

154 985

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALTERNATİF BİR FOTOVOLTAİK PANEL (PV) MODELİNİN SANTRİFÜJ
SU POMPA SİSTEMLERİNE UYGULANMASI VE PERFORMANS
GELİŞİMİNE YÖNELİK YAKLAŞIMLAR**

DOKTORA TEZİ

Özcan ATLAM

Ana Bilim Dalı: Elektrik Eğitimi

Danışman: Prof. Dr. Feriha ERFAN KUYUMCU

NİSAN 2004

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALTERNATİF BİR FOTOVOLTAİK PANEL (PV) MODELİNİN
SANTRİFÜJ SU POMPA SİSTEMLERİNE UYGULANMASI VE
PERFORMANS GELİŞİMİNE YÖNELİK YAKLAŞIMLAR**

DOKTORA TEZİ

Özcan ATLAM

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30. 04. 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 15. 06. 2004

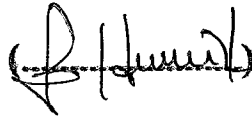
Tez Danışmanı

Prof.Dr.Feriha ERFAN KUYUMCU

()

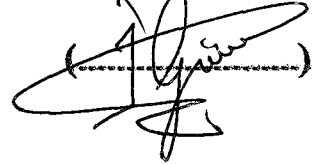
Üye

Prof.Dr.Semra ÖZTÜRK

()


Üye

Prof.Dr.İrfan GÜNEY

()

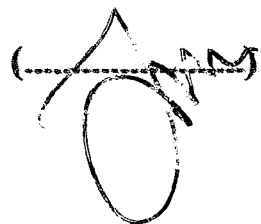
Üye

Yrd. Doç. Dr.Faruk ARAS

()

Üye

Yrd.Doç. Dr.Tarık DURU

()

NİSAN 2004

ALTERNATİF BİR FOTOVOLTAİK PANEL (PV) MODELİNİN SANTRİFÜJ SU POMPA SİSTEMLERİNE UYGULANMASI VE PERFORMANS GELİŞİMİNE YÖNELİK YAKLAŞIMLAR

Özcan ATLAM

Anahtar Kelimeler: Güneş pili, fotovoltaik pompa sistemi, doğal izleme

Özet: Bu çalışmada, fotovoltaik güneş paneli (PV) performans tanımlamalarında yaygın olarak kullanılan tek diyot modeline alternatif bir model verilmektedir. Bu model ile, sadece PV etiketlerinde standart test koşulları (STC) için verilen değerler kullanılarak, farklı ışınım şiddetlerindeki akım-gerilim (I-V) değişimleri tahmin edilmektedir. PV çıkış karakteristikleri doğrusal olmamasına rağmen, bir R yükündeki PV cevapları, alternatif modele dayanan doğrusal bir yaklaşım ile doğrudan belirlenebilir. Ayrıca, önerilen PV modeli, gerçek bir doğru akım (DA) motorlu santrifüj su pompa sistemi üzerinde test edilmektedir. Tanımlanan motor-pompa modeli de test çalışmasında kullanılmaktadır. Sistemin model tahminleri ile güneş altındaki verileri arasındaki bağıl hatalar, geniş bir ışınım aralığında ortalama %1-3 dolaylarındadır.

Alternatif PV modelini içeren pompa sistemleri, MATLAB-Simulink'de tanımlanmaktadır. Analiz sonuçlarına göre, doğrudan bağlantılı (PV- DA motor) sistemlerde, geniş bir ışınım aralığında sabit mıknatıslı DA motorların birim performansları diğer tip motorlarınkine göre daha yüksektir. Değişen ışınımlarda PV-motor arasındaki maksimum güç uyumu için maksimum güç izleme devreleri performans gelişimi sağlamaktadır. Ek bir kontrol devresi kullanmadan, yapısal özelliğiyle PV maksimum noktalarını izleyebilen bir sistem yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen sistem, verilen bir PV boyutu için motor yapılandırılmasına dayanmaktadır. Işınımla değişen PV çıkışlarına göre, motorun alan akısı, maksimum güç izlemeye uygun olarak, kendiliğinden değişmektedir.

Çalışmalar, Siemens SM 55 PV ve santrifüj pompa yükleri üzerinde yapılmaktadır.

**APPLICATION OF AN ALTERNATIVE PHOTOVOLTAIC PANEL (PV)
MODEL TO CENTRIFUGAL WATER PUMPING SYSTEMS AND
APPROACHES TO IMPROVE PERFORMANCE**

Özcan ATLAM

Keywords: Solar cell, photovoltaic pumping system, natural tracking

Abstract: In this study, a model is presented as an alternative to the single exponent diode model commonly used for photovoltaic panel (PV) performance definitions. With this model, current –voltage (I-V) curves are estimated at different irradiance levels using by only label values given for standart test conditions (STC). Moreover, although PV output characteristics are non-linear, PV responses can be directly defined at a given load R by a linear approach based on the alternative model. The proposed model is tested on real water pumping system with direct current (DA) motor-centrifugal pump. Defined motor –pump model is used on the test study. The relative errors between the system model predictions and real data under The Sun are about 1-3% for a broad irradiance level interval.

The pumping systems incorporating the alternative PV model are carried into the MATLAB-Simulink environment. According to analysis results, unit performances of permanent magnet DA motors are higher than those of other DA motors for direct coupled (PV-DA motor) systems in a wide irradiance interval. In changing irradiance, to attain maximum power matching between PV and motor, the maximum power tracker circuits improve the system performance. Without any control device, a system approach is proposed which naturally tracks PV maximum power points. For a given PV dimension, the proposed system is based on motor specification. According to PV outputs versus irradiance, motor field flux self changes suitably to track PV maximum power points.

Overall the studies are done on Siemens SM 55 PV and centrifugal pumps.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Fosil kaynakların kullanımı ve tedbirsiz sanayileşme, ciddi bir şekilde üzerinde yaşadığımız doğal çevreyi olumsuz etkilemeye başlamıştır. Bilindiği üzere, tarımsal gıda ve temiz suyun önemi her geçen gün artmaktadır. Bu ihtiyaçların karşılanmasında, çevreyle barışık temiz enerji uygulamalarından biri olan fotovoltaik güç uygulamaları, tek başına yeterli olmasa da yardımcı olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda, tarımsal sulama ve içecek su temini için güneş panellerinin kullanıldığı fotovoltaik su pompa sistemlerinin artarak kullanılması başlıca temennimizdir.

Bu tezin hazırlanmasında, yardımlarından dolayı tez izleme komitesi üyelerinden Yrd. Doç. Dr. Tarık DURU ve Yrd. Doç. Dr. Faruk ARAS'a , desteklerinden dolayı Fatma Birsen ALAÇAKIR (E.İ.E)'a, moral desteklerini esirgemeyen fakülte çalışma arkadaşlarıma ve özellikle zaman ve emek boyutunda özveri örneği gösteren danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Feriha ERFAN KUYUMCU'ya teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
TABLolar DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
1.1. Güneş Pili (PV).....	2
1.2. PV Model Çalışmaları.....	6
1.3. Alternatif Bir PV Modeli.....	7
1.4. PV Pompa Sistemi Çalışmaları.....	7
1.5. PV Pompa Sistemleri İçin Alternatif Bir Yaklaşım.....	10
BÖLÜM 2. GÜNEŞ PANELİ (PV) MODELİ.....	12
2.1.Referans Model (Tek Diyot Modeli).....	12
2.2. Önerilen Model.....	16
2.2.1. Referans modelle uyumlu model.....	16
2.2.2. Gerçekle uyumlu basitleştirilmiş model.....	22
2.3. Alternatif Modelin Test Çalışması.....	26
BÖLÜM 3. PV- DA MOTORLU POMPA SİSTEMİ MODELİ.....	30
3.1. PV Performans Tanımlamaları.....	30
3.2. DA Motor- Santrifüj Pompa Sistemi Modelleri.....	32
3.3. Santrifüj Pompa Performans Tanımlamaları.....	34
3.4. Önerilen PV Pompa Sistemi Modelinin Test Çalışması.....	39
BÖLÜM 4. SİSTEMİN ANALİZLERİ.....	47
4.1. Doğrudan Bağlantılı Sistemlerde DA Motorların Performansları.....	47
4.2. Maksimum Güç İzlemeli Sistemler.....	54

4.2.1. Maksimum güç izleme prensipleri.....	54
4.2.2. Maksimum güç izleme analizi.....	58
BÖLÜM 5. DOĞAL MAKSİMUM GÜÇ İZLEMELİ BİR SİSTEM YAKLAŞIMI.....	66
SONUÇ ve ÖNERİLER.....	76
KAYNAKLAR.....	81
EK A. MATLAB-SIMULINK'DEKİ SİSTEM TANIMLAMALARI.....	87
KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....	92



SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

- B : Sürtünme ile ilgili moment katsayısı (N.m / (rad/s))
- c : Önerilen güneş pili (PV) modelindeki sabit
- C_m : Önerilen PV modelinde standart değer sabiti
- C_1 : PV modelinde, kısmi doğrusallaştırma için akım değişiminin 1. eğimi
- C_2 : PV modelinde, kısmi doğrusallaştırma için akım değişiminin 2. eğimi
- D : Sürücü devresinin çevirme oranı
- D_m : Maksimum güç aktarımında sürücü devresinin çevirme oranı
- D_s : Sabit gerilimli işletmede (V_s), sürücü devresinin çevirme oranı
- E_i : Güneş pili eklem bölgesindeki doğal iç elektriksel alan (V./m)
- E_g : Yarı iletken enerji aralığı (eV)
- E_z : Motordaki zıt elektromotor kuvvet (emk) (V)
- E_{zm} : Maksimum güç koşullarındaki zıt emk (V)
- E_{zs} : V_s işletiminde zıt emk (V)
- FF : Güneş pili dolgu faktörü
- f_a : Maksimum akım çarpanı
- f_v : Maksimum gerilim çarpanı
- g : Yer çekim ivmesi (9.81 m/s^2)
- H : Yükseklik (m)
- I : PV çıkış akımı (A.)
- I_2 : Maksimum güç izlemeli sistemde motor akımı (A)
- I_b : Pompa motorunun boş çalışma akımı (A)
- I_d : Diyot akımı (A)
- I_f : Serbest uyarma sargısı akımı (A)
- I_g : Fotonla üretilen akım (A)
- I_{gst} : Standart ışım şartlarındaki PV'de fotonla üretilen akım veya kısa devre akımı (A)
- I_k : Güneş altında ölçülen PV kısa devre akımı (A)
- I_m : Maksimum güç noktasındaki PV çıkış akımı (A)

- I_{mst} : Etiket veya standart ışınlam (1000 W/m^2) şartları için maksimum güç noktasındaki PV akımı (A)
- I_o : Ters sızıntı akımı (A)
- I_p : PV modelinde, panellerden oluşan sistemin akımı (A)
- I_{ya} : Motor kalkış (yol alma) akımı (A)
- k : Boltzman sabiti ($1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J}/(\text{atom} \cdot ^\circ\text{K})$)
- k_a : PV'de referans şartlara göre, sıcaklık değişimi başına akımdaki yüzdellik değişim ($1/^\circ\text{K}$)
- k_v : PV'de referans şartlara göre, sıcaklık değişimi başına gerilimdeki yüzdellik değişim ($1/^\circ\text{K}$)
- K : Moment sabiti (N.m)
- K_1 : Doğal maksimum güç izlemeli sistemde, serbest uyarma sargısına ait moment sabiti terimi (N.m/A)
- K_{sis} : Doğal maksimum güç izlemeli sistemdeki DA motorun moment sabiti (N.m/A)
- K_m : Maksimum güç izlemeyi sağlayan ve ışınlam şiddetine göre değişen optimum moment sabiti (N.m/A)
- K_p, k_p : Santrifüj pompa yükü sabiti ($\text{N.m}/(\text{rad/s})^2$)
- M_{af} : Endüvi sargısı ile serbest uyarma sargısı arasındaki karşılıklı endüktans katsayısı (Henri, H.)
- M_{as} : Endüvi sargısı ile seri uyarma sargısı arasındaki karşılıklı endüktans katsayısı (Henri, H.)
- m_o : Örnek alınan DA motorun boş çalışma için tanımlanan denklemin akım çarpanı (V/A)
- m_1 : Örnek alınan DA motorun yüklü çalışma için tanımlanan denklemin akım çarpanı (V/A)
- n : Diyot faktörü
- n_o : Örnek alınan DA motorun boş çalışma için tanımlanan denklemin sabit terimi
- n_1 : Örnek alınan DA motorun yüklü çalışma için tanımlanan denklemin sabit terimi
- N_p : Paralel PV dizi sayısı

