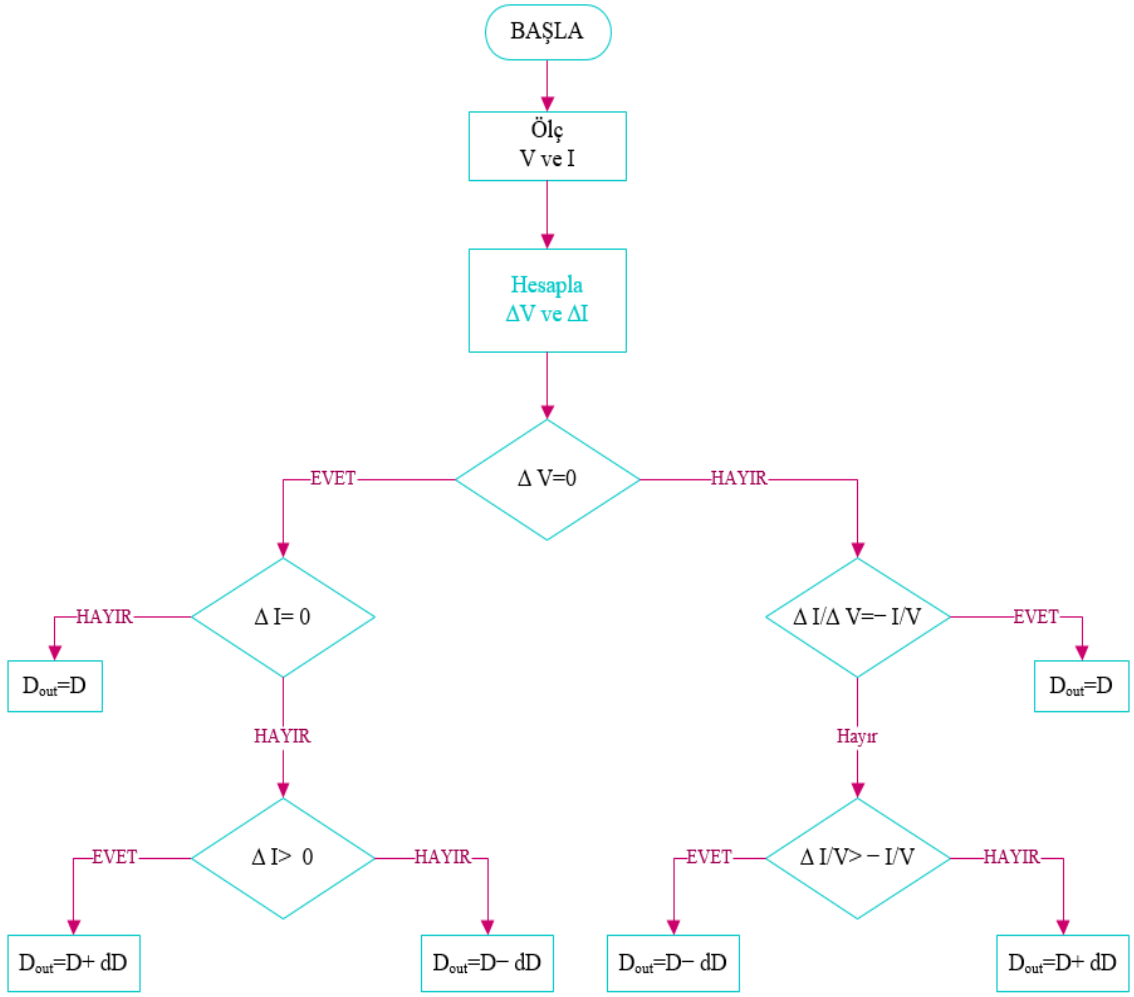
Şekil 4.6'da D&G algoritmasının genel akış şeması gösterilmiştir. Akış şeması incelendiğinde ilk olarak algılayıcılar kullanılarak FV panelin akım ve gerilim değerleri ölçülür. Ölçülen akım ve gerilim değeri ile güç hesaplanır. Ölçülen güç değeri ve bir önceki güç değeri arasındaki fark olan ΔP hesaplanır. ΔP değeri sıfır ise görev periyodunun çıkışı olan D_{out} değişmez ve algoritma başa döner. ΔP değeri sıfırdan küçük ve gerilim farkı değeri ΔV 'de sıfırdan küçük olursa o anki görev periyodu olan D değeri görev periyodu farkı olan dD kadar azaltılır ve yeni D_{out} elde edilir. ΔP değeri sıfırdan küçük ve gerilim farkı değeri ΔV sıfırdan büyük olursa o anki görev periyodu olan D değeri görev periyodu farkı olan dD kadar artırılır ve yeni D_{out} elde edilir. ΔP değeri sıfırdan büyük ve gerilim farkı değeri ΔV sıfırdan büyük olursa D değeri görev periyodu farkı olan dD kadar artırılır ve yeni D_{out} elde edilir. ΔP değeri sıfırdan büyük ve gerilim farkı değeri ΔV sıfırdan küçük olursa D değeri görev periyodu farkı olan dD kadar azaltılır ve yeni D_{out} elde edilir. Her işlem sonunda algoritma başa döner.



Şekil 4.6 D&G algoritmasının akış şeması

4.2.2. Artan İletkenlik Algoritması

Artan İletkenlik algoritması FV sisteminin çıkış gücüne bağlı olarak çalışma noktasını ayarlayan bir yöntemdir. Yani FV sistemin çıkış gücü sistemin ürettiği akım ve gerilim değerlerinin değişimlerini kontrol ederek bu değişimlerin doğruluğuna göre çalışma noktasını belirler. Bu yöntemin önemli avantajlarından biri güç çıkışına bağlı olarak çalışması ve bu sayede farklı ortam koşullarına yanıt verebilen daha doğru bir MGN izlemesini sağlamaktadır. Bu durum hızlı değişen ortam koşullarında MGN izlemesine engel olabilmektedir[52].



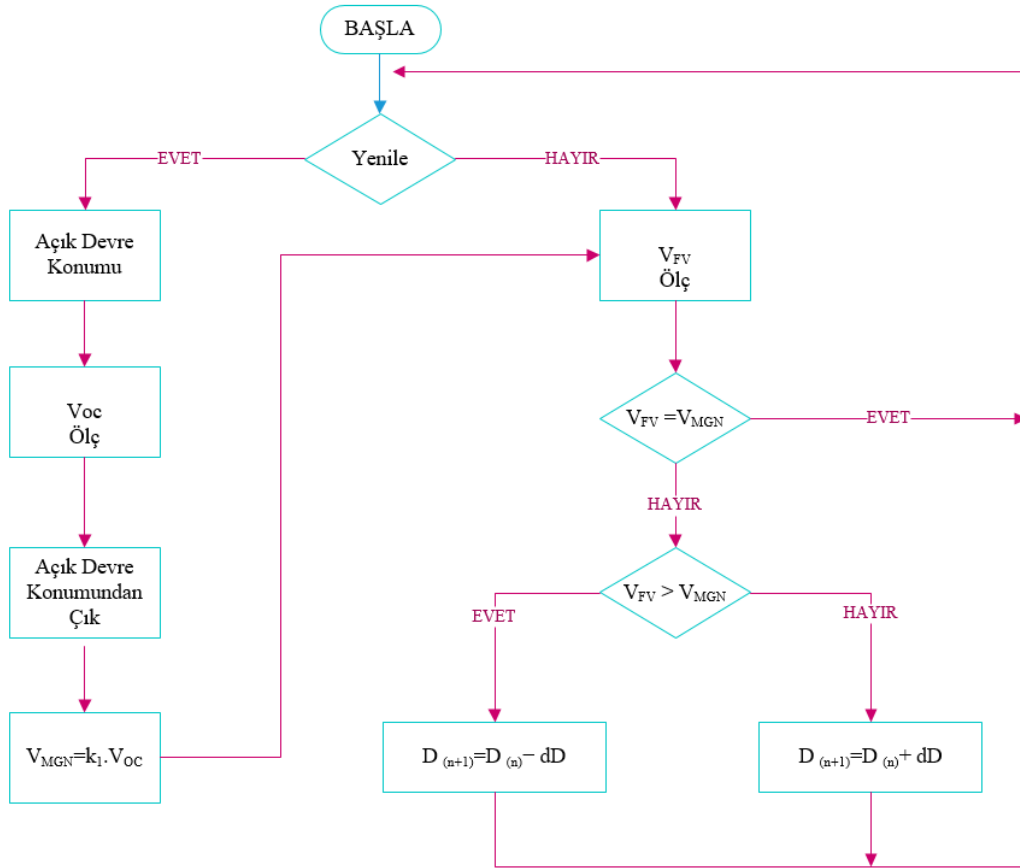
Şekil 4.7 Artan iletkenlik algoritması

Şekil 4.7’de artan iletkenlik algoritmasının akış şeması gösterilmiştir. Algoritma incelendiğinde ilk adım olarak FV panelin akım ve gerilimi algılayıcılar ile ölçülür. Gerilim ve akımın ölçülen değerleri ile bir önceki değerleri karşılaştırılarak ΔV ve ΔI hesaplanır. ΔV değeri sıfıra eşit ve ΔI değeri de sıfıra eşitse görev periyodu D aynı kalır ve algoritma başa döner. ΔV değeri sıfıra eşit ve ΔI değeri sıfıra eşit değilse ΔI değerinin sıfırdan büyük olma durumu sorgulanır. ΔI değeri sıfırdan büyük ise görev periyodu dD kadar azaltılır, sıfırdan küçük olduğu durumda ise görev periyodu dD kadar arttırılır. ΔV değeri sıfıra eşit değil ve $\Delta I/\Delta V$ değeri $-I/V$ ’ye eşit ise görev periyodu D aynı kalır ve algoritma başa döner. ΔV değeri sıfıra eşit ve $\Delta I/\Delta V$ değeri $-I/V$ ’ye eşit değilse $\Delta I/\Delta V$ değerinin $-I/V$ ’den büyük olma durumu sorgulanır. Büyük ise görev periyodu dD kadar azaltılır, küçük olduğu durumda ise görev periyodu dD kadar arttırılır.

4.2.3. Açık Devre Gerilim (V_{OC}) Algoritması

FV panelin MGN'deki gerilimi (V_{mpp}) ile açık devre gerilimi (V_{OC}) arasında Denklem 4.16'daki gibi bir eşitlik vardır. Denklem 4.16'da yer alan k sabiti genel olarak 0,7 ile 0,8 arasında bir değer alır.

$$V_{mpp} = k \cdot V_{OC} \quad (4.16)$$



Şekil 4.8 Açık devre gerilim(V_{OC}) algoritması

Açık devre gerilim yönteminde MGN'de gerilimin (V_{mpp}) hesaplanabilmesi için açık devre geriliminin (V_{OC}) belirli aralıklarla ölçülmesi gerekmektedir. Fakat bu ölçümün yapılabilmesi için FV dizisinin uçları açık devre yapılmalıdır. Bu durum esnasında FV dizisinden güç alınmaz. Açık devre gerilimi V_{OC} ölçüldükten sonra V_{mpp} değeri hesaplanır ve açık devre gerilim algoritması ile sistem bu değere göre ayarlanır. Hesaplanan V_{mpp} değeri yaklaşık bir değer olduğundan bu algoritma ile çalıştırılan MGN'de yaklaşık değer olacaktır[53].

Şekil 4.8'de açık devre gerilim algoritmasının akış şeması verilmiştir. Akış şeması incelendiğinde ilk olarak V_{OC} ve V_{FV} değerleri ölçüldür. V_{OC} değeri k sabiti ile çarpılarak V_{mpp} elde

edilir. Elde edilen bu değer ile V_{FV} değeri karşılaştırılarak bu iki değer eşit olması durumunda algoritma başa döner. V_{FV} değeri V_{mpp} değerinden büyükse görev periyodu dD kadar azaltılır, küçükse eğer görev periyodu dD kadar artırılır.

4.2.4. Sabit Gerilim Yöntemi

Bu yöntemi amacı maksimum güç aktarımının mümkün olduğu sabit değerde FV dizisinin terminalleri arasında gerilimi belli bir seviyede tutmaktır[54]. Düşük maliyet ve uygulama kolaylığına sahip bu yöntem sadece gerilim algılayıcısına ihtiyaç duymaktadır. Fakat sıcaklık veya ışınım değiştiğinde çalışma noktası MGN'den uzaklaşmaktadır.