- N_s : Seri PV dizi sayısı
 P : PV çıkış gücü veya sistem giriş gücü (W.)
 P_{boru} : Pompa sisteminde boru hat kaybı (W)
 P_{hid} : Net hidrolik güç (W)
 P_m : PV maksimum gücü (W)
 P_{mek} : Mekanik güç (W)
 P_{mekm} : Maksimum güç koşullarındaki mekanik güç (W)
 P_{mekms} : V_s işletmedeki mekanik güç (W)
 P_{mo} : Sürtünme ile ilgili motor ve pompa iç kayıpları (W)
 P_{pom} : Pompa giriş gücü (W)
 q : Elektron yükü ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C.)
 Q : Debi (m^3/s)
 R : Yük direnci (ohm, Ω)
 R_a : Endüvi sargı direnci (ohm)
 R_f : Serbest uyarma sargısı direnci (ohm)
 R_{fse} : Seri uyarma sargısı direnci (ohm)
 R_s : PV eşdeğer devresindeki seri direnç (ohm)
 R_{sh} : PV eşdeğer devresindeki paralel direnç (ohm)
 R_m : Maksimum güç koşullarındaki yük direnci (ohm)
 s : 1000 W/m^2 'lik ışınım şiddetine göre birim ışınım şiddeti oranı (p.u)
 T : Sıcaklık ($^{\circ}C$)
 T_e : Motorda üretilen elektriksel moment (N.m)
 T_{ya} : Kalkış momenti (N.m)
 T_o : Boş çalışmadaki sürtünmeyle ilgili moment terimi
 V : PV çıkış gerilimi (V)
 V_2 : Sürücü devreli sistemde motor tarafı gerilimi (V)
 V_m : Maksimum güç noktasındaki PV gerilimi (V)
 V_{mst} : Standart ışınımdaki (1000 W/m^2) veya PV etiketindeki maksimum güç noktası gerilimi (V)
 V_o : PV açık devre gerilimi (V)
 V_{ost} : Etiket veya standart ışınım (1000 W/m^2)'da PV açık devre gerilimi (V)
 V_p : PV modelinde, panellerden oluşan sistemin gerilimi (V)

- V_s : Sabit işletme gerilimi (V)
- α : Sıcaklık değişimi başına akımdaki değişme katsayısı ($1/^\circ\text{C}$)
- β : Sıcaklık değişimi başına gerilimdeki değişme katsayısı ($1/^\circ\text{C}$)
- d : Türev operetörü
- η_{fay} : Maksimum güç noktasına göre PV'den faydalanma verimi
- η_{mot} : Mekanik gücün giriş gücüne oranı olarak motor verimi
- η_{pom} : Net hidrolik gücün mekanik güce oranı olarak pompa verimi
- η_{sis} : Mekanik gücün PV maksimum gücüne oranı olarak sistem verimi
- η_{pvsis} : Net hidrolik gücün PV maksimum gücüne oranı olarak genel PV pompa sistemi verimi
- ω : Açısal hız (rad/s)
- MPPT : Maksimum güç noktası izleme
- min : En küçük değer
- max : En büyük değer
- PV : Fotovoltaik güneş pili (veya paneli)
- p.u : birim değer (per unit)
- STC : Standart test koşulları (1000 W/m^2 25°C)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. a) PV üretim maliyeti değişimi.....	2
b) PV pazar payı değişimi.....	2
Şekil 1.2. a) PV'deki fotovoltaik enerji dönüşümü.....	3
b) PV prensip eşdeğer devresi.....	3
Şekil 1.3. PV'nin I-V Eğrisi.....	4
Şekil 1.4. Değişen ışınımlardaki I-V eğrileri.....	5
Şekil 1.5. Sıcaklığın PV'deki etkisi.....	5
Şekil 1.6. Tipik bir pompa motoru yükünün PV'deki çalışma noktaları.....	8
Şekil 2.1. PV eşdeğer devresi.....	12
Şekil 2.2. R yükünün PV'deki çalışma noktaları.....	14
Şekil 2.3. Örnek PV'nin I-V eğrisi (STC: 1000 W/m ² , 25 °C).....	16
Şekil 2.4. Referans model ve önerilen modele göre I-V eğrileri.....	18
Şekil 2.5. Referans model ve önerilen modele göre V-P eğrileri.....	18
Şekil 2.6. Her iki modele ait I _p -V _p eğrileri (STC için).....	21
Şekil 2.7. Siemens SM 55 kataloğundaki I-V eğrileri (SM 55 Catalog'dan).....	22
Şekil 2.8. Önerilen modelin gerçekle benzetişimi (SM 55 için).....	23
Şekil 2.9. Önerilen modelin test düzeneği ve bağlantı şeması.....	27
Şekil 2.10. Deneysel ve önerilen modelin s-I değişimleri.....	29
Şekil 2.11. Deneysel ve önerilen modelin I-V cevapları.....	29
Şekil 3.1. PV- DA motor pompa sistem örnekleri.....	33
a) Sabit mıknatıslı DA motor.....	33
b) Serbest uyarmalı DA motor.....	33
c) Seri uyarmalı DA motor.....	33
Şekil 3.2. PV pompa sisteminde güç akış diyagramı.....	36
Şekil 3.3. Tipik bir santrifüj su pompasının verim eğrisi.....	37
Şekil 3.4. Debi-pompa verimi değişimi.....	37
Şekil 3.5. Güç-debi değişimleri.....	38

Şekil 3.6. Farklı yüksekliklerde pompa motorunun I-V cevapları.....	39
Şekil 3.7. Örnek DA motor I-V ölçümlerinin fonksiyon modelleri.....	40
Şekil 3.8. Örnek sistemdeki DA motorun I-V cevabı.....	42
Şekil 3.9. DA motor modeline ilişkin bağıl hata değişimi.....	42
Şekil 3.10. PV-Pompa sistemi modeli ve güneş altı için I-V çalışma noktaları.....	44
Şekil 3.11. Model ve güneş altı güçler.....	45
Şekil 3.12. Sıcaklığın PV modeline etkisi.....	46
Şekil 4.1. Matlab- Simulink'deki PV pompa sistemi.....	48
Şekil 4.2. DA motorların normal çalışma noktaları.....	49
a) Sabit mıknatıslı DA motor.....	49
b) Serbest uyarmalı DA motor.....	49
c) Seri uyarmalı DA motor.....	49
Şekil 4.3. DA motorların değişen ışınımlardaki birim performans değişimleri.....	51
a) Giriş güçleri.....	51
b) Mekanik güçleri.....	51
c) PV'den faydalanma verimleri.....	51
d) Genel sistem verimleri.....	51
Şekil 4.4. DA motorların PV'de birim moment ve hız değişimleri.....	52
a) Moment değişimi.....	52
b) Hız değişimi.....	52
Şekil 4.5. Nominal değerlerin düşük ışınımına göre seçilmesi.....	53
a) Sabit mıknatıslı DA motor.....	53
b) Serbest uyarmalı DA motor.....	53
c) Seri uyarmalı DA motor.....	53
Şekil 4.6. Maksimum güç izleme algoritmaları.....	55
a) MPPT.....	55
b) V_s çalışma.....	55
Şekil 4.7. MPPT'li çalışmada PV ve motor tarafları.....	55
Şekil 4.8. MPPT, V_s ve normal çalışma için PV'de çalışma noktaları.....	59
Şekil 4.9. MPPT, V_s ve normal çalışmadaki birim performanslar.....	60
a) Giriş gücü değişimi.....	60
b) Mekanik güç değişimi.....	60

c) Faydalanma verimi.....	60
d) Sistem verimi.....	60
Şekil 4.10. MPPT, V_s ve normal çalışmadaki birim moment ve hız değişimi.....	61
a) Moment değişimi.....	61
b) Hız değişimi.....	61
Şekil 4.11. MPPT, V_s ve normal çalışmada D, I ve V.....	62
a) Işınımına göre çevirme oranları.....	62
b) PV ve motor gerilimleri.....	62
c) PV ve motor akımları.....	62
Şekil 4.12. MPPT, V_s ve normal çalışma için birim kalkış momentleri.....	63
Şekil 5.1. Seri ve serbest uyarmalı DA motorlu PV pompa sistemi.....	67
Şekil 5.2. Işınımına göre optimum K_m değişimi.....	67
Şekil 5.3. Doğal karakteriyle maksimum güç izlemeli sistem.....	68
Şekil 5.4. Işınımına göre optimum K_m ve K_{sis} değişimleri.....	70
Şekil 5.5. Önerilen sistem ile örnek sistemin PV'deki çalışma noktaları.....	71
Şekil 5.6. Önerilen sistem ve örnek sistem performansları.....	73
a) Birim giriş güçleri.....	73
b) Birim mekanik güçler.....	73
c) PV'den faydalanma verimleri.....	73
d) Sistem verimleri.....	73
Şekil 5.7. Önerilen sistem ve örnek sistem için birim moment ve hızlar.....	74
a) Birim moment değişimi.....	74
b) Birim hız değişimi.....	74
Şekil 5.8. Önerilen sistem ve örnek sistem birim kalkış momentleri.....	74
Şekil 6.1. Tek diyot modeli (referans model) ile önerilen PV modelin V_o tahmini için bağıl hataları.....	76
Şekil 6.2. Tek diyot modeli ile önerilen PV modelin I_m tahmini için bağıl hataları.....	76
Şekil 6.3. Tek diyot modeli ile önerilen PV modelin V_m tahmini için bağıl hataları.....	77
Şekil 6.4. Tek diyot modeli ile önerilen PV modelin P_m tahmini için bağıl hataları..	77
Şekil 6.5. Güneş altında ve model arası I sistem akımı için bağıl hata	

değişimi.....	78
Şekil 6.6. Güneş altında ve model arası V sistem gerilimi için bağıl hata değişimi...	78
Şekil 6.7. Güneş altında ve model arası P sistem giriş gücü için bağıl hata değişimi.....	78
Şekil A.1. Tezdeki PV modelinin MATLAB-Simulink'deki modeli.....	88
Şekil A.2. MATLAB-Simulink'deki sabit mıknatıslı DA motor.....	89
Şekil A.3. MATLAB-Simulink'de serbest uyarmalı DA motor.....	89
Şekil A.4. MATLAB-Simulink'deki seri uyarmalı DA motor.....	90
Şekil A.5. MATLAB-Simulink'deki tipik bir motor-pompa modeli.....	90
Şekil A.6. MATLAB-Simulink'deki MPPT'li sistem.....	91
Şekil A.7. MATLAB-Simulink'deki sabit V_s işletmeli sistem.....	91



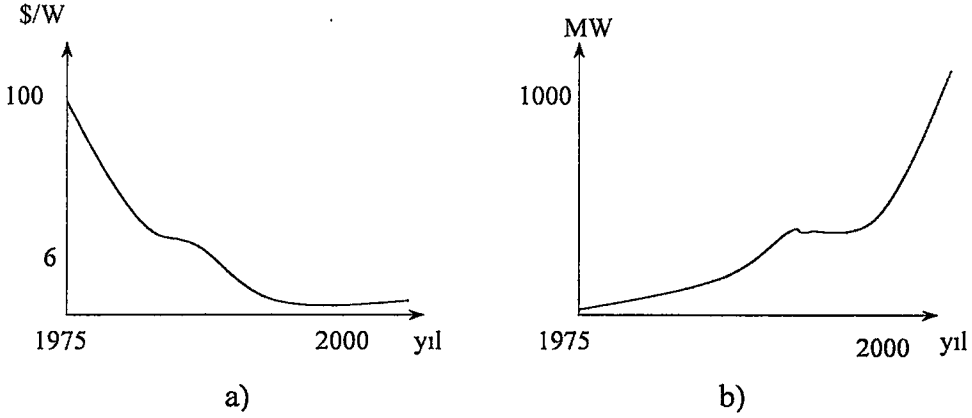
TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. I_g , V_o ve dolgu faktörü (FF) karşılaştırması.....	19
Tablo 2.2. I_m , V_m ve P_m karşılaştırması.....	19
Tablo 2.3. Referans ve önerilen model arasında bağıl hatalar.....	19
Tablo 2.4. SM 55'in STC'deki etiket verileri.....	27
Tablo 2.5. Ölçüm verileri.....	28
Tablo 2.6. Deneysel ve model cevapları.....	28
Tablo 3.2. Model ve güneş altı I-V değerleri.....	43
Tablo 3.3. Model ve güneş altı I ve V bağıl hataları.....	43
Tablo 3.4. Model ve güneş altı güçler.....	44
Tablo 4.1. Analizde kullanılan DA motorların özellikleri.....	47
Tablo 5.1. Örnek sistem ve önerilen sistem parametreleri.....	71

1.GİRİŞ

Enerji hayatımızın vazgeçilmez unsurlarından biridir. Enerji ihtiyacını karşılamaya yönelik yaygın olarak kullanılan kömür, petrol ve benzeri yer altı kaynaklarının zamanla tükenmesi, yıllar geçtikçe artan maliyetlerine bir de kullanımları sırasında üzerinde yaşadığımız doğal çevreye olan olumsuz etkileri (kirlenme, küresel ısınma vb.) eklendiğinde güneş, rüzgar gibi çevreyle barışık enerji kaynakları gündeme gelmektedir. Yenilenebilir ya da temiz enerji olarak bilinen bu kaynaklarla gerçekleştirilen güç uygulamaları, sınırlı performanslarına rağmen son yıllarda artmaktadır. Özellikle ulusal elektrik şebekelerinden uzak bölgeler ve yerel güç uygulamaları için yenilenebilir enerji, ekonomikliği nedeniyle tercih edilmektedir. Bu kaynakların başta geleni olan güneş, kullanımı en kolay ve diğer enerji kaynaklarının dolaylı veya dolaysız temelini oluşturan bir enerji kaynağıdır.