4.3. Önerilen Algılayıcısız MGNİ Algoritması

FV sistemlerin ortam koşullarına bağlı olarak ürettiği güç değişmektedir. Sıcaklık ve ışınım değişimleri panelden elde edilecek gücüde değiştirmektedir. Sıcaklık değerinde ki artış ve ışınım değerindeki düşüş panelden elde edilecek olan gücü azaltmaktadır. Diğer taraftan KGK oluştuğunda yani paneller üzerine farklı ışınım düştüğünde maksimum güce ulaşılacak gerilim değeri de değişmektedir. Bu nedenle FV panellerden tekdüze ışınım ve KGK altında maksimum güç elde etmek çeşitli algoritmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Önerilen algılayıcısız MGNİ algoritmasının temel amacı FV panelin akım ve gerilim değerlerini ölçmeden sadece motor akım ve hızını ölçerek maksimum güç noktasını tahmin etmektir. FV sisteme ait gerilim ve akım algılayıcılarına ihtiyaç duyulmadığı için sistem maliyetini düşürüp önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Genellikle motor kontrolü için motorun akım ve hız değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Hız bilgisi algılayıcısız kontrol teknikleri kullanılarak elde edilebilir. Fakat bu çalışmada hızın ölçüldüğü varsayılmıştır. İlk olarak Denklem 4.17'de görüldüğü gibi motorun mekanik gücü (P_{mech}) zıt emk (E_z) ve motor akımının (I_a) çarpılmasıyla elde edilir. Buna göre motordan maksimum mekanik gücü elde etmek yaklaşık olarak FV sistemden maksimum gücü çekmek anlamına da gelecektir. Sistemde motor, DC-DC dönüştürücü ve evirici olduğundan dolayı sistemin verimi tam bilinmemektedir. Çünkü farklı motor hızı ve anahtarlama frekanslarında verimler değişecektir. Bunun için öncelikle yaklaşık olarak maksimum güç noktasının bölgesi tahmin edilip daha sonra kesin değere ulaşan iki aşamalı bir MGNİ değeri önerilmiştir.

$$P_{mech} = E_z \cdot I_a \quad (4.17)$$

$$P_{dc} = V_{dc} \cdot I_{dc} \quad (4.18)$$

$$E_z \cdot I_a \cong V_{dc} \cdot I_{dc} \quad (4.19)$$

$$I_{dc} = \frac{I_a + I_b + I_c}{2} \quad (4.20)$$

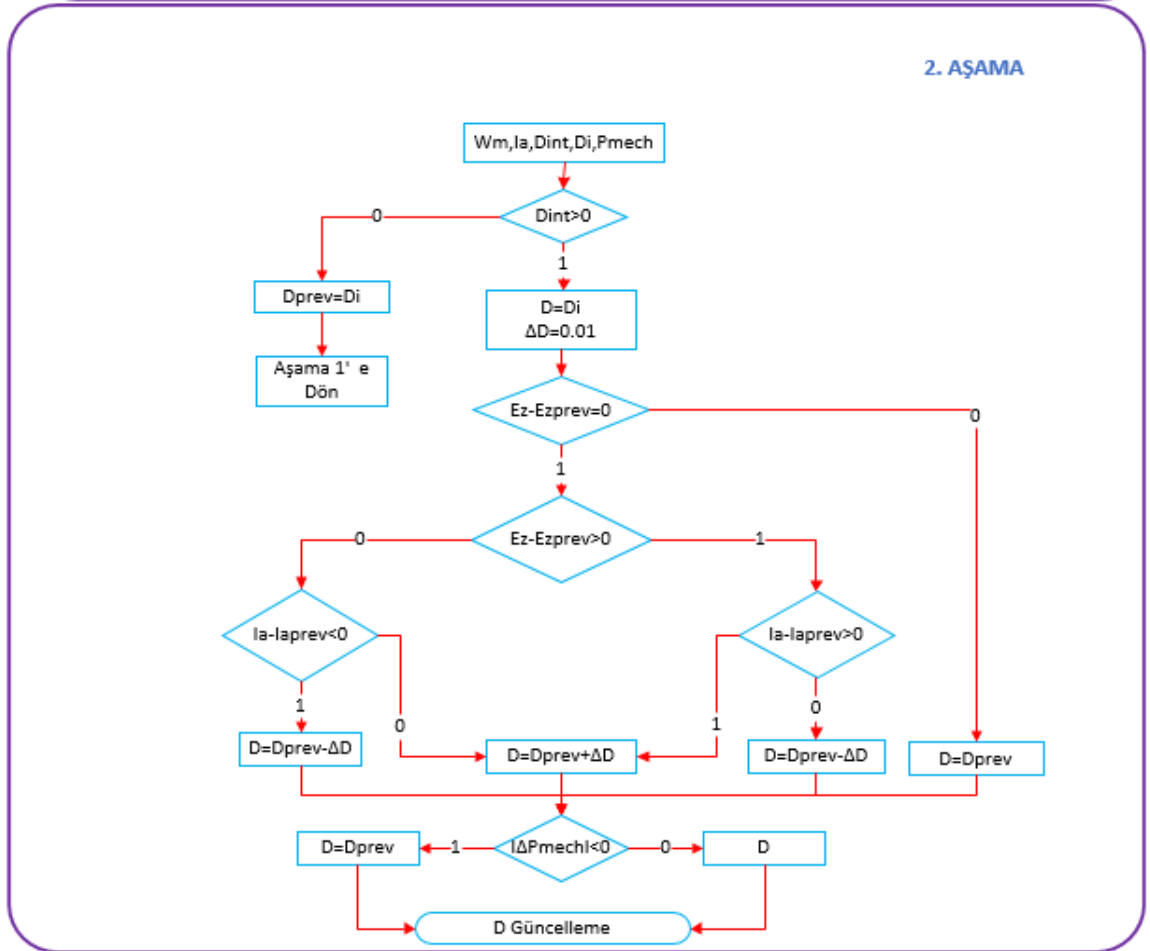
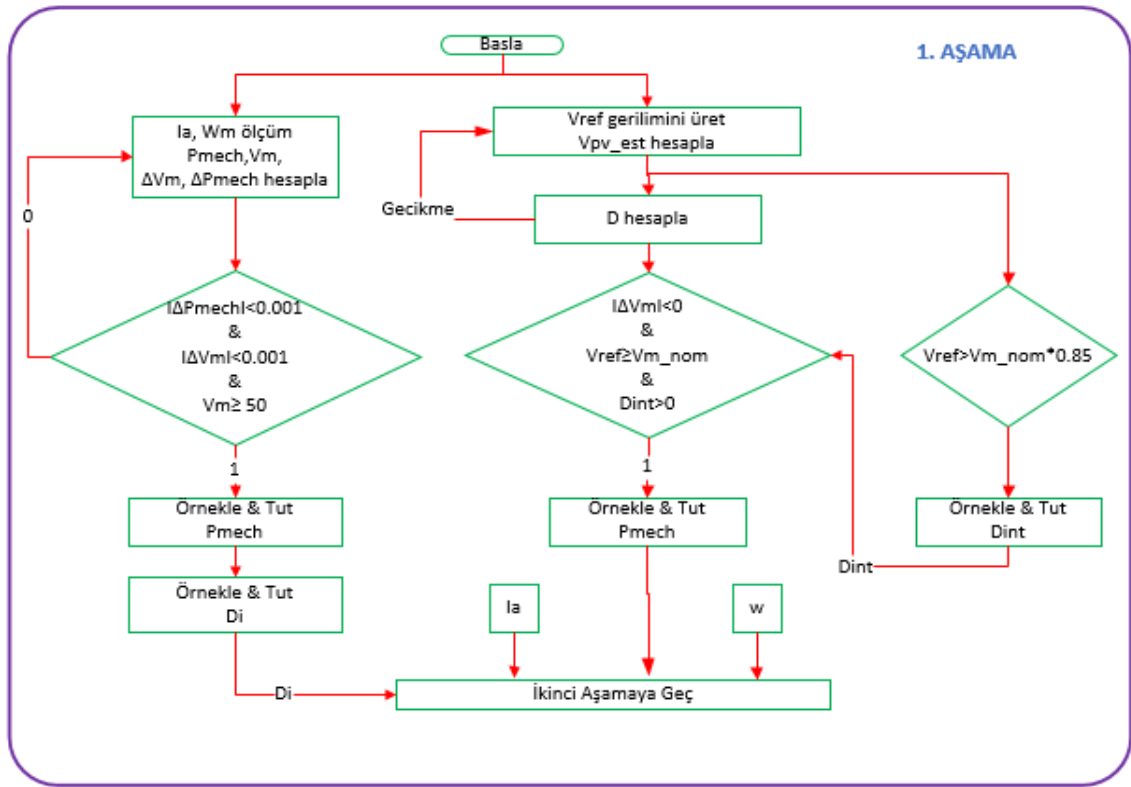
$$E_z = k \cdot w \quad (4.21)$$

Altı adımlı anahtarlama tekniği kullanılan FDAM'ın matematiksel denklemleri geleneksel DC motora benzemektedir. FDAM yaklaşık olarak DC motor karakteristiği gösterir. Buna göre motor, pompa ve evirici kayıpları ihmal edildiğinde motorun mekanik gücü (P_{mech}) ve DC-DC dönüştürücünün çıkışındaki güç (P_{dc}) yaklaşık olarak Denklem 4.19' da görüldüğü gibi eşit olur. I_a motor akımını gösterir ve yaklaşık olarak Denklem 4.20 'de hesaplanan I_{dc} 'ye eşittir. Denklem 4.18'de DC link gücü P_{dc} hesabı gösterilmiştir. Bu denklemde V_{dc} eviricinin DC link gerilimini gösterir.

Denklem 4.19'a göre $I_{dc} \cong I_a$ olabilir. Motorun hızı ve akımı bilirse Denklem 4.21'e göre E_z hesaplanır. Burada $E_z \cdot I_a \cong V_{dc} \cdot I_{dc}$ ise $E_z \cong V_{dc}$ olabilir. DC-DC dönüştürücü görev periyodu D biliniyorsa Denklem 4.22'deki gibi V_{FV} tahmin edilebilir.

$$V_{FV} \cong V_{dc} \left(\frac{1-D}{D} \right) \quad (4.22)$$

Birinci aşamada giriş referansı olarak küçük bir artış miktarı ile artan zıt emk değeri verilmiştir. Motorun hızı ve parametreleri bilindiği için motor zıt emk'sı hesaplanıp motorun gerilimi dolayısıyla evirici giriş gerilimi yaklaşık olarak belirlenir. Artan referans gerilim değerine bağlı olarak bir PI kontrolör DC-DC dönüştürücünün anahtarlanması için görev periyodunu belirler ve motor gerilimi zıt emk referansı artırılarak motor hızlandırılır. DC-DC dönüştürücünün çıkış gerilimi aslında eviricinin DC link gerilimi ile aynıdır ve yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Buradan Denklem 4.22 kullanılarak DC-DC dönüştürücünün giriş gerilimi yani FV sistemin ürettiği gerilim yaklaşık olarak elde edilir. Motor hızlanırken mekanik gücü artacaktır ve FV sistemin aktaracağı güç değeri değişecektir. Anlık olarak motorun mekanik gücü hesaplanıp maksimum üretilen güç örnekleme blokları kullanılarak kaydedilip GMPP noktası yaklaşık olarak belirlenecektir. Motora uygulanacak maksimum giriş gerilimine ulaştığında elde edilmiş en yüksek güç değerindeki görev periyodu referans alınarak ikinci aşama MGNİ algoritmasına geçilir. Burada motorun akım ve hız değerleri kullanılarak modifiye edilmiş D&G algoritması ile maksimum güç noktası bulunur ve motor bu noktada çalışmasına devam eder. Şekil 4.9'da önerilen algoritmaya ait akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Önerilen algoritmanın akış şeması

FV sistemleri MGN'de çalıştırmak için MGNİ algoritmalarıyla birlikte DC-DC dönüştürücüler kullanılmaktadır. MGNİ algoritmasından elde edilen görev periyodu ile DC-DC dönüştürücüyü anahtarlanarak dönüştürücü çıkış gerilimi istenilen değere gelmesi sağlanmaktadır.

FV sistemleri MGN'de çalıştırmak için literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar incelendiğinde genel olarak tekdüze ışınım altında geleneksel algoritmalar yeterli kalırken KGK durumu oluştuğunda yetersiz kalıp MGN'de çalışmamaktadır. KGK durumu oluştuğunda optimizasyon yöntemleri ve modifiye edilmiş geleneksel yöntemlerin FV sistemleri MGN'de çalıştırdığı literatür çalışmalarında görülmektedir.

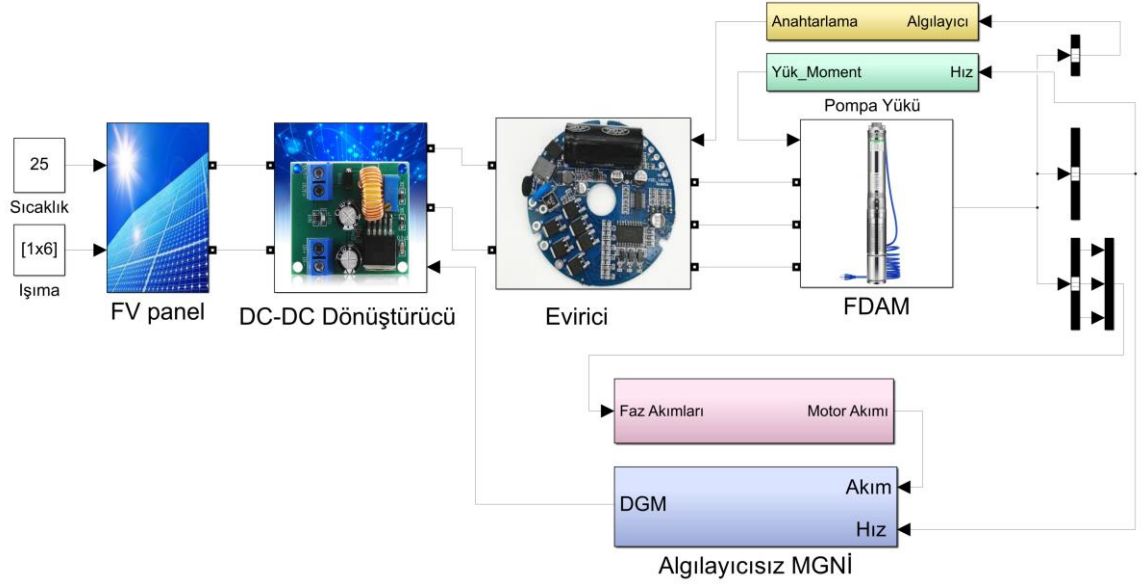
Bu bölümde ilk olarak temel DC-DC dönüştürücüler incelenmiş ve bu çalışmada kullanılan ZETA dönüştürücü anlatılmıştır. Daha sonra geleneksel MGNİ algoritmaları incelenmiş ve son olarak bu tez çalışmasında önerilen MGNİ algoritması anlatılmıştır.



5. FOTOVOLTAİK POMPA SİSTEMİ VE BENZETİMİ

Bir FV pompa sistemi dört temel bölümden oluşmaktadır. Bunlardan birincisi FV panellerden oluşan ve enerjiyi üreten bölümdür. Bu çalışmada her biri 35.3V' da 158W güç üretebilen 6 adet seri bağlı panel kullanılmıştır. FV paneller seri bağlanarak çıkış gerilimi artırılırken paralel bağlanarak yüke aktarılacak akımın değeri artırılmaktadır. Oluşturulan FV sistemin toplam çıkış gücü yaklaşık 950W iken bu güç yaklaşık olarak 212V gerilimde üretilmektedir. Üretilen güç ve gerilim değeri atmosferik koşullara göre değişmektedir. Bağlanacak yükün özelliğine göre paneller farklı bağlanarak çıkış gerilimi ayarlanabilmektedir. Burada yük için seçilen motorun nominal gücü 746W iken nominal hızı 2000d/d' dır. Bu motorun nominal çalışma geriliminin yaklaşık olarak 160V olduğu bilinmektedir. FV sistemin çıkış geriliminin motor geriliminden yüksek tutulmasının nedeni kısmi gölgelenme koşulları altında düşük seviyede gerilim üretilmesidir. Düşük çıkış gerilimlerinde motorun daha etkin olarak çalıştırılabilmesi değişken atmosferik koşullar altında çalışma verimini artıracaktır.

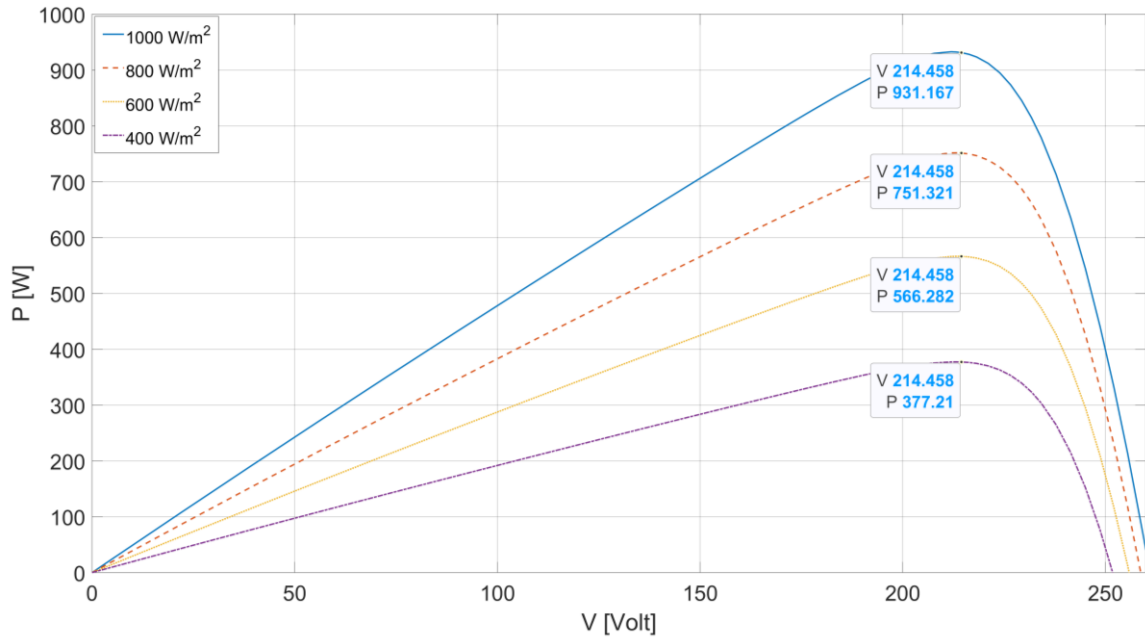
FV sistem çıkışında DC-DC dönüştürücü olarak kullanılan ZETA dönüştürücüsünün parametreleri önceki bölümlerde sunulmuştur. Burada MGNİ algoritmasının çalışabilmesi için ZETA dönüştürücüsü kullanılmaktadır. MGNİ algoritması çıkışında elde edilen Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) ile ZETA DC-DC dönüştürücüsü anahtarlanmaktadır. ZETA DC-DC dönüştürücüsünün çıkışında elde edilen gerilim eviricinin DC giriş gerilimini oluşturmaktadır. Evirici geleneksel altı adımlı sürme tekniğini kullanarak FDAM' ın hareketini sağlamaktadır. Pompa yükü hızın karesine bağlı olarak değişen bir yük olarak modellenmiştir. Motorun hızı ölçülerek yük hesaplanıp motora yük momenti olarak giriş yapılmıştır. Şekil 5.1' de MATLAB/Simulink benzetimi yapılan FV pompa sistemi görülmektedir.



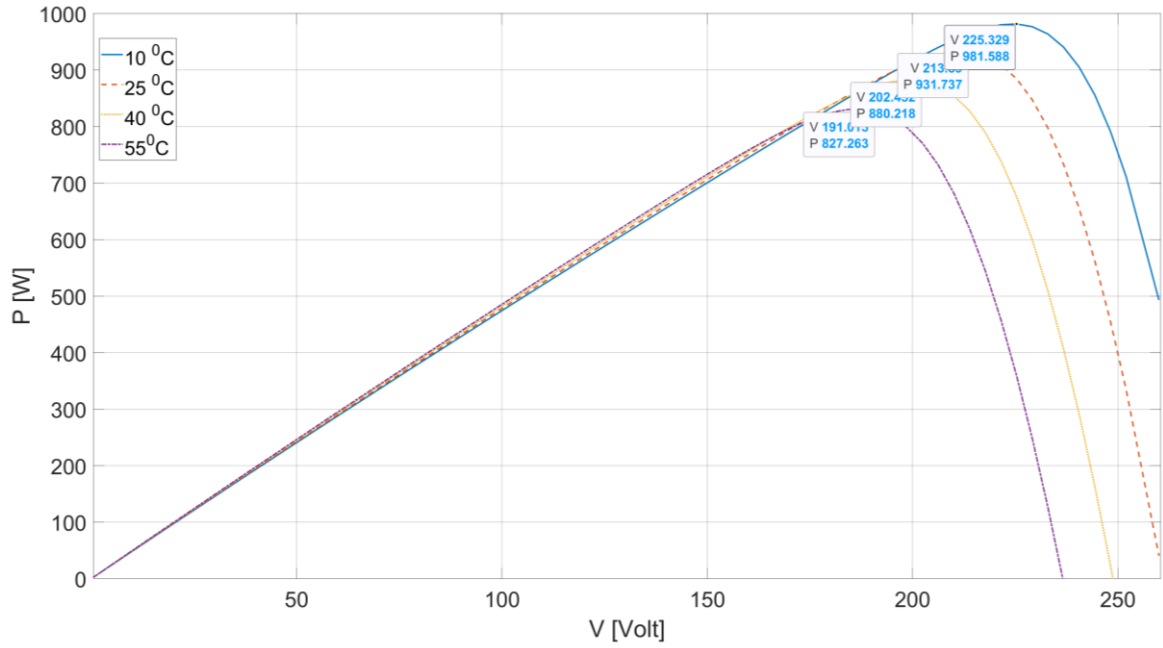
Şekil 5.1 FV pompa sisteminin MATLAB/Simulink benzetimi.

5.1. FV Sistem Benzetiminin Atmosferik Koşulları

FV sistemin tekdüze atmosferik koşullar altında farklı sıcaklık ve ışınım değerlerine göre üretilen güç değerleri değişmektedir. FV sistemin ürettiği güç değerleri Şekil 5.2’ de verilmiştir. FV panellerin ürettiği gücün test edilmesi standart test koşulları olan 1000W/m^2 ve 25°C atmosferik koşullarında gerçekleştirilir. Benzetim çalışmasında kullanılan FV sistemin 25°C sabit sıcaklık altında farklı ışınım değerlerinde ürettiği güç eğrileri Şekil 5.2’ de görülmektedir.



Şekil 5.2 25°C sabit sıcaklık farklı ışınım değerlerinde FV sistemde üretilen güç



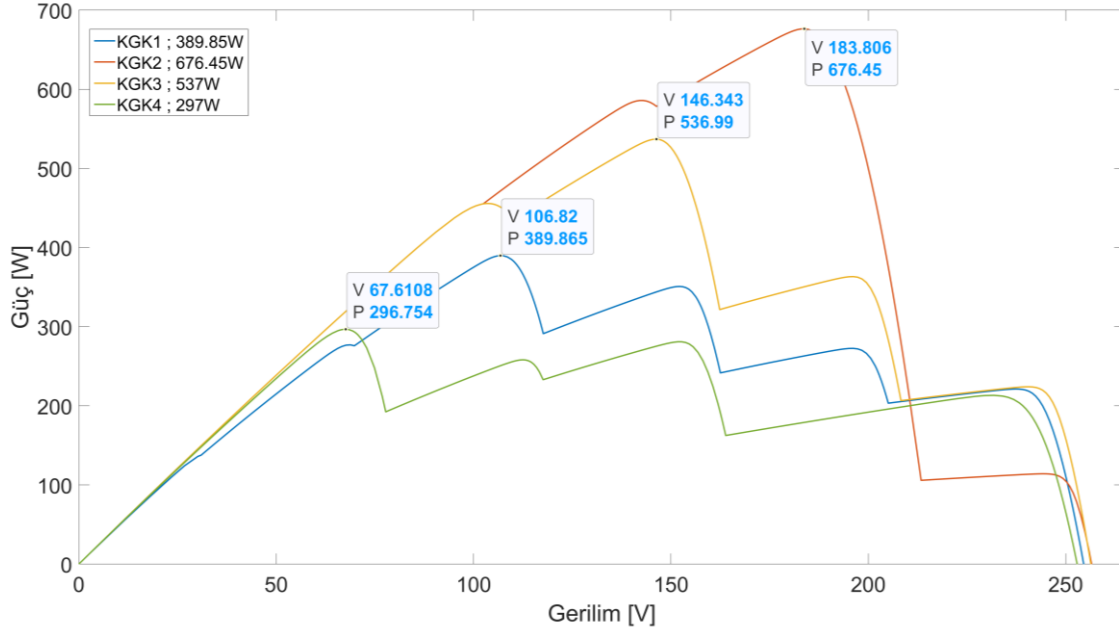
Şekil 5.3 1000W/m² sabit ışınım farklı sıcaklık değerlerinde FV sistemde üretilen güç

Buna göre ışınım değeri azaldıkça güç üretiminin düştüğü izlenmektedir. Üretilen maksimum güç ise 214.58V değerinde 931.167W olarak ölçülmüştür. 1000W/m² sabit ışınım değerinde farklı sıcaklıklar altında ölçülen güç değerleri Şekil 5.3' te görülmektedir. Buna göre sıcaklık değeri arttıkça hem üretilen güç azalmakta hem de maksimum gücün üretildiği gerilim seviyesi azalmaktadır. Kısmi gölgelenme koşulları, FV sistemlerden maksimum güç elde etmek için zorlayıcı bir durumdur. Bu tez çalışmasının ana amaçlarından birincisi KGK altında çalışan bir FV pompa sisteminden maksimum güç elde etmektedir. Bu gücü elde ederken panel üretim verilerinden ve panelin akım/gerilim değerleri ölçülmeden sadece motor bilgilerini kullanmak ana amaçlardan diğeridir. Böylece FV sistem parametrelerinin etkisinden kurtularak algılayıcı sayısını azaltıp maliyeti düşürmek önemli bir kazanç sağlayacaktır. Algılayıcısız MGNİ algoritmasının test edilmesi için dört farklı KGK oluşturulmuştur. Bu koşullar Tablo 5.1' de verilmiştir.