Güneş pili olarak da adlandırılan fotovoltaik güneş panelleri (PV) güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürürler. Ürettikleri elektrik enerjisi doğru akım (DA) karakterindedir. Günümüzde üretilen PV verimleri %5-10 gibi düşük seviyelerde olup ve performansları güneş ışığına bağlı olduğundan sürekli değildir. Bu nedenle görünen kapasitelerine göre PV sistemleri tek başlarına bir alternatif olmaktan ziyade bir destek enerji olarak kabul edilebilir. PV panelleri, doğal güneş ışığını kullanırlar. İşletim maliyetleri düşük olup, hareketli parçalardan arınmış olarak sessiz çalışırlar. Elektrik enerjisi üretim sürecinde zararlı atık üretmezler. Bu üstünlükleri, düşük verimlerine rağmen onlara olan ilgiyi koruyabilmektedir. Hatta PV üretim maliyetleri, ilk üretildiklerinde 100 \$/W 'dan fazla iken, yarıiletken teknoloji üretiminin gelişimiyle günümüze gelene kadar çok hızlı bir şekilde düşme göstermektedir. Günümüzde maliyetleri 6\$/W'ın altındadır. İleride bu rakamın daha da düşeceği beklenebilir. Eş zamanlı olarak 1975 itibariyle PV pazar payı neredeyse sıfırdan bugün 1000 Megawatt'ı aşmaktadır. Bu durum grafik olarak Şekil 1.1 ile verilmektedir (U.S.Dapartmant of Energy Raports 1995).



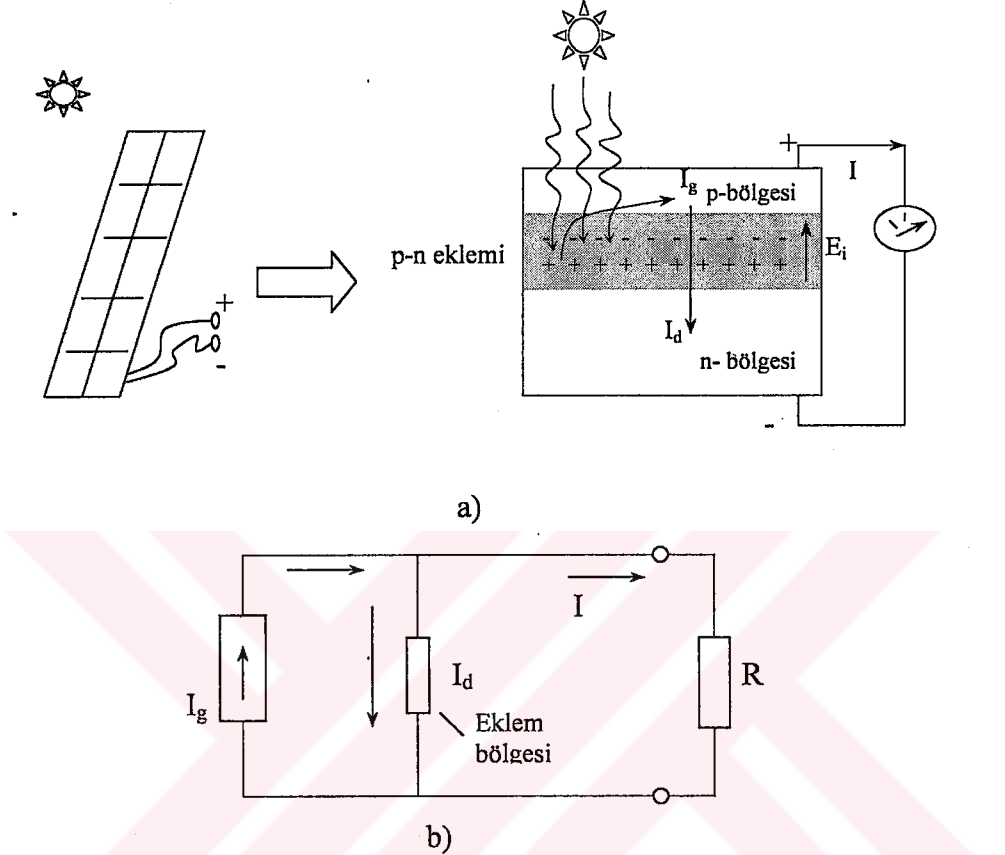
Şekil 1.1. a) PV üretim maliyeti değişimi
b) PV pazar payı değişimi

1.1.Güneş Pili (PV)

Tipik bir PV hücresi, ışığa duyarlı, ince, kalınlığına göre daha geniş yüzey alanlı p-n yarı iletken eklemli bir diyot gibidir. İstenilen güce ulaşmak için, PV sistemler seri ve paralel hücrelerin bir araya getirildiği paket moduller ve paneller halinde olabilmektedir. Enerji dönüşümü fotovoltaiik olaya dayanmaktadır. Fotovoltaiik olayda, ışık fotonları özellikle eklem bölgesine ulaştığında elektronlara çarparak serbest yük çiftleri oluşturur. Uyarılan negatif yüklü (-) her elektron, gerisinde pozitif yüklü (+) bir boşluk bırakır. Bu yük taşıyıcıları, eklemle kurulan doğal iç ters elektrik alanla (E_i) akım katkısı oluşturmak üzere çoğunlukta oldukları bölgelere sürülür. Doğal E_i alanı, fotonla enerji kazanan yük taşıyıcılarının hareketlerinde hangi tarafa eğilimli olduklarını ifade eden bir enerji engeli olarak düşünülebilir. Böylece fotonlarla üretilen (-) yüklü elektronlar n-bölgesinde, (+) yüklü pozitif taşıyıcılar p-bölgesinde toplanarak bir gerilim üretilmektedir(Rappaport 1959, Sıze 1969, Backus 1980, Takahashi and Konagai 1986, Treble 1991, Goswami 1999). Bu durum prensip olarak Şekil 1.2 (a) ile verilmektedir.

Işık uyarımı altındaki bir PV, ışınım şiddetine bağlı olarak daha büyük ters sızıntı akımı (I_g) üretmektedir. Üretilen I_g akımı PV uçlarında bir gerilim oluşturmaktadır. Diğer yandan üretilen gerilim, p-n eklemine ileri yönde uyardığından I_g akımına ters yönlü bir I_d diyot akımına da neden olmaktadır. Dış devreye aktarılacak I akımı

bu iki akımın farkı olmaktadır. Enerji dönüşüm sürecine uygun bir prensip eşdeğer devre (Şekil 1.2.b) ile tanımlanmaktadır.



Şekil 1.2.a) PV'deki fotovoltajik enerji dönüşümü

b) PV prensip eşdeğer devresi

Bir PV'nin akım-gerilim (I-V) karakteristiği denklem 1.1 ile ifade edilmektedir (Takahashi and Konagai 1986, Uyarel ve Öz 1987, Treble 1991, Goswami 1999).

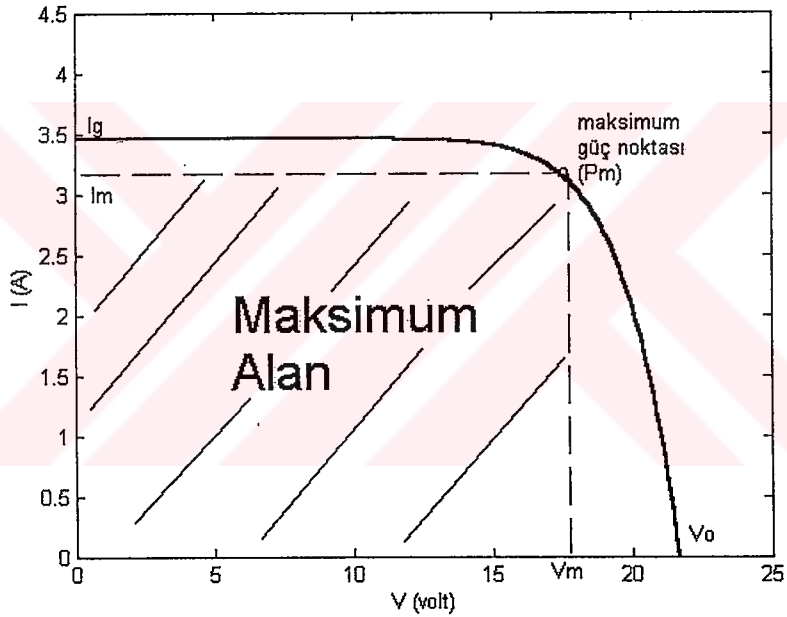
$$I = I_g - I_d = I_g - I_o \cdot \left(e^{\frac{qV}{nkT}} - 1 \right) \quad (1.1)$$

Burada, I_g ışık fotonlarıyla üretilen akım veya kısa devre akımı (A), I_o ters sızıntı akımı (A), I_d eklemdeki diyot akımı (A), q elektron yükü ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C.), k Boltzman sabiti ($1,38 \cdot 10^{-23}$), T mutlak sıcaklık (K^0), n diyot faktörüdür. Denklem 1.1'e göre I-V değişimi doğrusal olmayan bir karakteristiğe sahiptir. Bu yüzden herhangi bir yük direnci için, denklemde ($V=I \cdot R$) bağıntısı düşünüldüğünde I veya V terimi doğrudan çözülememekte ve bir iterasyon çözümü gerekmektedir.

Denklem 1.1'deki $V=0$ 'da PV kısa devre akımı, $I=0$ 'da PV açık devre gerilimi (V_o) tanımlanabilmektedir. Açık devre gerilimi denklem 1.2 ile verilmektedir.

$$V_o = \left(\frac{nkT}{q} \right) \cdot \ln \left[\frac{I_g + I_o}{I_o} \right] \quad (1.2)$$

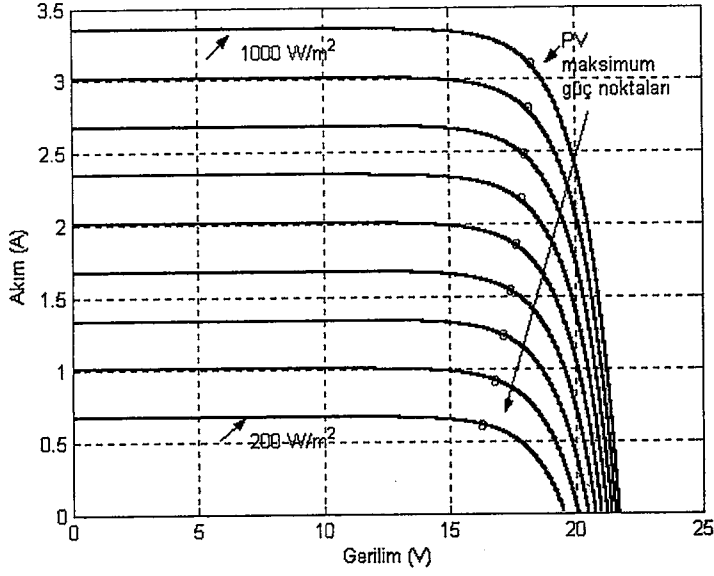
Şekil 1.3, tipik bir PV'nin herhangi bir ışınımdaki I-V eğrisidir. I-V eğrisinin altına sığabilecek maksimum dikdörtgen alanı maksimum gücü (P_m) verir. Maksimum güçteki akım I_m , gerilim ise V_m ile gösterilmektedir. Bir PV'nin dolgu faktörü (FF) ise denklem 1.3 ile tanımlanmaktadır.