Tablo 5.1 Benzetim çalışmasında kullanılan farklı KGK' ları

	Işınım Değerleri (W/m ²)					
	Panel1	Panel2	Panel3	Panel4	Panel5	Panel6
KGK1 (389.87W)	1000	500	800	900	300	200
KGK2 (676.45W)	100	800	1000	1000	900	1000
KGK3 (537W)	1000	800	1000	400	1000	200
KGK4 (297W)	200	200	1000	1000	500	400

Benzetim çalışmasında önerilen MGNİ algoritması bu dört farklı durum için test edilmiştir. Bu farklı KGK altında çalışan FV sistemden elde edilebilecek maksimum güçler ve bu güçlerin üretildiği gerilim değerleri Şekil 5.4’ de görülmektedir.



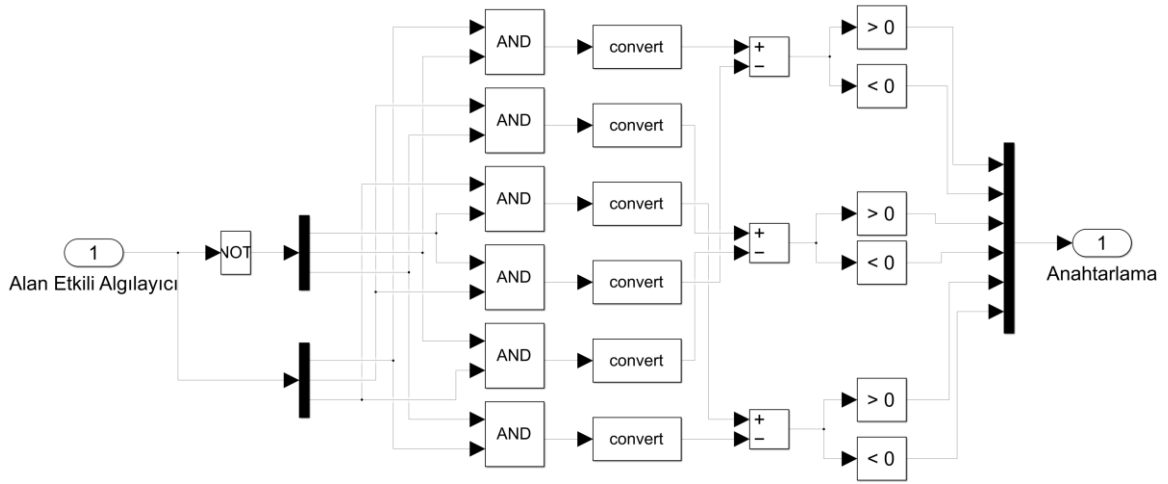
Şekil 5.4 Dört farklı KGK altında çalışan FV sistemden elde edilen güçler

Buna göre FV sistemde maksimum gücün üretildiği gerilim değerleri değişmektedir. Geleneksel MGNİ algoritmaları genelde farklı maksimum güç noktalarından bir tanesine takılarak en büyük gücün üretildiği noktayı bulamamaktadır. Diğer bir problem ise maksimum gücün üretildiği gerilim aralığının çok büyük olmasıdır. Bu tez çalışmasında 67.6V ile 183.8V aralığında üretilen dört farklı gerilim değerinde motorun çalışması sağlanmaktadır. Pompa yükünün motorun hızının karesine bağlı olarak değişmesi ise özellikle geçici durumlarda MGN’ nin yakalanmasını zorlaştırıcı bir durumdur. Çünkü FV sistemin gerilim ve akımından bağımsız olarak MGN’ nin yakalanması amaçlanmıştır.

5.2. FDAM’ ın Altı Adım Anahtarlanması MATLAB/Simulink Blokları

FDAM’ ın en önemli avantajlarından bir tanesi basit anahtarlama tekniği ile kolayca sürülebilmesidir. Bu sürme tekniği daha önceki bölümlerde anlatılmıştır. Burada motor içerisine yerleştirilen alan etkili algılayıcılardan gelen lojik sinyaller bir lojik işleme tabi tutulduktan sonra motor zıt emk dalga şekilleri elde edilmektedir. Daha sonra bu dalga şekillerinin pozitif ve negatif olma durumuna göre eviricinin üst veya alt bacakları ilettime alınmaktadır. Eviricinin giriş geriliminin değişimi ile motorun hızlanması sağlanmaktadır. Eviricinin giriş gerilimi ZETA dönüştürücüsünün çıkışı ile yani MGNİ algoritması tarafından ayarlanmaktadır. Dolayısıyla motor

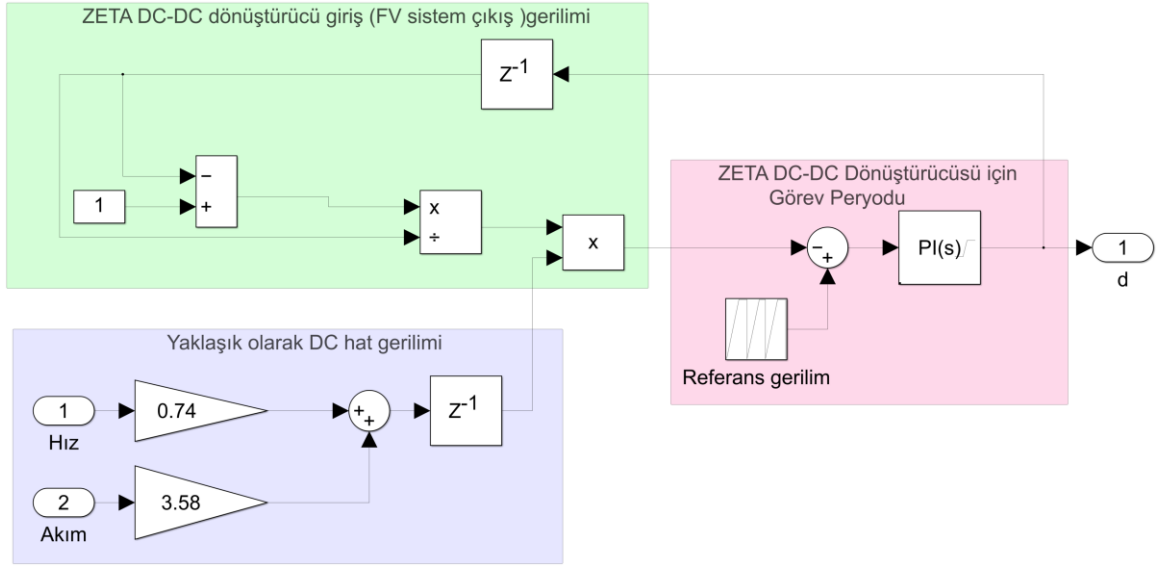
FV sistemden maksimum gücü çekecek şekilde eviricinin DC hat gerilimi ayarlanmaktadır. İlk anda referans zıt emk değeri küçük bir değerden başlanılıp artırıldığı için kalkış anında akım dalgalanmalarının önüne geçilmiş olunur. Burada eğer gerek duyulursa akım sınırlandırma işlemi anahtarlama çıkışından önce bir AND kapısı kullanılarak gerçekleştirilebilir. Altı adım anahtarlama devresinin MATLAB/Simulink benzetimi Şekil 5.5' te görülmektedir.



Şekil 5.5 Altı Adım anahtarlama için MATLAB/Simulink blokları

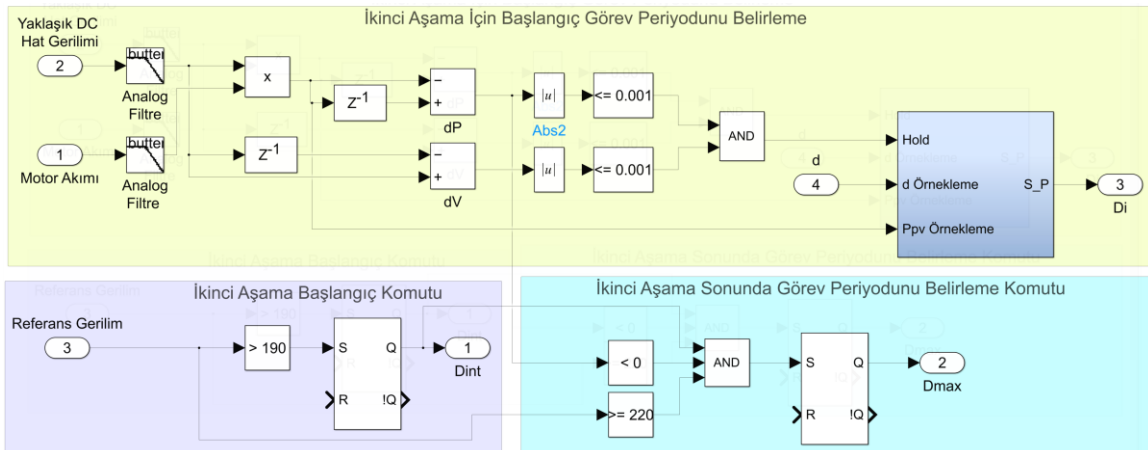
5.3. Algılayıcısız MGNİ Algoritmasının Benzetimi

Öncelikle referans gerilim sinyali 1-220V arasında 1.5s boyunca doğrusal olarak artacak şekilde üretilir. Motorun mevcut durumdaki hız ve akım bilgileri kullanılarak evirici girişindeki DC hat girişi yaklaşık olarak tespit edilir. PI kontrolör çıkışı ZETA dönüştürücüsünün anahtarlanması için görev periyodunu üretmektedir. Evirici DC hat gerilimi ve görev periyodu aynı anda örneklenip bilindiği için ZETA DC-DC dönüştürücüsünün çıkış gerilimi eşitliğinden dönüştürücü giriş gerilimi dolayısıyla FV sistem çıkış gerilimi tahmin edilir. Bu döngü sürekli devam ettirilir ve her yeni gelen D görev periyodu bilgisi için evirici giriş gerilimi kullanılarak FV sistem gerilimi hesaplanır. Bu görev döngüsünün MATLAB/Simulink blok diyagramı Şekil 5.6' da görülmektedir.



Şekil 5.6 FV sistem gerilimi tahmini ve görev periyodu üretimi blokları

Sistem gerilimi 190V değerine ulaştığında ikinci aşama devreye girecek ve motor maksimum güç seviyesinde çalışacaktır. Bunun gerçekleşmesi için birinci aşama boyunca oluşan güç seviyeleri örneklenir. Bu örnekleme sonucunda maksimum güç, maksimum gücün olduğu gerilim seviyeleri ve görev periyodu kaydedilir. Birinci aşamada evirici verimi, motor verimi ve DC-DC dönüştürücü verimi gibi etkenler ihmal edilmiştir. Gerçekte bu etkenler MGN geriliminin yanlış tahmin edilmesine neden olacaktır. Bulunan MGN yaklaşık bir değerdir ve bu değer yakınında bir global MGN bulunmaktadır. Bunun için iki aşamalı bir MGNİ algoritmasına ihtiyaç duyulmuştur. Birinci aşama boyunca maksimum güç noktasının tespit edilebilmesi için gerekli olan bloklar Şekil 5.7’ de görülmektedir.