Şekil 1.3. PV'nin I-V eğrisi

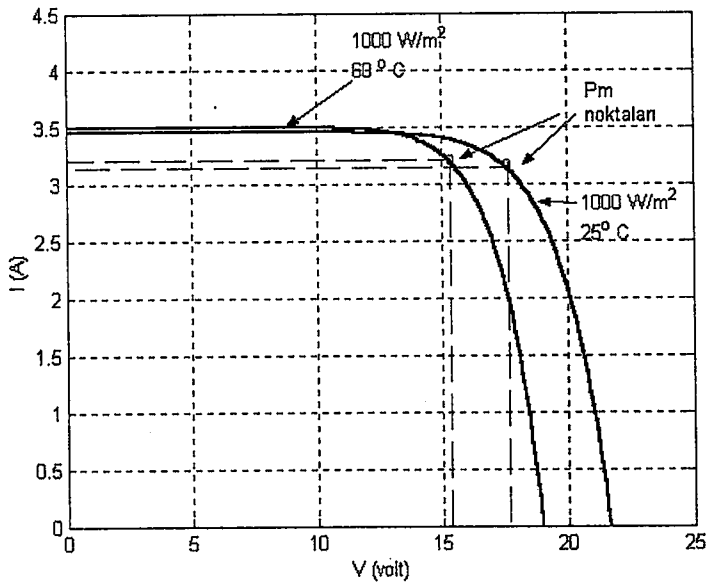
$$FF = \frac{V_m \cdot I_m}{V_o \cdot I_g} \quad (1.3)$$

Bir PV'nin I-V karakteristiği ışınım şiddeti (W/m^2) ile değişmektedir (Şekil 1.4). Böylece maksimum güç noktaları da ışınımla değişmektedir. Işınım kısa devre akımını doğrudan etkilemektedir. Açık devre gerilimi ise ışınımla daha düşük bir oranla (logaritmik) değişmektedir. Değişken ışınımlardaki PV performans tanımlamaları, PV güç sistem tasarımlarında önemli bir yer teşkil etmektedir.



Şekil 1.4. Değişen ışınımlardaki I-V eğrileri

PV performansına sıcaklık da etki etmektedir. Sabit bir ışınım altında, sıcaklık artışı kısa devre akımına çok az katkıda bulunurken açık devre gerilimini düşürmektedir. Her ne kadar denklem 1.2'ye göre T sıcaklığı ile I_g 'nin, V_o 'ı yükseltebileceği düşünülse de gerçekte sıcaklık, I_0 sızıntı akımını üstel olarak değiştirmekte ve desteklemektedir (Backus 1980). Sıcaklığın PV'ye olan etkisi, Şekil 1.5'de prensip olarak verilmektedir.



Şekil 1.5. Sıcaklığın PV'deki etkisi

1.2. PV Model Çalışmaları

PV sistemler verim ve performans açısından uygun şekilde tasarlanmalıdır. Çünkü PV'lerin genel verimleri düşük ve performansları güneş ışınımı ile fazlasıyla değişmektedir. Sistemler iyi optimize edilmediği takdirde düşük ışınımlarda performans çok düşmekte veya işlevselliğini kaybetmektedir. İstenilen güce ulaşmak için çok sayıda PV hücrelerinin bir araya getirildiği düşünüldüğünde, gereksiz maliyet artışları da söz konusu olabilir.

Uygulama alanı gözetilmeksizin sistem tasarımcıları ve araştırmacılar için öncelikle PV'lerin performans modeli tanımlamaları önemli bir konudur. Yapısı gereği tipik bir PV'nin çıkış gerilimi yük akımıyla doğrusal olmayan bir karakteristik göstermektedir. Güneş ışınımı ve sıcaklık çıkış karakteristiğini fazlasıyla etkilemekte ve PV'nin maksimum güç noktaları değişmektedir. Böylece değişen sıcaklık ve ışınım şartlarında PV cevabının tahmin edilmesi gerekmektedir. Genelde PV'nin performans modeli tek diyot denkleminin dayanan bir eşdeğer devre ile tanımlanmaktadır (Rappaport 1959, Sıze 1969, Backus 1980, Takahashi and Konagai 1986, Treble 1991, Goswami 1999). Ancak bu model, PV yapısına bağlı değişen ters sızıntı akımı, diyot faktörü ve iç dirençler gibi bazı özel parametrelerin bilinmesini gerektirmektedir. Her zaman bu parametrelere ulaşmak kolay olmamaktadır. Ayrıca, ticari amaçlı PV etiketlerinde özel parametre değerleri bulunmamaktadır. (SM Katalogları 2000). Bu amaçla, deneysel verilerden PV eşdeğer devre modelinin tanımlanması için özel çalışmalar yapılmaktadır (Chegaar et al. 2001, Ikegami et al. 2001, Blas et al. 2002). Ayrıca, PV'nin deneysel verilerine göre uygun fonksiyon tanımlamalarıyla (curve-fitting) da yaklaşık performans modeli tanımlanmaktadır (Alghuwainem 1997, Kıran ve İnan 1999). Bütün bu model yaklaşımları, numune PV üzerinde örneklenen ışınımlar altındaki deneysel çalışmalara ve sonrasındaki detaylı analizlere ihtiyaç duymaktadır.

1.3. Alternatif Bir PV Modeli

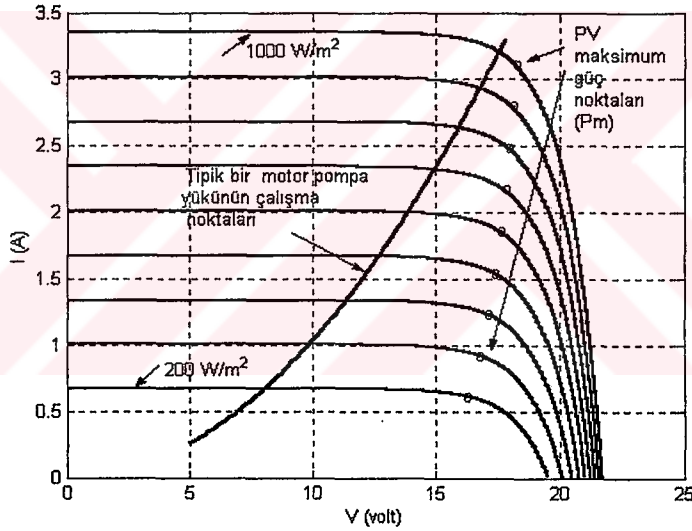
Eşdeğer devre modelinin ön gördüğü çalışmalardan arındırılmış alternatif bir PV modeli düşünülmektedir. Ticari amaçlı her PV'nin etiketinde açık devre gerilimi, kısa devre akımı, maksimum güçteki gerilim ve akım değerleri verilmektedir. Bu değerler standart test koşulları (STC : 1000 W/m² -25 °C) içindir. Tez çalışmasında önerilen PV modeli, sadece temel PV etiket değerlerini kullanarak farklı ışınım ve sıcaklıklarda performans tahmini sağlayabilmektedir. Özdemir (1991)'deki ölçüm raporlarında PV dolgu faktörleri (FF), değişen ışınımlarda yaklaşık olarak sabit kalmaktadır. Önerilen PV modeli sabit FF temeline dayanmaktadır. Bu model, yaygın olarak kullanılan, parametreleri temin edilmiş eşdeğer devre modeli ile karşılaştırılmaktadır. Aynı zamanda geçerliliği, PV'nin gerçek bir pompa sistemi üzerindeki cevaplarıyla test edilmektedir. Test edilen model, tezin sonraki aşamalarında PV modeli olarak ön görülmektedir.

1.4. PV Pompa Sistemi Çalışmaları

Başlıca fotovoltaik güç uygulamalarından biri de su pompa sistemleridir. Günümüzde hızla sanayileşen dünya, tarımsal gıda ve temiz suyun önemini geç de olsa farkına varmaya başlamaktadır. Bu temel ihtiyaçlarımızın temini için, çevre ile barışık PV-su pompa sistemleri yardımcı olabilir.

PV'lerin su pompa sistemlerinde kullanımı, diğer uygulama alanlarına (aydınlatma, soğutma vb) göre maliyet ve performans açısından daha çok uygun olduğu önerilmektedir (Jafar 2000, Badescu 2003). Sistem basitliği ve ara kayıplardan sakınılması açısından DA motorların kullanıldığı doğrudan bağlantı şekilleri tercih edilmektedir (Saied 1988, Appelbaum 1989, Saied and Jaboori 1989, Singer and Appelbaum 1993). Bu çalışmalar içinde Saied (1988) sezonluk maksimum mekanik enerji eldesi için optimum DA motor parametrelerini PV ve pompa yükü parametreleri cinsinden tanımlamaktadır. Benzer bir amaç ile uygun PV şekillendirme çalışmaları da Saied and Jaboori (1989) tarafından verilmektedir. Appelbaum and Sarma (1989) sabit mıknatıslı DA motorlu sistemlerin ayrık PV şekillendirmelerine göre performanslarını analiz etmektedirler. Benzer şekilde

Firatoğlu ve Yeşilata (2003) 'ün doğrudan bağlı PV pompa sistemi için uzun vadeli ölçümlere göre panel boyutlandırılmasını da içeren optimizasyon çalışması bulunmaktadır. Kolhe et al (2000) sabit mıknatıslı DA motorda ortalama maksimum enerji için optimum alan sabiti tanımını önermektedir. Sabit mıknatıslı DA motorlu PV pompa sisteminin belirli bir pompa yükündeki farklı ışınımlardaki model tanımlaması Suehrcke et al (1997) 'de irdelenmektedir. Bu sistemlerde genelde santrifüj pompalar kullanılmaktadır. Yukarıda sözü geçen çalışmalar, değişen ışınımlar için genel bazda en yüksek performansın alınmasına yönelik optimizasyonlar içermektedir. Oysa geniş bir ışınım aralığı için, PV'nin maksimum güç noktaları ile motor –pompa yükünün çalışma noktaları arasındaki uyum oldukça zordur (Şekil 1.6). Böylece doğrudan bağlı sistemlerde, değişen ışınımlarda PV'den maksimum şekilde faydalanma probleminin olması doğaldır.



Şekil 1.6. Tipik bir pompa motoru yükünün PV'deki çalışma noktaları

PV ile motor arasında maksimum güç aktarımı için DA-DA kıyıcı kullanımı ön görülmektedir (Saied et al 1991). Maksimum güç noktası tarayıcı (MPPT) aygıtı performans gelişimi için sistemlere dahil edilmektedir. Bir MPPT, PV ile motor arasında olup değişen ışınımlara göre maksimum güç aktarımı açısından motor girişlerini kontrol eden elektronik bir aygıttır. Singer and Appelbaum (1993) MPPT ile farklı DA motorlar üzerinde kalkış momentlerinde gelişme sağlandığını göstermektedir. Akbaba et al (1998) MPPT için sebest uyarımlı DA motorda uygun alan akımı değişimini tanımlamaktadır. MPPT aygıtlarındaki DA-DA kıyıcısının

verilen motor ve pompa yükü parametrelerine göre olan optimum çevirme oranlarının tanımlamaları Bachtiri (2000) ve Mummadi (2000)'de verilmektedir. Gerilim regülatörlerinin kullanıldığı sabit gerilimli bir sistem işletimi de bir maksimum güç noktası kontrol yöntemi olarak önerilmektedir (Morozono et al 1987, Hotopp 1989, Duschl 1993, Kislovski 1993, Bloos 2000). Sabit işletim gerilimi geniş bir ışınım aralığında PV'nin maksimum güç noktalarının yoğunlaştığı bölgeye karşılık gelen maksimum gerilimlerin optimum değeridir. Sabit gerilimli işletim, eş zamanlı MPPT kontrolü kadar olamasa bile yaklaşık olarak MPPT koşullarına %92 – 98 dolaylarında yaklaşma imkanı vermektedir (Bloos 2000).

PV su pompa sistemlerinde DA motorların kollektör ve fırçalarında zamanla oluşan aşınmalar, ek bakım gerektirmekte ve sistem işletiminde aksamalar oluşturabilir. Fırça kontaklarındaki güç kayıplarının yanında yüksek devirlerde fırça ve kollektörlerin daha hızlı aşınması, güvenli işletim açısından motor hız sınırlarının daralmasına neden olmaktadır (Langridge et al 1996, Metwally and Anis 1997). Bu durum pompa sistemlerinde istenmeyen bir durumdur. Alternatif olarak asenkron motorların kullanıldığı PV pompa sistemleri ele alınmaktadır (Alaçakır 1989, Alaçakır 1991, Eskander and Zaki 1997, Cherif and Jraidı 2001). Bu sistemlere da-ac çeviriciler de dahil edilmektedir. Anahtarlama kolaylıkları açısından elektronik komitasyonlu diğer bir deyim ile fırçasız DA motorlu sistem çalışmaları bulunmaktadır (Langridge et al 1996, Singh et al 1998, Bloos 2000, Chacko et al 2000). Daha basit yapı içeren rotoru sargısız anahtarlama relüktans motorlar da bir tercihtir (Metwally and Anis 1997). MPPT algoritmaları, fırçasız motorlu sistemlerde elektronik sürücü aygıtları ile birlikte yapılmaktadır. Bu uygulamalarda kontrol aygıtı ve sürücülerin sisteme ek maliyet ve karmaşa getirdiği göz önüne alınmalıdır.