Şekil 5.7 Maksimum güç noktası ve görev periyodu tespit blokları

Maksimum güç noktası tespiti yapıldıktan sonra bu noktadaki görev periyodu belirlenir. Referans gerilimi 190V' un üzerine çıktığında ikinci aşamaya geçme komutu alınır ve ZETA DC-DC dönüştürücüsüne uygulanacak görev periyodu ikinci aşamada belirlenir. İkinci aşama motorun hızını ve akımını kullanarak gerçekleştirilen bir D&G algoritmasıdır. İkinci aşama komutu ile başlangıç görev periyodu atanır ve algoritma çalıştırılır. Bu algoritmanın kodları aşağıda verilmiştir.

```
function D = Asama2(W,Ia, Dint, Di, Pmech)
```

```
persistent Dprev Pmechprev Ezprev Iaprev
```

```
    D=0.5;
```

```
    k=0.74;
```

```
    deltaD =0.01;
```

```
if isempty(Dprev)
```

```
    Iaprev=1;
```

```
    Dprev = 0.5;
```

```
    Ezprev = 150;
```

```
    Pmechprev = 500;
```

```
end
```

```
    D = Dprev - deltaD;
```

```
if Dint>0
```

```
    D=Di;
```

```
    deltaD=0.01;
```

```
    Ez=k*W;
```

```
if (Ez-Ezprev) = 0
```

```
if (Ez-Ezprev) > 0
```

```
if (Ia-Iaprev) > 0
```

```
    D = Dprev + deltaD;
```

```
else
```

```
    D = Dprev - deltaD;
```

```
end
```

```
else
```

```
if (Ia-Iaprev) < 0
```

```
    D = Dprev - deltaD;
```

```
else
```

```
    D = Dprev + deltaD;
```

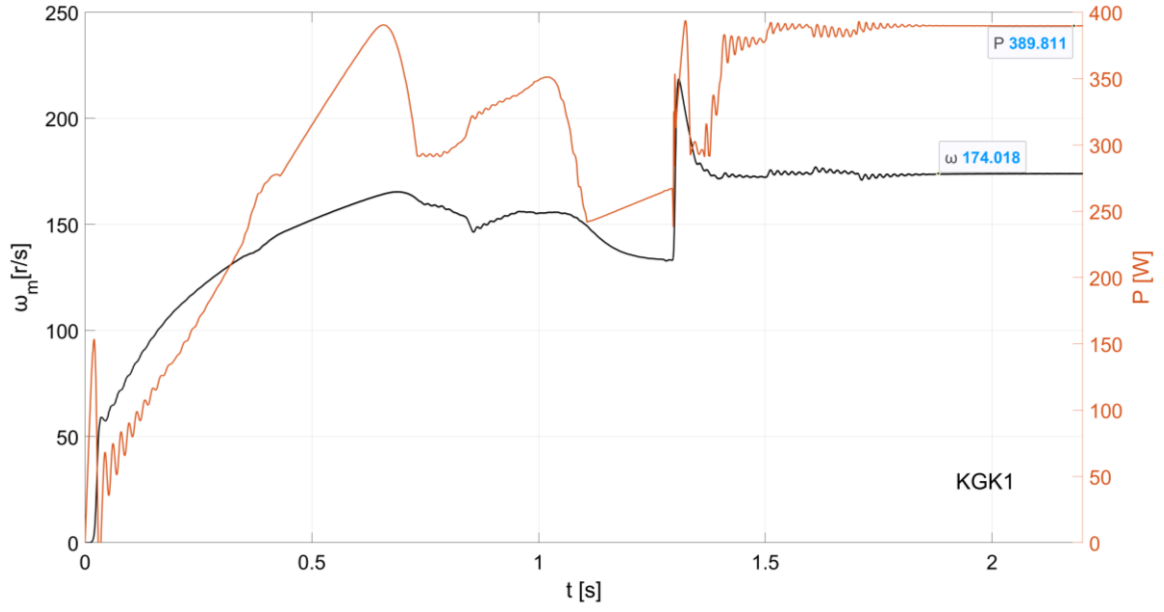
```
end
```

```
end
else
    D = Dprev;
end
İf deltaPmech<0
    D=Dprev;
end
else
    Dprev=Di;
Return
end
Dprev = D;
Ezprev = Ez;
Pmechprev = Pmech;
```

Referans gerilimi 220V' a ulaşınca ve motor mekanik gücündeki değişim negatif olduğunda algoritma maksimum güç noktasına ulaştığını anlar ve bu noktadaki görev periyodunu son olarak belirler ve sistem bu noktada çalışmasına devam eder.

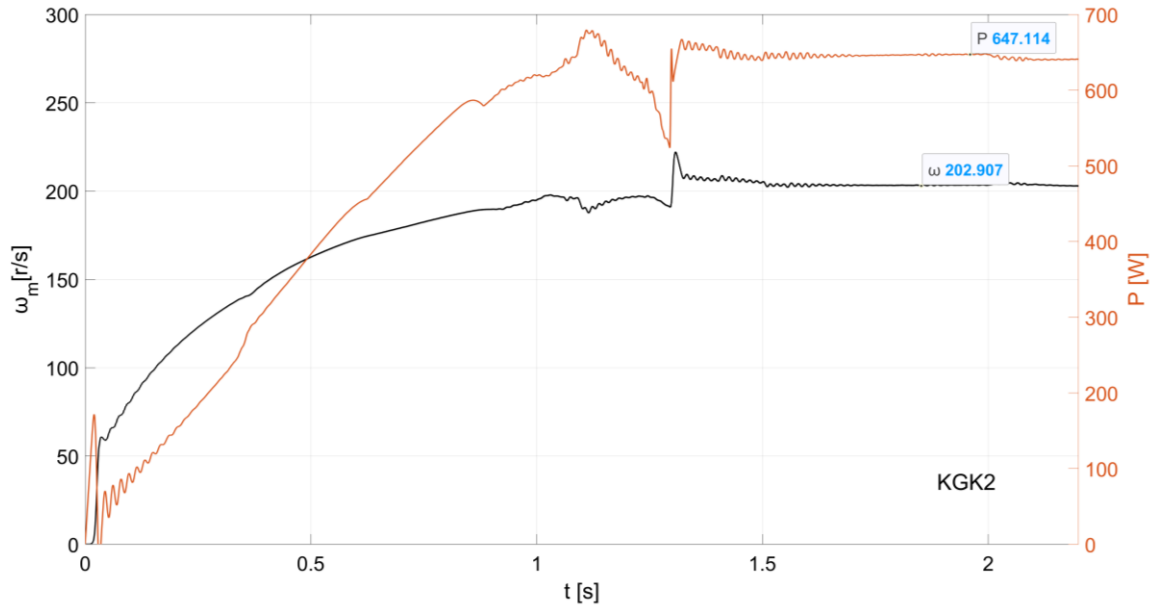
5.4. Benzetim alışmasının Sonuçları

Benzetim alışması dört farklı KGK için uygulanmıştır. Geleneksel algoritmalar KGK altında oluşan farklı MGN' lere takılarak istenilen noktada çalışamazlar. Bu benzetimde iki aşamalı bir MGNİ algoritması FV pompa sistemi için tasarlanmıştır. Uygulanan algoritma basit aşamaları olan karmaşık işlem gerektirmeyen özellikleri ile öne çıkmaktadır. Diğer taraftan algoritmada hem FV panel bilgileri hem de FV sistem gerilim ve akım bilgileri kullanılmamıştır. KGK1 atmosferik koşulları altında çalışan sistemden elde edilen gç ve FDAM' unun hız değerleri Şekil 5.8' de görülmektedir.



Şekil 5.8 KGK1 için FV sistem gücü ve motor hızı

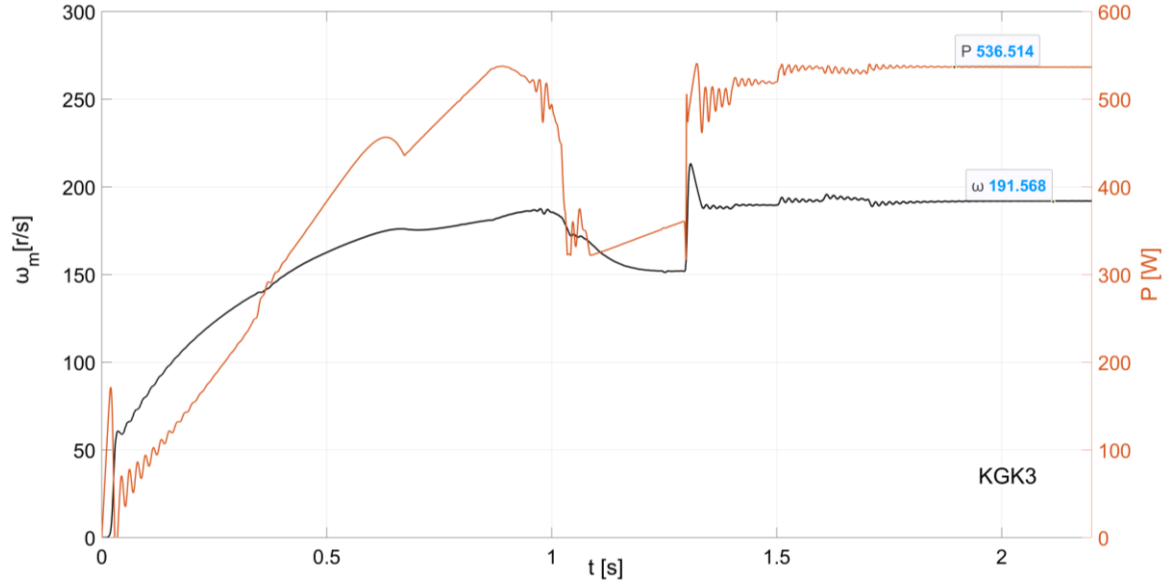
Buna göre FV sistemden elde edilen güç değeri 389.11W olurken FV sistemden elde edilebilecek maksimum güç değeri 389.87W olarak bilinmektedir. MGNİ algoritmasının sürekli durumdaki verimi %99.8 olarak tespit edilmiştir. Motorun ulaştığı hız değeri 174.018 r/s (1661.75d/d) olarak gerçekleşmiştir. KGK2 atmosferik koşulları altında çalışan sistemde FV sistemin gücü ve motorun hızı Şekil 5.9’ da gösterilmiştir.



Şekil 5.9 KGK2 için FV sistem gücü ve motor hızı

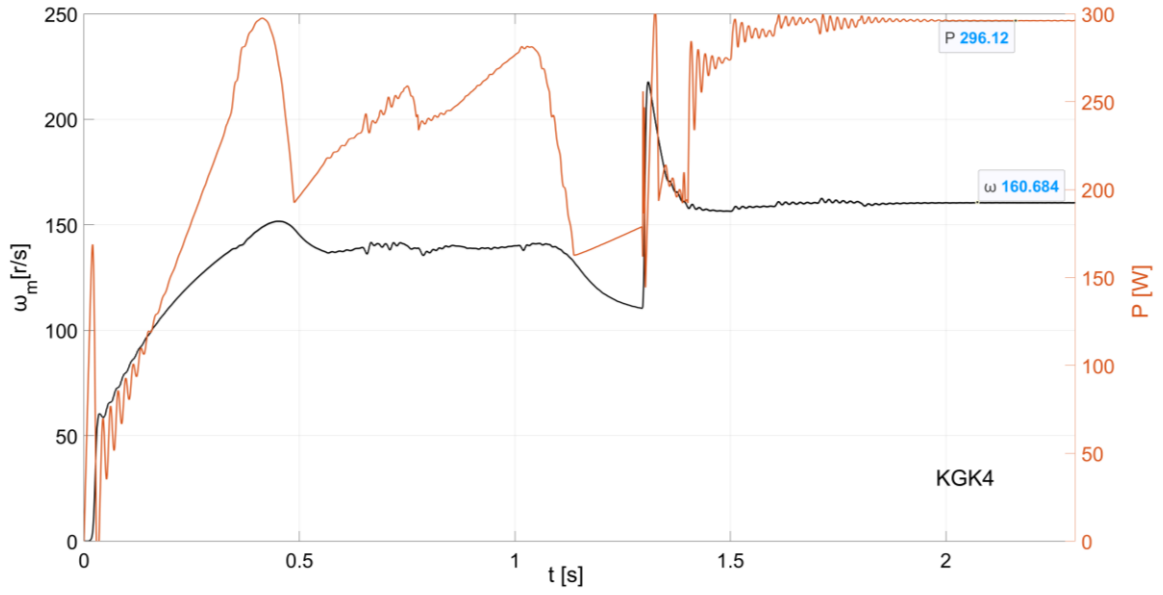
Şekil 5.9 incelendiğinde FV sistemden 647.114W güç elde edildiği görülmüştür. FV sistemden elde edilebilecek maksimum güç değeri 676.45W olduğuna göre algoritmanın sürekli

durumdaki verimi %95.6 olarak hesaplanmıştır. Bu verim birçok sistem için kabul edilebilir düzeydedir. Bu şartlar altında motorun hızı 202.907r/s (1937.6 d/d) olarak görülmektedir. FV pompa sistemi neredeyse nominal hızına ulaşacak kadar güç üretilebilmiştir. Şekil 5.10' da görülen FV sistem gücü ve motor hızı KGK3 durumu için elde edilmiştir.