PV pompa sistemleri akü destekli de olabilir. Al-Ali et al (2001), akü destekli ve bir programlanabilir mantık denetleyicili (PLC) PV sulama sistemi uygulaması önermektedir. Borowy and Salameh (1994), Al- Karaghoulı and Al-Sabounchi (2000), Joyce et al (2001) gibi bazı çalışmalarda akü kullanılmaktadır. Akü ile güneş ışınımının olmadığı veya yetersiz kaldığı durumlarda sistem işletiminin sürekliliği hedeflenmektedir. Alaçakır ve Erişti (1994)'deki test projesindeki akülü sistemde 0.03 \$/m³ dolaylarında maliyet artışı saptamaktadır. Oysa hedef su temini ise, küçük

ölçekli su pompa sistemlerinde sistem ara kayıpları ve ek maliyetlerden sakınılarak basit yapıli sistemler ile gün boyunca su tanklarda biriktirilebilir. Depolama tanklarının kullanıldığı ve tankta su giriş-çıkışlarının beraber düşünöldüğü bir PV pompa sisteminin zamana bağıli modeli Badescu (2003)'de verilmektedir.

PV sistemlerindeki pompalar, verim,maliyet ve güvenilirlik açısından genelde dalgıç tipi santrifüj pompa şeklindedir. 0-20 m'lik yükseklikler için santrifüj dalgıç tipi pompalar kullanılmaktadır. Çok yüksek derinlikler için (20-100m ve üstünde) pistonlu Jack pompaları tercih edilmektedir. Jack pompaları, pistonun her hareketinde yüksek miktarda su basabilmektedir. Ancak bunların sürdüğü motorlar yüksek akım gerektirdiğinden akülerle birlikte kullanılmaktadır (Goswami et al 1999). Göl veya deniz kenarının çok yakınına genelde sulama amaçlı su temini için yüzer tip pompalar da tercih edilebilmektedir (Kıran 2002, Intermediate Tech. Development Group 2003).

Sistem verimi ve performans açısından, doğrudan bağıli sistemler değışen ışınım seviyelerinde PV'den maksimum faydalanamamaktadır. Elektronik sürücü aygıtlarını kullanan pompa motorlu ve MPPT destekli sistemlerde, PV geniş bir ışınım aralığında maksimum güç aktarımı yapabilmektedir. MPPT kontrol algoritması ve tasarımı performasta belirleyicidir . Hızlı ışınım değışmeleri MPPT için bir problem olup eş zamanlı kontrol yeteneklerini geliştirici çalışmalar güncelliğini korumaktadır (Altas and Sharaf 1996, Kuo et al 2001, Tse et al 2001, Hua and Lin 2003).

1.5. PV Pompa Sistemleri İçin Alternatif Bir Yaklaşım

Yapısal şekli doğrudan bağıli sistem kadar basit, performansı MPPT'li kadar yüksek olan alternatif PV pompa sistemi yaklaşımları düşünölebilir. Sistemde, bir PV boyutu için, pompa motoru optimizasyonu yapılarak önerilen PV pompa sistemi, kontrol aygıtı kullanmadan tamamen kendi yapısal karakteriyle, ışınım ile değışen PV maksimum güç noktalarında çalışma eğilimindedir. Buradaki DA motor, seri ve serbest uyarma sargılarına sahiptir. Motor akısı ve böylece moment sabiti, MPPT koşullarına uygun olarak sistemin yapısal özelliğıyle ışınım ile değışmektedir. Bu değışimde PV'nin ışınımına göre olan cevabı, baş rol oynamaktadır. Böylece MPPT

için değişen ışınımlara karşı sistemin adaptasyonundaki eş zamanlık problemi en kısa yolla aşılabilmektedir. Çünkü pompa sisteminin güç kaynağı olan PV, ışınım değişmelerinden öncelikle etkilenebilecek eleman durumundadır. PV'nin bu özelliği, sistemin otokontrolünde kullanılmaktadır.

PV pompa sistemlerinin bilgisayar ortamındaki modelleri, analiz ve topolojiler için oldukça faydalıdır. Gupta and Chandrashekar (1995), Lawrance and Troster (1992)'deki çalışmalar modelleme üzerine yöneliktir. Bu tezde ise Matlab-Simulink ortamında PV pompa sistem modelleri hazırlanmaktadır. Böylece farklı seçeneklerdeki PV pompa sistemlerinin performans analizleri yapılabilir. Tezde geliştirilen PV modeli ve önerilen PV sistem yaklaşımları da Matlab-Simulink ortamında tanımlanmaktadır.

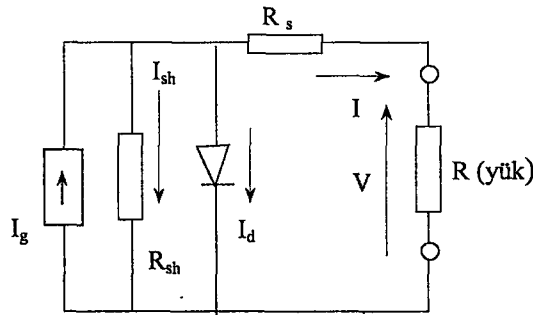
Tezin ilk bölümlerinde, PV model çalışmaları ve önerilen alternatif modelin geçerliği araştırılmaktadır. Model çalışmaları örnek olarak SM55 Siemens PV paneli üzerinde yapılmaktadır. 3. Bölümde, tipik bir PV pompa sisteminin temel performans tanımlamalarına yer verilmektedir. Pompa sistemi, santrifüj tip olarak ön görülmektedir. Önerilen alternatif PV modeli ve pompa sistemi için tanımlanan performans modeli, güneş altındaki gerçek bir PV pompa sistemi üzerindeki deneysel çalışmalarla test edilmektedir. Test edilen model çalışmaları baz alınarak, sonraki bölümlerde direk bağlı sistemlerdeki DA motor tiplerinin performanstaki rolleri, maksimum güç izlemeli sistemlerin kontrol algoritmaları ve performansa olan katkıları analiz edilmektedir. Önerilen alternatif yaklaşımla optimize edilen bir PV pompa sisteminin prensipleri ve normal sistemlere göre olan performans gelişimindeki yeri analiz sonuçlarıyla birlikte verilmektedir.

2. GÜNEŞ PANELİ (PV) MODELİ

Bu bölümde, tez çalışmasının önemli ve başta gelen elemanı olan güneş paneli (PV)'nin elektriksel performans tanımlamalarına yönelik model ve analiz sonuçlarına yer verilmektedir. Önerilen alternatif bir model, çalışmalarda yaygın olarak kullanılan tek diyot modeli ile karşılaştırılmaktadır. PV'nin maksimum güç noktaları, geniş bir ışınım aralığında tespit edilmektedir. Çalışmalar örnek olarak SM55 tip Siemens güneş pili (veya paneli) için yapılmaktadır.

2.1. Referans Model (Tek Diyot Modeli)

Bir güneş pilinin(hücre,modül,panel) akım –gerilim(I-V) karakteristiği ve bu eğriden çıkarılabilecek güç tanımlamaları için, yaygın olarak tek diyot (single exponent equation) modeli kullanılmaktadır (Rappaport 1959, Sıze 1969, Backus 1980, Takahashi and Konagai 1986, Appelbaum 1989, Treble 1991, Borowy and Salameh 1994, Gupta and Chandrashekar 1995, Suehrcke et al 1997, Akbaba et al 1998, Goswami 1999, Kolhe et al 2000, Ikegami et al. 2001, Joyce et al 2001, Blas et al 2002). Bu modelin dayandığı eşdeğer devre prensip olarak Şekil 2.1'dedir. Eşdeğer devrede PV, ışığa göre değişen bir akım kaynağı gibi davranmaktadır. I-V ilişkisi ise denklem 2.1 ile verilmektedir.



Şekil 2.1. PV eşdeğer devresi.

$$I = I_g - I_d - I_{sh} = I_g - I_o \left(e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT}} - 1 \right) - \frac{V + I.R_s}{R_{sh}} \quad (2.1)$$

Burada,

I_g : Işık fotonlarıyla üretilen akım veya kısa devre akımı (A)

I_o :Ters sızıntı akımı (A)

I_d : Eklemdeki diyot akımı (A)

I_{sh} : Paralel kol direncinden geçen akım (A)

R_{sh} : Paralel kol direnci (ohm)

R_s : Seri direnç (ohm)

q : Elektron yükü ($1,6 \cdot 10^{-19}$ c.)

k : Boltzman sabiti ($1,38 \cdot 10^{-23}$)

T : Mutlak sıcaklık (K^o)

n : Diyot faktörü

I : Yük akımı (A)

V : Çıkış gerilimi (V)

R : Yük direnci (ohm)

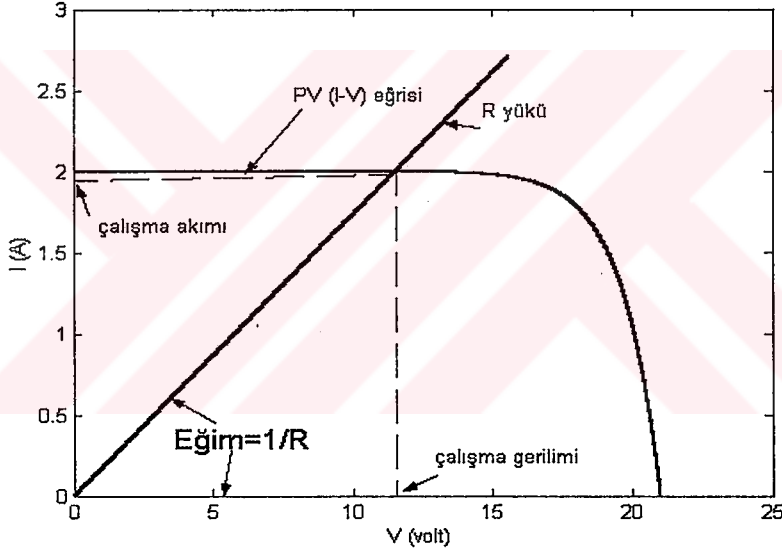
Farklı ışınımlardaki analiz için, STC'deki I_g terimi, ilgili ışınının 1000 W/m^2 'ye olan oranıyla(s) çarpılmaktadır.(1000 W/m^2 için $s=1$ birim(pu)). Denklem 2.1.'de R_s ve R_{sh} parametrelerinin etkisi çoğu zaman ihmal edilerek analiz kolaylığı için denklem basitleştirilmektedir. Bu çerçevede oluşan gerilim ifadesi denklem 2.2'dedir.

$$V = \left(\frac{nkT}{q} \right) \cdot \ln \left[\frac{I_g \cdot s - I}{I_o} + 1 \right] \quad (2.2)$$

Denklem 2.2 kullanılarak herhangi bir ışınımdaki I-V eğrisi için, I terimi ($0-I_g \cdot s$) aralığında belirli adımlar halinde alınmaktadır. Her adım için V değerleri hesaplanır. $V=0$ 'da, I kısa devre akımıdır ($I=I_g \cdot s$). $I=0$ 'daki V değeri açık devre gerilimini (V_o) vermektedir.

$$V_o = \left(\frac{nkT}{q} \right) \cdot \ln \left[\frac{I_g \cdot s}{I_o} + 1 \right] \quad (2.3)$$

PV'nin herhangi bir R direnç yükündeki I-V değer çifti, denklem 2.2 için yapılan iterasyonda $R=V/I$ ifadesinin sağlanmasıyla gerçekleşir. Diğer bir deyişle bir R yükündeki PV'nin akım ve gerilimi, eğimi $1/R$ olan ve orjinden geçen doğrunun, PV'nin I-V eğriyle kesiştiği noktanın koordinatlarıyla tanımlanır.(Şekil 2.2). Bu koordinatlardan, gerilimin yatay eksende , akımın ise düşey eksende olduğu ön görülmektedir. PV cevabı için, yapılan bu analitik yaklaşım, tamamen denklem 2.2'nin doğrusal olmayan karakteristik özelliğinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca bu karakteristik ışınım ile da değişmektedir.



Şekil 2.2. R yükünün PV'deki çalışma noktaları.

Herhangi bir ışınım ve yükteki PV gücü (P) ise denklem 2.4 ile tanımlanmaktadır. Maksimum güç (P_m) ise oluşan I-V eğrisinin altına sığabilen en büyük dikdörtgen alanıdır ve denklem 2.5 ile verilmektedir. P_m 'yi veren gerilim V_m ile, akım ise I_m ile gösterilmektedir.

$$P = V \cdot I \quad (2.4)$$

$$P_m = V_m \cdot I_m \quad (2.5)$$

Tek diyot modeliyle I-V eğrisini belirlemek için ilgili güneş piline ait özel I_0 ve n parametrelerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu parametreler genelde üretici firma kataloglarında yoktur. I_0 sızıntı akımı hassas bir ölçüm olanakları varsa da ölçülebilir. Ayrıca değişen sıcaklıklara göre, I_0 teriminin yeni değerleri, analizde göz önünde tutulmalıdır. Çünkü I_0 , sıcaklıkla üstel olarak değişmektedir (Loferski 1956, Backus 1980).

$$I_0 \approx e^{-\frac{E_g}{kT}} \quad (2.6)$$

Denklem 2.6'da E_g terimi, PV yarı iletkeninin enerji aralığını (bant genişliği) göstermektedir.

Bir PV'ye ait tek diyot modeli için gereken bazı parametre değerleri, Mr. J. Appelbaum'dan (özel görüşme (private communication)-Tel Aviv University) temin edilmektedir. Buna göre PV modülünün 1000 W/m^2 , $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'lik standart test koşulları (STC) altındaki bazı parametre değerleri aşağıdadır:

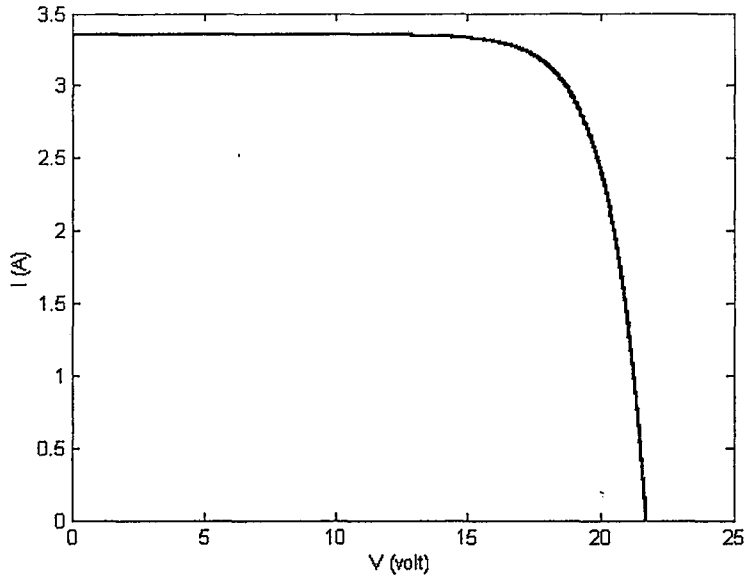
$$I_g = 3.351 \text{ A,}$$

$$I_0 = 0.301 \cdot 10^{-6} \text{ A,}$$

$$n = 52.08$$

$$T = 298 \text{ }^\circ\text{K}$$

Yukarıdaki parametre değerleri denklem 2.2'ye uygulanmasıyla oluşan PV'nin STC'deki I-V eğrisi Şekil 2.3'tedir. STC için s terimi, 1 pu olarak alınmaktadır. Şekil 2.3'den çıkarılabilecek V_o , I_g , V_m ve I_m terimleri, PV etiketinde STC için verilen değerlerle uyumlu olmaktadır. Bu sebepten tek diyot modeli, gerek PV çalışmalarında yaygın olarak kullanılması, gerekse PV etiket değerlerini sağlaması nedeniyle, önerilen alternatif modelin taban çalışmasında referans model olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.3. Örnek PV'nin I-V eğrisi (STC:1000 W/m², 25 °C).

Parametreleri tek diyot modeline göre tanımlanmış, N_s kadar seri ve buna N_p kadar paralel bağlı paket PV'lerden oluşan sistemin akım-gerilim (I_p - V_p) ilişkisi denklem 2.7 ile verilmektedir.

$$I_p = N_p \cdot I_g \cdot s - N_p \cdot I_o \left(e^{\frac{qV_p}{N_s n k T}} - 1 \right) \quad (2.7)$$

2.2. Önerilen Model

2.2.1. Referans modelle uyumlu model

Önerilen model, bir PV 'nin sadece etiket değerlerinden yola çıkılarak tek diyot modeliyle uyumlu I-V eğrilerini tanımlamaya yöneliktir. PV etiketlerinde V_o , I_g (veya kısa devre akımı) ve maksimum güç noktasındaki gerilim (V_m), akım (I_m) değerleri STC için verilmektedir.

Tek diyot modeliyle STC için tanımlanan veya kataloglarda STC için verilen I-V eğrisi, tipik olarak denklem 2.8 ile de tanımlanabilir. PV etiket değerleri, denklem 2.8'de $s=1$ pu olarak alındığında gerçekleşmektedir.

$$I = I_{gst} \cdot s - C_m \cdot V^c \quad (2.8)$$

$$C_m = \frac{I_{gst}}{V_{ost}^c} \quad (2.9)$$

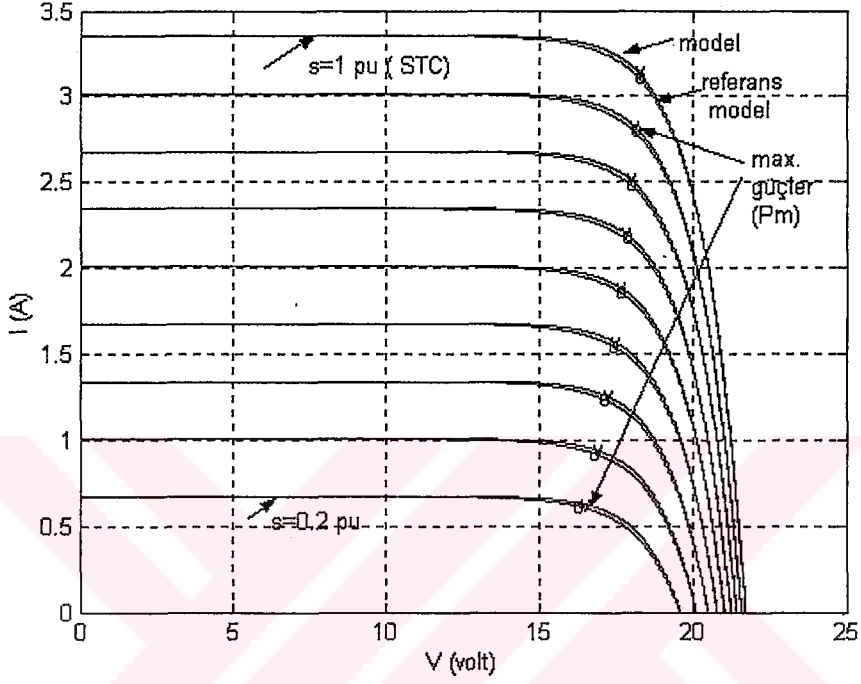
Yazılmakta olan model denklemlerindeki st indisi, ilgili terimin PV etiketindeki standart değerini ifade etmektedir. Denklem 2.8'deki c üssü, bu denklemin bir önceki bölümde sözü geçen referans modelin I-V eğrisine olan uyumu için belirleyici bir katsayıdır. Öncelikle STC'de (s=1 pu), referans modeldeki I_g ve V_o sınır koşulları, denklem 2.8 ile de sağlanmaktadır. Bu iki modelin uyumunda, diğer bir ortak noktanın maksimum güç noktaları (V_m, I_m) olması gerektiği düşünülmektedir. Bunun için maksimum güç koşulları, denklem 2.8 üzerine uygulandığında denklem 2.10 elde edilmektedir. Bu denklemin sonunda, V ve I terimleri yerine bunların maksimum değerleri yazılabilir.

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(V \cdot I)}{dV} = I + V \cdot \left(\frac{dI}{dV} \right) = I_{mst} - \left(\frac{I_{gst}}{V_{ost}^c} \right) \cdot c \cdot (V_{mst}^c) = 0 \quad (2.10)$$

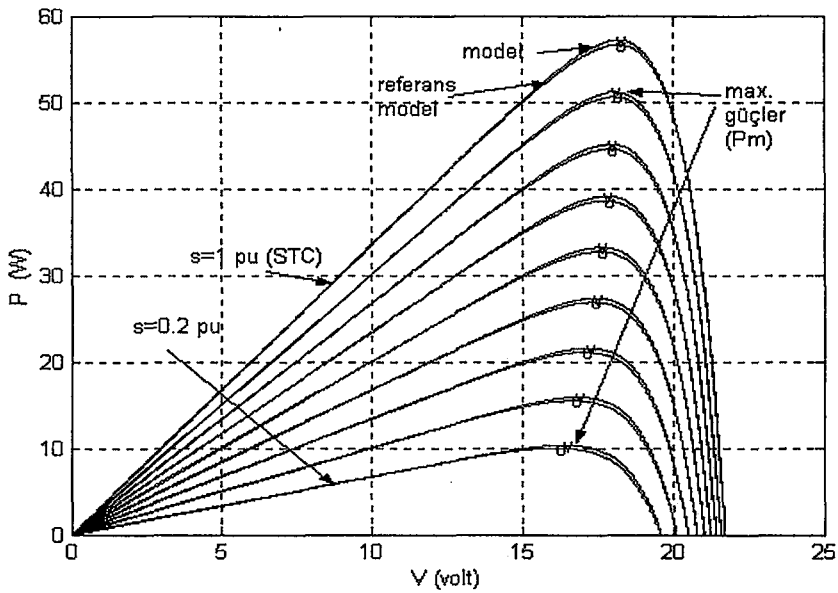
Denklem 2.10'da referans modelin STC'deki (1000 W/m^2 25°C , s=1 pu) I_g , V_o , I_m ve V_m terimleri, etiket değerleri olarak yerlerine yazılıp, bu denklemi sağlayan c değeri bilgisayar yardımıyla iterasyonla çözülmektedir. Önceki kısımda parametreleri verilen örnek PV için, bu c değeri 15,6420 olarak bulunmaktadır. Böylece denklem 2.8 ile verilen alternatif model ile PV'nin farklı ışınımlardaki I-V eğrileri tanımlanabilmektedir. Dikkat edilirse model, sadece STC için verilebilecek PV etiket değerlerini kullanmaktadır. Bu modelin verdiği herhangi bir ışınım altındaki açık devre gerilimi ($V_o(s)$), denklem 2.8'de $I=0$ yerine yazılarak bulunabilmektedir.

$$V_o(s) = \left(\frac{I_{gst} \cdot s}{C_m} \right)^{\frac{1}{c}} = s^{\frac{1}{c}} \cdot V_{ost} \quad (2.11)$$

Aynı PV için denklem 2.8'e dayanan önerilen model, referans model olarak alınan ve ilgili parametreleri temin edilmiş tek diyot modeli ile karşılaştırılmaktadır. Örneklenen ortak ışınım seviyelerinde, her iki modelin I-V eğrileri Şekil 2.4'de, V-P eğrileri ise Şekil 2.5'de verilmektedir. Işınım, 0.2-1 pu aralığında örneklenmektedir.



Şekil 2. 4. Referans model ve önerilen modele göre I-V eğrileri.



Şekil 2. 5. Referans model ve önerilen modele göre V-P eğrileri.

Referans model ve önerilen modelin karşılaştırılmasındaki ayrıntılı veriler ise Tablo 2.1, Tablo 2.2 ve Tablo 2.3 ile verilmektedir.

Tablo 2.1. I_g , V_o ve dolgu faktörü (FF) karşılaştırması.

s (pu)	I_g (A)		V_o (V)		FF	
	Ref. model	önerilen model.	Ref. model.	önerilen model	Ref. model	önerilen model.
0.2	0.6702	0.6702	19.5647	19.5955	0.7611	0.7853
0.3	1.0053	1.0053	20.1075	20.1101	0.7655	0.7853
0.4	1.3404	1.3404	20.4926	20.4834	0.7685	0.7853
0.5	1.6755	1.6755	20.7913	20.7777	0.7708	0.7853
0.6	2.0106	2.0106	21.0353	21.0213	0.7726	0.7853
0.7	2.3457	2.3457	21.2417	21.2295	0.7742	0.7853
0.8	2.6808	2.6808	21.4204	21.4115	0.7755	0.7853
0.9	3.0159	3.0159	21.5781	21.5733	0.7766	0.7853
1	3.3510	3.3510	21.7191	21.7191	0.7776	0.7853

Tablo 2.2. I_m , V_m ve P_m karşılaştırması.

s (pu)	I_m (A)		V_m (V)		P_m (W)	
	Ref. model	önerilen model.	Ref. model.	önerilen model	Ref. model	Önerilen model
0.2	0.6188	0.6299	16.1273	16.3721	9.9796	10.3128
0.3	0.9304	0.9449	16.6313	16.8011	15.4738	15.8754
0.4	1.2425	1.2599	16.9898	17.1125	21.1098	21.5601
0.5	1.5550	1.5748	17.2678	17.3592	26.8515	27.3373
0.6	1.8677	1.8898	17.4961	17.5624	32.6774	33.1894
0.7	2.1807	2.2047	17.6885	17.7369	38.5734	39.1045
0.8	2.4938	2.5197	17.8561	17.8886	44.5295	45.0739
0.9	2.8072	2.8347	18.0030	18.0236	50.5382	51.0915
1	3.1207	3.1496	18.1349	18.1458	56.5935	57.1520

Tablo 2.3. Referans ve önerilen model arasındaki bağıl hatalar

s (pu)	Hata I_g	Hata V_o	Hata I_m	Hata V_m	Hata P_m	Hata FF
0.2	0	0.0016	0.0179	0.0152	0.0334	0.0318
0.3	0	0.0001	0.0156	0.0102	0.0260	0.0258
0.4	0	0.0004	0.0140	0.0072	0.0213	0.0218
0.5	0	0.0007	0.0127	0.0053	0.0181	0.0188
0.6	0	0.0007	0.0118	0.0038	0.0157	0.0163
0.7	0	0.0006	0.0110	0.0027	0.0138	0.0143
0.8	0	0.0004	0.0104	0.0018	0.0122	0.0126
0.9	0	0.0002	0.0098	0.0011	0.0109	0.0112
1	0	0.0000	0.0093	0.0006	0.0099	0.0099

Referans model ile önerilen modelin karşılaştırılmasındaki analiz sonuçlarına göre, önerilen model referans modele oldukça uyum göstermektedir. Her iki model için

de aynı I_g akımları kullanılmaktadır. Geniş bir ışınım aralığında, hatalar çok düşük seviyelerdedir. Önerilen model, sadece STC'deki PV etiket değerlerine dayanarak, referans model yerine kullanılabilir. Tablo 2.1'deki önerilen modelin dolgu faktörü (FF) değerleri, ışınım değişmelerine karşı sabittir. Oysa önerilen model sabit FF temeline dayanmaktadır. Özellikle Özdemir (1991)'de yer alan EİE güneş pili ölçüm raporlarında, FF değerleri değişen ışınımlarda yaklaşık olarak sabit kalmaktadır. Bu düşünce Mr. Appelbaum (özel görüşme) tarafından da kabul görmektedir.