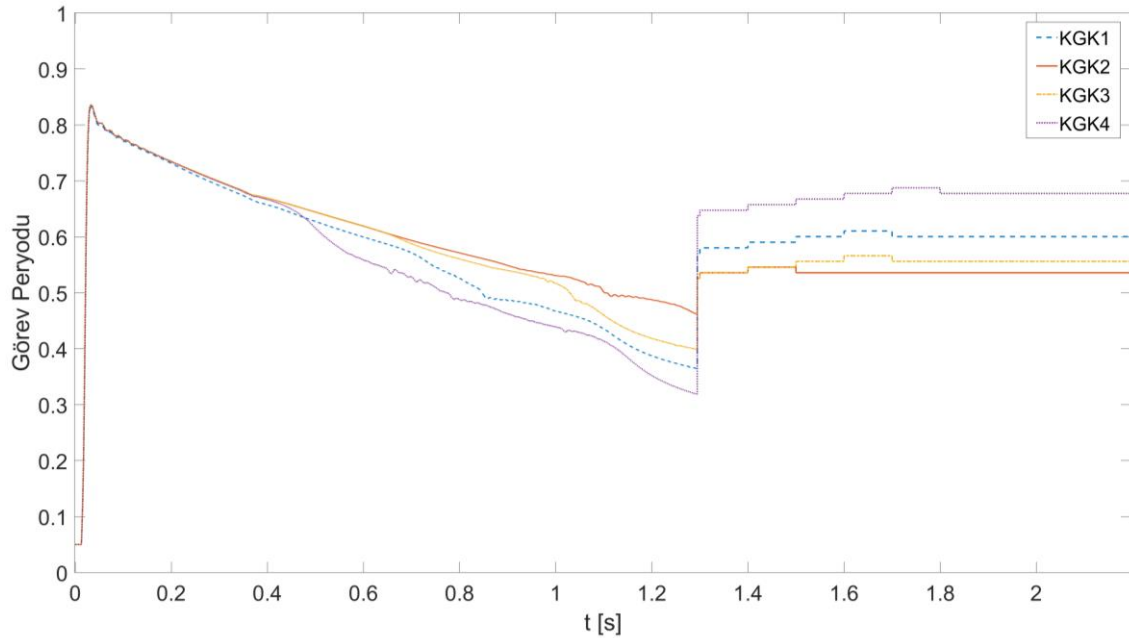
Şekil 5.10 KGK3 için FV sistem gücü ve motor hızı

KGK3 koşulları altında çalışan FV pompa sisteminden elde edilen güç değeri 536.514W olarak görülmektedir. Bu durumda FV sistemden elde edilebilecek güç değeri 537W olarak bilinmektedir. MGNİ algoritmasının sürekli durumdaki verimi %99.9 olarak hesaplanmaktadır. Bu verim değeri oldukça yüksek olup algoritmanın başarısını ortaya koymaktadır. KGK3 atmosferik koşulları altında çalışan bu FV pompa sisteminde motor hızı 191.568r/s (1829.3d/d) olarak gerçekleşmiştir. Şekil 5.11'de KGK4 atmosferik koşulları altında çalışan FV pompa sistemi için güç ve motor hızı görülmektedir.



Şekil 5.11 KKG4 için FV sistem gücü ve motor hızı

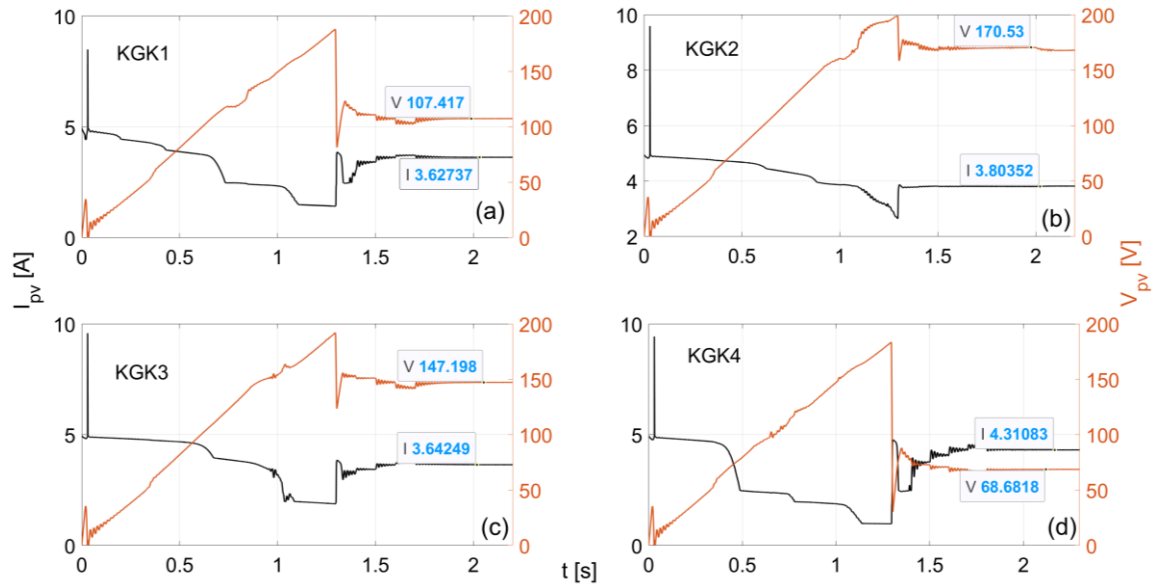
Şekil 5.11 incelendiğinde FV sistemden elde edilen güç değeri 296.12W olurken FV sistemden elde edilebilecek maksimum güç değeri 297W olarak bilinmektedir. MGNİ algoritmasının sürekli durumdaki verimi %99.7 olarak tespit edilmiştir. Motorun ulaştığı hız değeri 160.684 r/s (1534.4d/d) olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 5.12 Dört farklı KKG için algoritmada üretilen görev periyotları

Dört farklı durumda elde edilen görev periyotları Şekil 5.12' de verilmiştir. Buna göre bütün atmosferik koşullarda yaklaşık 1.9s sonunda sistem sürekli duruma ulaşmıştır. Ancak motorun sürekli durum hızına yaklaşması yaklaşık 1. saniyede tamamlanmıştır. Geriye kalan sürede motor ulaşabileceği maksimum hıza ulaşmak için 2. aşamaya geçmiştir. Bu süre bir pompa sistemi için kabul edilebilir düzeydedir. Şekil 5.13' te dört farklı atmosferik koşul altında çalışan FV sistemin akım ve gerilim değerleri görülmektedir.

Şekil 5.13' te verilen grafikler incelendiğinde KGK1 durumunda maksimum gücün üretildiği gerilim değeri 106.82V iken önerilen algoritmada 107.417V da maksimum güç üretilmiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi birbirine çok yakın olan bu değerler algoritmanın başarısını önemli ölçüde etkilemektedir. KGK2 durumunda sistem 183.806V gerilim değerinde maksimum gücü üretmiştir. Algoritma ise 170.53V değerinde maksimum güce ulaşmıştır. KGK2 durumunda verimin diğer atmosferik koşullardan daha küçük çıkmasının temel nedeni bu farktır. Bu iki gerilim değeri arasındaki fark ne kadar küçük olursa algoritmanın verimi o kadar yüksek olacaktır. Bu durum KGK3 ve KGK4 yöntemlerinde de net olarak görülmektedir. KGK3 atmosferik koşulları altında sistem maksimum gücü 146.343V gerilim değerinde üretirken MGNİ algoritması 147.198V değerinde maksimum gücü üretmiştir. KGK4 atmosferik koşulları altında sistem maksimum gücü 67.61V gerilim değerinde üretirken MGNİ algoritması 68.68V değerinde maksimum gücü üretmiştir.

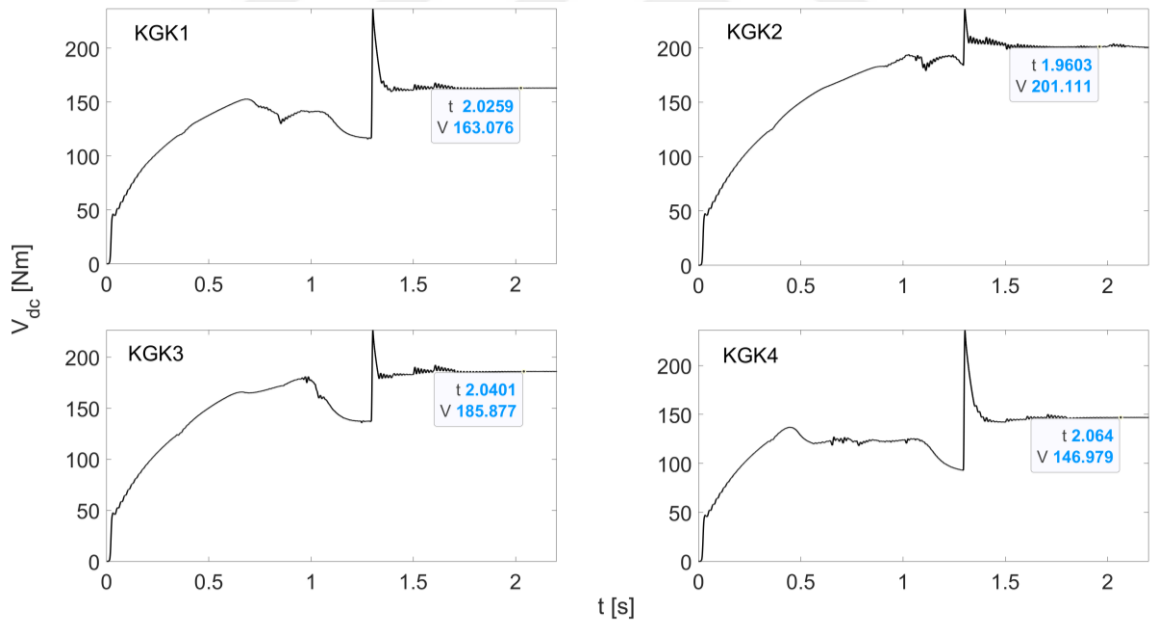


Şekil 5.13 Dört farklı KGK için FV sistemin akım ve gerilim değerleri

Geleneksel yöntemlerden olan $0.8V_{oc}$ yönteminde KGK' ların olduğu bu dört gerilim bölgesi panel parametreleri belirlenerek kullanılabilir. FV sistem Şekil 5.13' te görülen bu dört gerilim seviyesinde çalıştırılarak yaklaşık bu güç değerleri üretilebilir. Ancak bu