Önerilen modeldeki FF terimlerinin sabit kalması, denklem 2.8'deki sabit bir C_m ve c terimiyle sağlanmaktadır. C_m katsayısı, denklem 2.9'a göre tamamen PV etiket değerlerini içermektedir. Herhangi bir ışınım için, denklem 2.8'e maksimum güç koşulları ($(dP/dV)=0$) uygulanmasıyla oluşan I_m terimi, denklem 2.12 ile tanımlanmaktadır.

$$I_m = C_m \cdot c \cdot (V_m^c) \quad (2.12)$$

Denklem 2.12 denklem 2.8'deki I terimi yerine yazıldığında, oluşan gerilim s ışınımındaki maksimum gerilimi ($V_m(s)$) vermektedir. Bu ifade denklem 2.13'tedir.

$$V_m(s) = \left(\frac{I_{gst} \cdot s}{(c+1) \cdot C_m} \right)^{\frac{1}{c}} \quad (2.13)$$

Denklem 2.13, denklem 2.8'de V terimi yerine tekrar yazıldığında, s ışınımına bağlı maksimum akım ($I_m(s)$) tanımlanabilmektedir.

$$I_m(s) = I_{gst} \cdot s - C_m \cdot \left[\left(\frac{I_{gst} \cdot s}{(c+1) \cdot C_m} \right)^{\frac{1}{c}} \right]^c = I_{gst} \cdot s \cdot \left(1 - \frac{1}{c+1} \right) \quad (2.14)$$

Önceki bölümde denklem 1.3 ile verilen FF, denklem 2.8 tabanında tekrar tanımlandığında oluşan denklem 2.15'tedir.

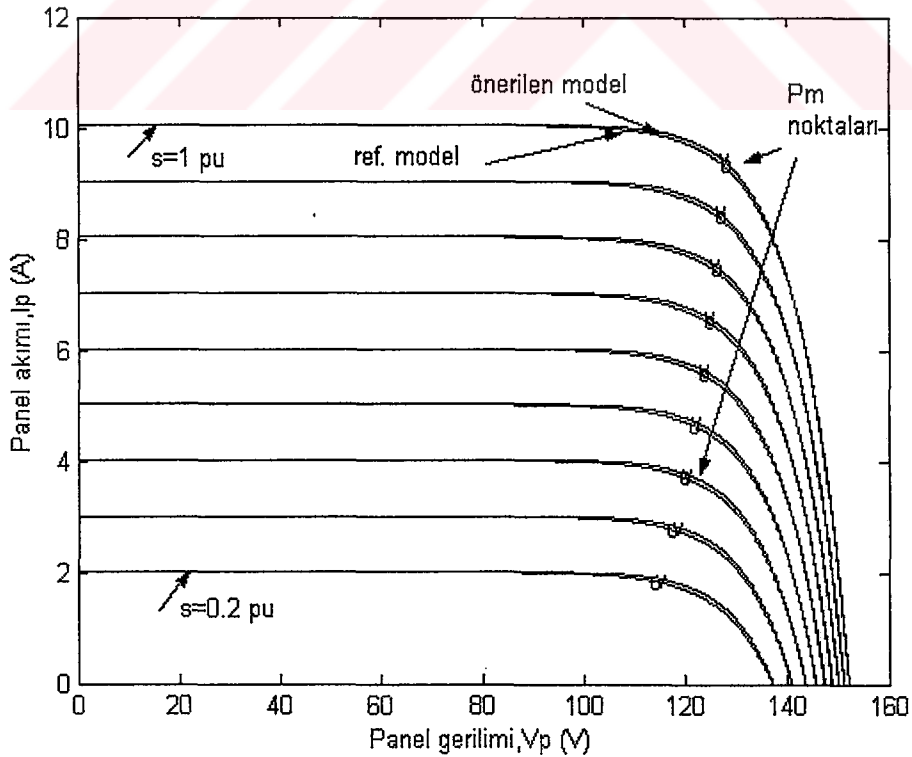
$$FF(s) = \frac{I_m(s) \cdot V_m(s)}{(I_{gst} \cdot s) \cdot V_o(s)} = \left(\frac{1}{c+1} \right)^{\frac{1}{c}} - \left(\frac{1}{c+1} \right)^{\frac{1}{c+1}} \quad (2.15)$$

Denklem 2.15'in sonucu s ışınımından bağımsız olup sadece etiket değerlerinden bulunan katsayıları içermektedir. Bu durum, önerilen modelin sabit FF temeline dayandığını matematiksel olarak ispatlamaktadır.

Önerilen modele göre, N_s kadar seri ve buna N_p sayısı kadar paralel bağlı PV'lerden oluşan sistemin akım- gerilim (I_p - V_p) ilişkisi denklem 2.16 ile verilmektedir.

$$I_p = N_p \cdot I_{gst} \cdot s - \frac{N_p}{N_s^c} \cdot C_m \cdot V_p^c \quad (2.16)$$

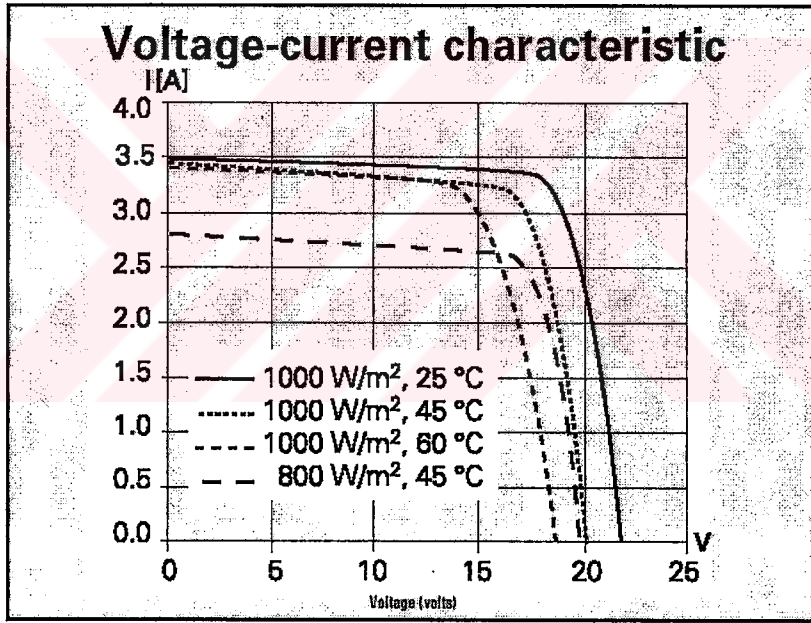
Denklem 2.16 ile referans modele ait denklem 2.7'nin aynı ışınım seviyelerindeki I_p - V_p eğrileri, örnek olarak $N_s=7, N_p=3$ için tanımlandığında, oluşan her iki modele ait eğriler Şekil 2.6'dadır.



Şekil 2.6. Her iki modele ait I_p - V_p eğrileri (STC için)

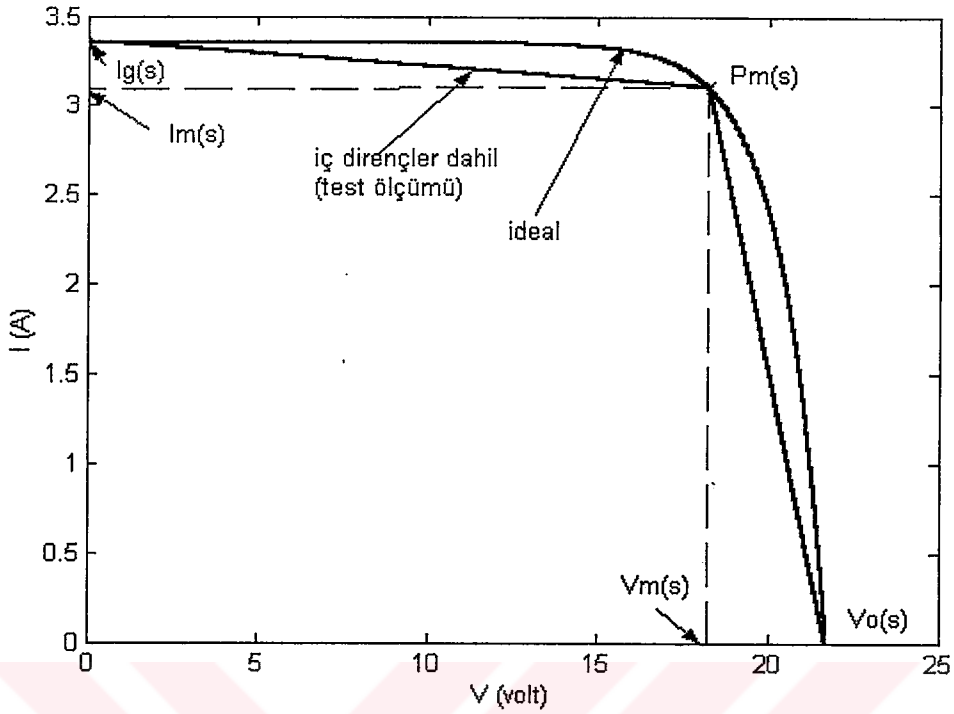
2.2.2. Gerçekle uyumlu basitleştirilmiş model

Bir önceki kısımdaki önerilen modelin referans model ile karşılaştırılması ve analizlerinde PV kontak dirençleri ve yüke bağlı hattın direnci göz önünde tutulmamaktadır. Ancak bu modellerin ön gördüğü sınır koşulları (V_o ve I_g) ve maksimum güç koşulları, PV etiket değerleriyle uyum halindedir. STC'deki PV kataloglarında yer verilen I-V ölçüm eğrisi, gerek referans model gerekse önerilen modelin eğrilerine göre daha keskin bir karakteristiğe sahiptir. Test çalışmalarındaki PV kontak dirençleri, doğal olarak sisteme dahil olduğundan, ölçüm verilerindeki bu ince farklılık normaldir. Test çalışmalarından çıkarılmış I-V eğrisi, örnek olarak Siemens SM 55 güneş paneli için Şekil 2.7 ile verilmektedir (SM 55 Katalogları).



Şekil 2.7. Siemens SM 55 katalogundaki I-V eğrileri (SM 55 Catalog'dan).

Şekil 2.7'deki I-V eğrilerinde, akımın kısa devre akımından maksimum güç noktasına (eğrideki büküm noktası) kadar olan azalması, model eğrilerine göre daha belirgin ve keskin olmaktadır. Bu duruma, PV eklem kenarlarında şekillendirilmiş kontak direncinin neden olduğu düşünülmektedir. Eğrinin kısa devre akımı ile açık devre gerilimi arasındaki bölgesinde, PV performans tanımlamalarının daha gerçekçi olması için Şekil 2.8 ile verilen bir prensip yaklaşım ön görülmektedir. Bu yaklaşım, yine bir önceki kısımdaki önerilen model üzerinde yapılmaktadır.



Şekil 2.8. Önerilen modelin gerçeğe benzetişimi (SM 55 için)

Şekil 2.8’de ideal olarak adlandırılan I-V eğrisi, önerilen modele göre tanımlanmış olsun. Şekildeki daha keskin eğri (iç direncin olduğu eğri) ise Şekil 2.7’deki katalog eğrisine daha yakındır. Her iki eğrinin de sınır ve maksimum noktaları aynıdır. Keskin karakterli eğri, önerilen model tabanında tanımlanabilmektedir. Bilindiği gibi önerilen model, herhangi bir ışınım seviyesinde sabit FF öngörüsü yapmakta ve sadece STC’deki etiket değerlerini kullanmaktadır. Böylece herhangi bir ışınımında, Şekil 2.8’deki gerçeğe uyumlu olan eğrinin önemli sınır noktaları ($I_g(s)$, $V_o(s)$, $I_m(s)$ ve $V_m(s)$) önerilen model ile tanımlanıp, bu noktalara göre kısmi doğrusal fonksiyonlar çıkarılabilir. Bu noktalara ait tanımlamalar aşağıdadır.