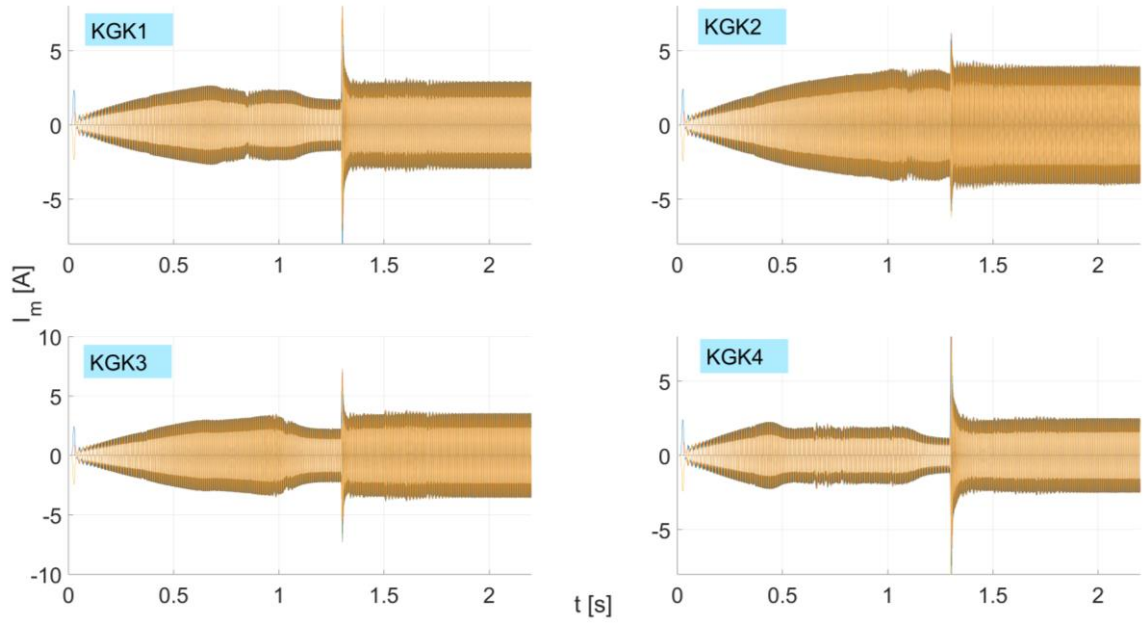
geleneksel yöntemin önemli bir problemi panellerin parametrelerine olan aşırı bağılıktır. 0.8Voc yönteminde kullanılan FV dizinin parametrelerinin aynı olması gerekir. Bu parametrelerin hem üretim esnasında hem de belirli bir süre çalışma sonunda değişiklik göstermesi MGNİ algoritmasının çalışmasını olumsuz olarak etkileyecektir. Önerilen yöntemde panellere ait herhangi bir veri kullanılmamıştır. Birinci aşamada gerilim taraması için kullanılan 220V değeri FV sistemin üretebileceği toplam gerilim değerine yakın bir değer olarak belirlenmiştir. Bu kesin bir değer değildir yaklaşık olarak tahmin edilen bir değerdir ve değişiklik gösterebilir. İkinci aşamaya geçme değeri olan 190V ise yine KGK2 koşulunda oluşan beşinci seviye gerilim seviyesinden büyük yaklaşık bir değerdir. Bu gerilim değerinin de kesin bir değer olmadığı görülmektedir. Bunlar yaklaşık olarak tespit edilen KGK' sında oluşacak beşinci seviye ve altıncı seviye gerilimlerinden büyük fakat bu büyüklüğün değerinin çok önemli olmadığı değerlerdir.

FV sistemin ürettiği gerilim ile motoru sürmek için kullanılan eviricinin DC hat gerilimi farklı olacaktır. Çünkü aralarında ZETA DC-DC dönüştürücüsü bulunmaktadır. Bu dönüştürücü anahtarlanarak FV diziden maksimum güç çekilirken eviricinin de giriş gerilimi değişmektedir. Şekil 5.14' te eviricinin giriş gerilimleri görülmektedir.



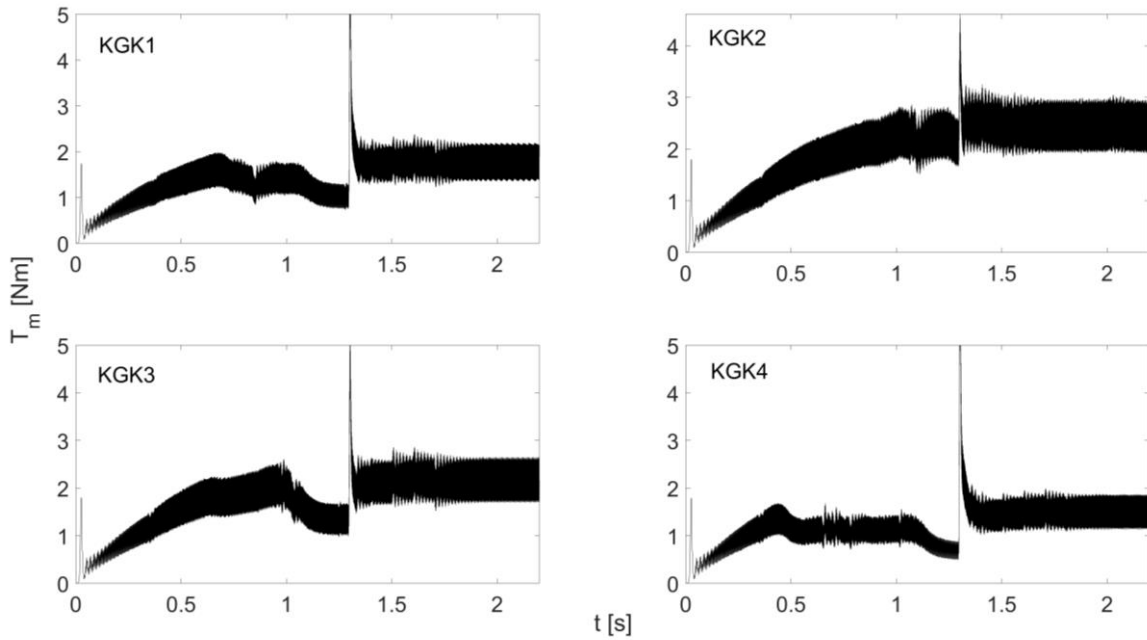
Şekil 5.14 Dört farklı KGK için evirici hat gerilimleri

Şekil 5.15' te KGK1 ile KGK4 arasındaki çalışma koşulları altında motor faz akımları görülmektedir. Burada FDAM' ın kalkış anında yumuşak bir kalkış yaptığı görülmektedir. Bunun nedeni Şekil 5.14' te görüldüğü gibi evirici DC hat geriliminin gerilim tarama algoritması ile yavaş yavaş yükseltilmesidir. Böylece kalkış anı için önerilen algoritmanın diğer bir avantajı da gösterilmiştir.



Şekil 5.15 Dört farklı KKK için motor faz akımları

Şekil 5.16' da motorun ürettiği momentler görülmektedir. FDAM' ın en büyük dezavantajlarından bir tanesi moment dalgalanmalarının yüksek olmasıdır. Burada elde edilen sonuçlarda yüksek moment dalgalanmasını göstermektedir.



Şekil 5.16 Dört farklı KKK için FDAM' ın ürettiği moment değerleri

5.5. Sonuç

FV sistemler KGK altında çalışırken geleneksel MGNİ algoritmaları yetersiz kalmaktadır. Özellikle KGK altında çalışan FV sulama sistemi gibi doğrusal olmayan yük altında çalışmada maksimum güç çekmek algoritmaların işini daha da zorlaştırmaktadır. 0.8Voc veya modifiye edilmiş geleneksel algoritmalar gibi MGNİ algoritmaları bu zorluğu aşmak için kullanılmaktadır. Fakat bu algoritmalar panellerin üretim verileri, FV sistem gerilim ve akımları, ışıma ve sıcaklık değerleri gibi verileri kullanmaktadır. Bu veriler için kullanılan algılayıcılar sistem kurulum maliyetini artırmaktadır. Diğer taraftan optimizasyon algoritmaları ve yapay zeka teknikleri kullanılarak MGNİ algoritmaları geliştirilmektedir. Fakat bu yöntemler işlem karmaşıklığını artırmaktadır.

Önerilen MGNİ algoritması sadece FDAM' ın verilerini kullanarak çalışmaktadır. FV sistem parametrelerini kullanmadığı için algılayıcısız MGNİ tekniği olarak isimlendirilmiştir. Algoritma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada motorun zıt emk' sından faydalanılarak FV sistem gerilim tahmin edilmiş ve bir referans gerilim ile karşılaştırılmıştır. Üretilen görev periyodu ile ZETA DC-DC dönüştürücüsü anahtarlanmıştır. İkinci aşamada geleneksel D&G algoritması motorun hız akım bilgilerini kullanarak şekilde yeniden düzenlenmiştir. Birinci aşama sonunda MGN bölgesi tespit edilirken ikinci aşama sonunda maksimum güce ulaşılmıştır. Önerilen algoritma dört farklı KGK altında çalıştırılmıştır. Sürekli durumda yüksek oranda sistem verimi elde edilmiştir.

6. SONUÇLAR

Küresel ısınma, fosil yakıtların tükenmesi ve çevre kirliliği gibi nedenlerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Güneş enerjisi bu kaynakların en önemlilerinden bir tanesidir. Özellikle enerji iletim hatlarının bulunmadığı bölgelerde tarımsal sulama için Güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisini kullanmak çok önemlidir. FV paneller Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmek için kullanılmaktadırlar. Bu panellerin en önemli dezavantajı verimlerinin çok düşük olmasıdır. Bu nedenle paneller her zaman maksimum verimde çalıştırılmak istenmektedir. Işınım değeri ve sıcaklık gibi atmosferik koşulların değişmesi sonucunda panellerden elde edilebilecek maksimum gücünde değeri değişmektedir.

KGK atmosferik koşullar altında çalışan sistemlerde birden fazla maksimum güç noktası oluşmakta fakat bunlardan sadece bir tanesi global maksimum güç noktasıdır. Panellerden maksimum güç elde etmek için çeşitli algoritmalar kullanılmaktadır. Geleneksel algoritmalar tekdüze (homojen) ışınım ve sıcaklık değerlerinde etkili olmaktadır. Fakat KGK altında çalışan sistemlerde küresel MGN' yi bulmak için yetersiz kalmaktadırlar. Bu durumlar için yeni algoritmalar geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir. Bu algoritmalar geleneksel algoritmaların geliştirilmiş halleri veya akıllı yöntemlerden oluşmaktadır. Geliştirilen yöntemler panel verilerini, FV sistem akım ve gerilimini, ışınım ve sıcaklık değerlerinden bir veya birden fazlasını kullanarak çalışmaktadır. Bu verileri ölçmek için algılayıcılar kullanılmakta ve sistem kurulum maliyetini artırmaktadır. Akıllı yöntemler ise zor ve karmaşık işlem yoğunluğuna sahiptirler. Yine akıllı yöntemlerde FV sistem bilgilerinden bir veya birkaçını kullanılmaktadırlar.

Bu tez çalışmasında FDAM' 1, ZETA tipinde bir DC-DC dönüştürücü, üç fazlı evirici ve FV diziden oluşan bir FV sulama sistemi modellenmiştir. FV sistem her biri 35.3V' da 155W güç üretebilen 6 adet seri bağlı panellerden oluşmaktadır. Bu verilere göre FV sistem standart test koşullarında 212V gerilim değerinde 950W gücü üretme kapasitesine sahiptir. Kullanılan FDAM' ın nominal gücü 746W iken nominal hızı 2000d/d' dır. Motor sürülürken altı adımlı anahtarlama tekniği kullanılmıştır.

Önerilen MGNİ algoritması FV sisteme ait akım ve gerilim bilgilerini kullanmamaktadır. KGK koşullarında oluşacak gerilim bölümlerinden sadece son ikisini kullanarak algoritma çalışmaktadır. Bu verilerin ise kesin değerler olmasına gerek yoktur. Yaklaşık değerler olması yeterlidir. Böylece 0.8Voc yönteminin panellerin üretim verilerini kullanması ile gerçekleştirilmesi dezavantajı ortadan kaldırılmıştır. Çünkü bu veriler ancak kesin olarak ya da çok az hata ile bilinmesi durumunda 0.8Voc yöntemi başarılı olacaktır. Önerilen yöntemde FV panellerin akımı veya gerilimi, ışınım ve sıcaklık değerleri gibi ortam değişkenleri ölçülmemiştir. Motorun hız ve akım bilgileri kullanılarak algoritma gerçekleştirilmiştir. Önerilen MGNİ algoritması iki aşamadan oluşmuştur. Birinci aşamada bir referans gerilimi sisteme girilerek FV sistemin bu gerilimi takip

etmesi sağlanmıştır. Karşılaştırma için FV sistem gerilimini ölçmek yerine motor hız ve akım bilgileri kullanılarak evirici DC hat gerilimi ve ZETA DC-DC dönüştürücüsü çıkış gerilimi eşitlikleri kullanılarak FV sistem gerilimi tahmin edilmiştir. Bu tahmin değeri gerçek bir değer değildir fakat MGN' nin olduğu bölgeyi tespit etmek için yeterlidir. İkinci aşamada yine motorun hız ve akım verileri kullanılarak tespit edilen MGN bölgesinde gerçek MGN noktası tespit edilip sistem bu noktada çalıştırılmıştır.

Simülasyon çalışması MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Dört farklı KGK oluşturularak FV pompa sistemi çalıştırılmıştır. Sistem sürekli duruma ulaştığında KGK1 durumunda FV sistemin üretmesi gereken güce %99.8 oranında yaklaşmıştır. Diğer üç durumda sırasıyla KGK2 durumunda %95.6, KGK3 durumunda %99.9 ve KGK4 durumunda %99.7 oranında maksimum üretilebilecek güce yaklaşmıştır. Bu sonuçlara göre 1.,3. ve 4. KGK durumlarında çok üstün bir performans ile çakışırken KGK2 durumunda diğer durumlara göre biraz düşük kalmıştır. Fakat bu değer birçok sistem için yeterli kabul edilebilen bir değerdir. Böylece algılayıcısız MGNİ algoritmasının üstün performans ile çalıştığı benzetim çalışması ile gösterilmiştir.

Gelecek çalışmalarda geleneksel yöntemler ile önerilen yöntemin karşılaştırılması yapılarak avantaj ve dezavantajların görülmesi sağlanacaktır. Daha sonra birinci veya ikinci aşamanın bir tanesinin optimizasyon yöntemi kullanılarak sağlanması ile KGK2 de görülen diğer durumlara göre düşük performansın artırılması sağlanacaktır. Ayrıca yapay zekâ teknikleri kullanılarak algılayıcısız MGNİ tekniği tek aşamalı olarak gerçekleştirilecektir. Son olarak FDAM' ın hız bilgisi zıt emk ölçüm yöntemi veya diğer akıllı yöntemler kullanılarak gerçekleştirilecektir. Böylece hem motor hem de MGNİ algoritması algılayıcısız olarak çalıştırılabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] A. Gündoğdu, "System Identification Based ARV-MPPT Technique for PV Systems Under Variable Atmospheric Conditions," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 51325-51342, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3174107.
- [2] Malla, S. G., Malla, P., Malla, J. M. R., Singla, R., Choudekar, P., Koilada, R., & Sahu, M. K. (2022). Whale optimization algorithm for PV based water pumping system driven by BLDC motor using sliding mode controller. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 10(4), 4832-4844.
- [3] Liu, L., Meng, X., & Liu, C. (2016). A review of maximum power point tracking methods of PV power system at uniform and partial shading. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1500-1507.
- [4] Ahmed, J., & Salam, Z. (2015). An improved perturb and observe (P&O) maximum power point tracking (MPPT) algorithm for higher efficiency. *Applied Energy*, 150, 97-108.
- [5] J. Ahmed and Z. Salam, "A modified P&O maximum power point tracking method with reduced steady-state oscillation and improved tracking efficiency," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 7, no. 4, pp. 1506–1515, Oct. 2016.
- [6] A. Loukriz, M. Haddadi, and S. Messalti, "Simulation and experimental design of a new advanced variable step size incremental conductance MPPT algorithm for PV systems," *ISA Trans.*, vol. 62, pp. 30–38, May 2016.
- [7] Başoğlu, M. E. (2018). An improved 0.8 Voc model based GMPPT technique for module level photovoltaic power optimizers. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(2), 1913-1921.
- [8] Bi, Z., Ma, J., Man, K. L., Smith, J. S., Yue, Y., & Wen, H. (2020). An Enhanced 0.8 V_{OC} -Model-Based Global Maximum Power Point Tracking Method for Photovoltaic Systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 56(6), 6825-6834.
- [9] Rizzo, S. A., & Scelba, G. (2015). ANN based MPPT method for rapidly variable shading conditions. *Applied Energy*, 145, 124-132.
- [10] Haseeb, I., Armghan, A., Khan, W., Alenezi, F., Alnaim, N., Ali, F., ... & Ullah, N. (2021). Solar power system assessments using ann and hybrid boost converter based mppt algorithm. *Applied Sciences*, 11(23), 11332.
- [11] Kiran, S. R., Basha, C. H., Singh, V. P., Dhanamjayulu, C., Prusty, B. R., & Khan, B. (2022). Reduced simulative performance analysis of variable step size ANN based MPPT techniques for partially shaded solar PV systems. *IEEE access*, 10, 48875-48889.
- [12] Nabipour, M., Razaz, M., Seifossadat, S. G., & Mortazavi, S. S. (2017). A new MPPT scheme based on a novel fuzzy approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 1147-1169.

- [13] Robles Algarín, C., Taborda Giraldo, J., & Rodriguez Alvarez, O. (2017). Fuzzy logic based MPPT controller for a PV system. *Energies*, 10(12), 2036.
- [14] Renaudineau, H., Donatantonio, F., Fontchastagner, J., Petrone, G., Spagnuolo, G., Martin, J. P., & Pierfederici, S. (2014). A PSO-based global MPPT technique for distributed PV power generation. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(2), 1047-1058.
- [15] Ishaque, K., Salam, Z., Amjad, M., & Mekhilef, S. (2012). An improved particle swarm optimization (PSO)-based MPPT for PV with reduced steady-state oscillation. *IEEE transactions on Power Electronics*, 27(8), 3627-3638.
- [16] Ahmed, J., & Salam, Z. (2013, May). A soft computing MPPT for PV system based on Cuckoo Search algorithm. In *4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives* (pp. 558-562). IEEE.
- [17] Hussaian Basha, C. H., Bansal, V., Rani, C., Brisilla, R. M., & Odofin, S. (2020). Development of cuckoo search MPPT algorithm for partially shaded solar PV SEPIC converter. In *Soft Computing for Problem Solving: SocProS 2018, Volume 1* (pp. 727-736). Springer Singapore.
- [18] Mohanty, S., Subudhi, B., & Ray, P. K. (2015). A new MPPT design using grey wolf optimization technique for photovoltaic system under partial shading conditions. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 7(1), 181-188.
- [19] Águila-León, J., Vargas-Salgado, C., Díaz-Bello, D., & Montagud-Montalvá, C. (2024). Optimizing photovoltaic systems: A meta-optimization approach with GWO-Enhanced PSO algorithm for improving MPPT controllers. *Renewable Energy*, 230, 120892.
- [20] Kumar, C. S., & Rao, R. S. (2016). A novel global MPP tracking of photovoltaic system based on whale optimization algorithm. *International Journal of Renewable Energy Development*, 5(3), 225-232.
- [21] Percin, H. B., & Caliskan, A. (2023). Whale optimization algorithm based MPPT control of a fuel cell system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(60), 23230-23241.
- [22] Kumar, R., & Singh, B. (2019). Solar PV powered-sensorless BLDC motor driven water pump. *IET Renewable Power Generation*, 13(3), 389-398.
- [23] Kumar, R., & Singh, B. (2016). BLDC motor-driven solar PV array-fed water pumping system employing zeta converter. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 52(3), 2315-2322.
- [24] Kumar, A., Bilal, M., Rizwan, M., & Nangia, U. (2022, January). Grey Wolf Optimization Inspired Maximum Power Extraction from SPV System for Water Pumping Application. In *2022 International Conference for Advancement in Technology (ICONAT)* (pp. 1-6). IEEE.
- [25] Gadiraju, H. K. V., Barry, V. R., & Jain, R. K. (2022). Improved performance of PV water pumping system using dynamic reconfiguration algorithm under partial shading conditions. *CPSS Transactions on Power Electronics and Applications*, 7(2), 206-215.

- [26] Mudlapur, A., Ramana, V. V., Damodaran, R. V., Balasubramanian, V., & Mishra, S. (2018). Effect of partial shading on PV fed induction motor water pumping systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 34(1), 530-539.
- [27] Ammar, A., Hamraoui, K., Belguellaoui, M., & Kheldoun, A. (2022). Performance enhancement of photovoltaic water pumping system based on BLDC Motor under partial shading condition. *Engineering Proceedings*, 14(1), 22.
- [28] Celikel, R., Boztas, G., & Aydogmus, O. (2022). A system identification-based MPPT algorithm for solar photovoltaic pumping system under partial shading conditions. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 44(2), 5199-5214.
- [29] Celikel, R. (2024). A global MPPT technique for PV systems under partial shading conditions. *International Journal of Electronics*, 111(7), 1163-1178.
- [30] Ibrahim, M. N., Rezk, H., Al-Dhaifallah, M., & Sergeant, P. (2019). Solar array fed synchronous reluctance motor driven water pump: An improved performance under partial shading conditions. *IEEE access*, 7, 77100-77115.
- [31] Lakhdara, A., Bahi, T., & Moussaoui, A. (2022, May). Performance of Pumping System Under Partial Shading. In *2022 IEEE 2nd International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (MI-STA)* (pp. 686-691). IEEE.
- [32] Jha, K. K., & Anwar, M. N. (2019, September). Solar photovoltaic based brushless DC motor driven water pumping system using PSO-MPPT algorithm. In *2019 54th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)* (pp. 1-6). IEEE.
- [33] Akkaya, R., Kulaksız, A. A., & Aydoğdu, Ö. (2007). DSP implementation of a PV system with GA-MLP-NN based MPPT controller supplying BLDC motor drive. *Energy Conversion and Management*, 48(1), 210-218.
- [34] Oliver, J. S., David, P. W., Balachandran, P. K., & Mihet-Popa, L. (2022). Analysis of grid-interactive PV-fed BLDC pump using optimized MPPT in DC-DC converters. *Sustainability*, 14(12), 7205.
- [35] Darcy Gnana Jegha, A., Subathra, M. S. P., Manoj Kumar, N., Subramaniam, U., & Padmanaban, S. (2020). A high gain dc-dc converter with grey wolf optimizer based MPPT algorithm for PV fed BLDC motor drive. *Applied Sciences*, 10(8), 2797.
- [36] Niapour, S. K. M., Danyali, S., Sharifian, M. B. B., & Feyzi, M. R. (2011). Brushless DC motor drives supplied by PV power system based on Z-source inverter and FL-IC MPPT controller. *Energy Conversion and Management*, 52(8-9), 3043-3059.
- [37] Öztürk, H. H. (2017). Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler. *Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri*, 1, 1-14.
- [38] Kandilli, C., Külahlı, G., & Savcı, G. (2013). Fotovoltaik Termal (PVT) Sistem 2D Termodinamik Modellenmesi ve Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması, 11. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 17, 20.

- [39] Luque, A., & Hegedus, S. (Eds.). (2011). *Handbook of photovoltaic science and engineering*. John Wiley & Sons.
- [40] Precup, R. E., Kamal, T., & Hassan, S. Z. (Eds.). (2019). *Advanced control and optimization paradigms for wind energy systems*. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer.
- [41] Kandemir, E. (2020). Kısmi gölgelenme koşullarında maksimum güç noktasında çalışan enerji geri kazanımlı tek dönüştürücülü şebeke bağlantılı PV sistem tasarımı ve uygulaması. *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*.
- [42] Kumar, R., & Singh, B. (2014, December). Buck-boost converter fed BLDC motor drive for solar PV array based water pumping. In *2014 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)* (pp. 1-6). IEEE.
- [43] Kumar, R., & Singh, B. (2017). Single stage solar PV fed brushless DC motor driven water pump. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 5(3), 1377-1385.
- [44] Yedamale, P. (2003). Brushless DC (BLDC) motor fundamentals. *Microchip Technology Inc*, 20(1), 3-15.
- [45] Graham, D. E., & Savage, J. W. (1985). Brushless DC motor technology. *International Journal of Vehicle Design*, 6(6), 671-686.
- [46] Gürdal, O., & Tasarımı, E. M. (2001). Atlas Yayın Dağıtım Ltd. *Şti., İstanbul*.
- [47] Yıldız, T. (2009). *Fırçasız doğru akım motorlarının modellenmesi ve kontrolü* (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi (Turkey)).
- [48] Çelikel, R. Uydular için volanlı enerji depolama sistemlerinde kullanılabilir yüksek hızlı fırçasız doğru akım motorunun genetik algoritma tabanlı akım kontrolü.
- [49] Çalışkan, E. (2011). *Fotovoltaik Sistemler için DSP Temelli Güneş Çeviricisi Tasarımı ve Uygulaması* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [50] Coelho, R. F., Dos Santos, W. M., & Martins, D. C. (2012, November). Influence of power converters on PV maximum power point tracking efficiency. In *2012 10th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications* (pp. 1-8). IEEE.
- [51] Dhote, V. P., & Modak, G. P. (2017, April). Analysis and study of Zeta converter fed by solar photovoltaic array. In *2017 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)* (pp. 1-6). IEEE.
- [52] Sera, D., Mathe, L., Kerekes, T., Spataru, S. V., & Teodorescu, R. (2013). On the perturb-and-observe and incremental conductance MPPT methods for PV systems. *IEEE journal of photovoltaics*, 3(3), 1070-1078.
- [53] Murtaza, A., Chiaberge, M., De Giuseppe, M., & Boero, D. (2014). A duty cycle optimization based hybrid maximum power point tracking technique for photovoltaic systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 59, 141-154.

- [54] Ghaisari, J., Habibi, M., & Bakhshai, A. (2007, October). An MPPT controller design for photovoltaic (PV) systems based on the optimal voltage factor tracking. In *2007 IEEE Canada Electrical Power Conference* (pp. 359-362). IEEE.