Herhangi bir s ışınımındaki kısa devre akımı $I_g(s)$,

$$I_g(s) = I_{gst} \cdot s \quad (2.17)$$

$V_o(s)$ denklem 2.11 ile tanımlanmaktadır.

Dolgu faktörü FF sabit ise, maksimum akım ve gerilim, kısa devre akım ve açık devre gerilim değerlerinin sabit çarpanlarıyla (f_a ve f_v) tanımlanabilir.

$$f_a = \frac{I_{mst}}{I_{gst}} \quad (2.18)$$

$$f_v = \frac{V_{mst}}{V_{ost}} \quad (2.19)$$

$$I_m(s) = I_g(s) \cdot \frac{I_{mst}}{I_{gst}} = I_g(s) \cdot f_a = s \cdot I_{mst} \quad (2.20)$$

$$V_m(s) = V_o(s) \cdot \frac{V_{mst}}{V_{ost}} = V_o(s) \cdot f_v = s^c \cdot V_{mst} \quad (2.21)$$

Böylece denklem 2.17-denkleme 2.21 ifadeleri kullanılarak bir PV modeli tanımlanabilir. Oluşan model, denklem 2.22'de verilmektedir.

$$I = \begin{cases} V \leq V_m(s) \Rightarrow I_g(s) - \frac{I_g(s) - I_m(s)}{V_m(s)} \cdot V \\ V > V_m(s) \Rightarrow \frac{V_o(s) \cdot I_m(s)}{V_o(s) - V_m(s)} - \frac{I_m(s)}{V_o(s) - V_m(s)} \cdot V \end{cases} \quad (2.22)$$

Denklem 2.22'nin öngördüğü alternatif model tamamen PV etiket değerlerini kullanmaktadır. Bu model 25 °C'lik sıcaklık değeri için farklı ışınımlarda performans tahmini sağlamaktadır.

Gerçekte sıcaklık, PV performansını etkilemektedir (Bkz Şekil 1.5). Tam bir modelleme için, T sıcaklığının etkisinin modele dahil edilmesinde fayda vardır. PV kataloglarında, sıcaklık değişimi başına akımdaki yüzdelik değişim (k_a) ve gerilimdeki yüzdelik değişim (k_v) 1/°K cinsinden değerleri bulunabilmektedir. Bazı kataloglarda, bu sıcaklık katsayılarına, sıcaklık değişimi başına akımdaki değişme

oranı (α) ve gerilimdeki değişme oranı (β) olarak da $1/^\circ\text{C}$ biriminde rastlanabilir (SM 55 Katalogları). Sabit ışınımdaki, bu sıcaklık katsayılarının akım ve gerilime olan etkisi en genel halde aşağıdaki ifadelerle tanımlanmaktadır. Gerilim sıcaklık katsayıları negatif işaretlidir ($k_v < 0, \beta < 0$).

$$I(s, T) = I(s, 25) \cdot [1 + k_a \cdot (T - 25)] = I(s, 25) + \alpha \cdot (T - 25) \quad (2.23)$$

$$V(s, T) = V(s, 25) \cdot [1 + k_v \cdot (T - 25)] = V(s, 25) + \beta \cdot (T - 25) \quad (2.24)$$

Denklem 2.23 ve denklem 2.24'deki ifadeler, denklem 2.22'deki akım ve gerilim terimlerin tamamına uygulandığında, sıcaklık etkisini de içeren PV modeli tanımlanabilir. Buna göre alternatif modeli doğrusal yapan kısmi eğimler C_1 ve C_2 :

$$C_1 = \frac{(I_g(s, T) - I_m(s, T))}{V_m(s, T)} \quad (2.25)$$

$$C_2 = \frac{I_m(s, T)}{(V_o(s, T) - V_m(s, T))} \quad (2.26)$$

Böylece modelin, tek bir PV için olan I-V ifadesi denklem 2.27'dedir.

$$I(s, T) = \begin{cases} V \leq V_m(s, T) \Rightarrow I_g(s, T) - C_1 \cdot V \\ V > V_m(s, T) \Rightarrow V_o(s, T) \cdot C_2 - C_2 \cdot V \end{cases} \quad (2.27)$$

Önerilen alternatif model doğrusal karakterde olduğundan, herhangi bir R yükü için PV'nin cevabı direk olarak bulunabilir. Oysa böyle bir çözüm olanağı referans modelde yoktur. Alternatif model ile direk çözüm için aşağıdaki yaklaşımlar yapılabilir.

Herhangi bir s ışınımı ve T sıcaklığındaki, maksimum güç noktasındaki yük direnci $R_m(s, T)$:

$$R_m(s, T) = \frac{V_m(s, T)}{I_m(s, T)} \quad (2.28)$$

PV gerilimi:

$$V(s, T) = I(s, T) \cdot R_s + V_y = I(s, T) \cdot (R_s + R) \quad (2.29)$$

Burada V_y , R yükü uçlarındaki gerilimdir. R_s iç direncine PV direnci ve iletim hattı direnci dahildir. Herhangi bir s ışınımı ve T sıcaklığındaki PV'nin, R yükündeki akım cevabı için denklem 2.29, denklem 2.27'de V yerine yazıldığında denklem 2.30 elde edilmektedir.

$$I(s, T) = \left[\begin{array}{l} (R + R_s) \leq R_m(s, T) \Rightarrow \frac{I_g(s, T)}{1 + C_1 \cdot (R + R_s)} \\ (R + R_s) > R_m(s, T) \Rightarrow \frac{V_o(s, T) \cdot C_2}{1 + C_2 \cdot (R_s + R)} \end{array} \right] \quad (2.30)$$

Önerilen alternatif model, $N_s \times N_p$ boyutundaki bileşke bir PV sistemi için de düşünüldüğünde oluşan akım –gerim (I_p - V_p) ifadesi, genel halde denklem 2.31 ile verilmektedir.

$$I_p(s, T) = \left[\begin{array}{l} V_p \leq N_s \cdot V_m(s, T) \Rightarrow N_p \cdot I_g(s, T) - \frac{N_p \cdot C_1}{N_s} \cdot V_p \\ V_p > N_s \cdot V_m(s) \Rightarrow V_o(s, T) \cdot N_p \cdot C_2 - \frac{N_p \cdot C_2}{N_s} \cdot V_p \end{array} \right] \quad (2.31)$$

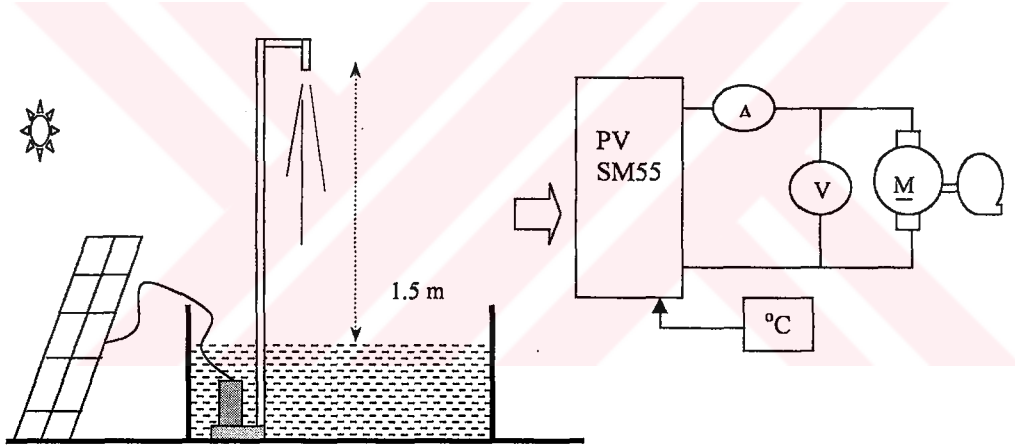
2.3. Alternatif Modelin Test Çalışması

Önerilen alternatif modelin test çalışması, örnek olarak Siemens SM 55 tipi güneş paneli üzerinde yapılmaktadır. SM 55'e ait STC'deki etiket verileri Tablo 2.4'de verilmektedir.

Tablo 2.4. SM 55'in STC'deki etiket verileri

I_{gst} (A)	V_{ost} (V)	V_{mst} (V)	I_{mst} (A)	k_a (1/°K)	α (1/°C)	k_v (1/°K)	β (1/°C)
3.45	21.7	17.4	3.15	$4 \cdot 10^{-4}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$-3.4 \cdot 10^{-3}$	-0.077

Bir önceki kısımda ön görülen analizler, verilen etiket değerlerine göre yapıldığında $c=11.45$, $FF=0.73$, $f_a=0.913$ ve $f_v=0.80$ olarak bulunmaktadır. PV yükü olarak, SM 55 kapasitesine uygun bir DA motorlu su pompa sistemi kullanılmaktadır. Pompa motoru, sabit mıknatıslı bir DA motordur. Motorun nominal çalışma gerilimi 12 V ve akımı 2 A.'dir. Pompa ise santrifüj dalgıç tipidir. Deney seti ve bağlantı şekli, prensip olarak Şekil 2.9'dadır.



Şekil 2.9. Önerilen modelin test düzeneği ve bağlantı şeması

Test çalışmasında, sistemin kısa devre akımı (I_k), akımı, açık devre gerilimi, çalışma akımı, gerilimi ve sıcaklığı farklı güneş şartlarında ölçülmektedir. Işınım oranı s ise, PV'nin anlık olarak ölçülen kısa devre akımının etiketteki I_{gst} 'ye oranı olarak alınmaktadır. Işınım şartlarının her biri için ölçülen sistem gerilimi alternatif modele uygulanarak, model ve ölçümdeki akım cevapları karşılaştırılmaktadır. Analizler, modelin ön gördüğü denklem 2.27 ve denklem 2.29 tabanında yapılmaktadır.

PV'den sisteme kadar olan iletim hattı direnci yanında PV kontak direnci ihmal edilmektedir. İletim hattı direnci 0.52 ohm olarak ölçülmektedir. Tablo 2.5 'de ölçüm verileri, Tablo 2.6'da ölçüm verileriyle alternatif model karşılaştırması verilmektedir.

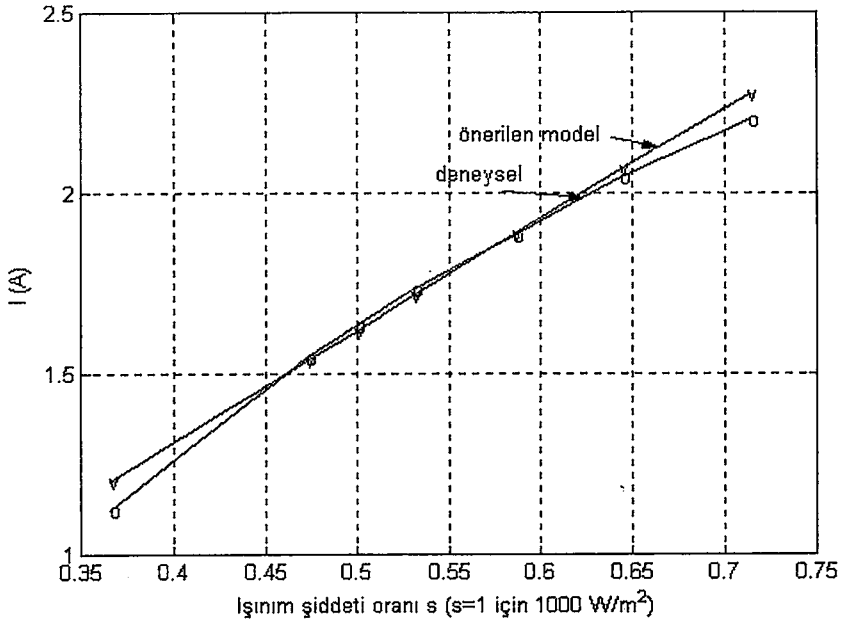
Tablo 2.5. Ölçüm verileri

T (°C)	s (pu) (I_k/I_{gst})	I_k (A)	V_o (V)	I (A)	V (V)
30	0.3652	1.26	19.34	1.12	8.44
40	0.4725	1.63	19.40	1.54	10.59
40	0.4986	1.72	19.43	1.63	11.60
41	0.5304	1.83	19.47	1.73	11.75
50	0.5855	2.02	19.47	1.88	12.40
51	0.6435	2.22	19.38	2.04	12.90
53	0.7130	2.46	19.61	2.20	14.33

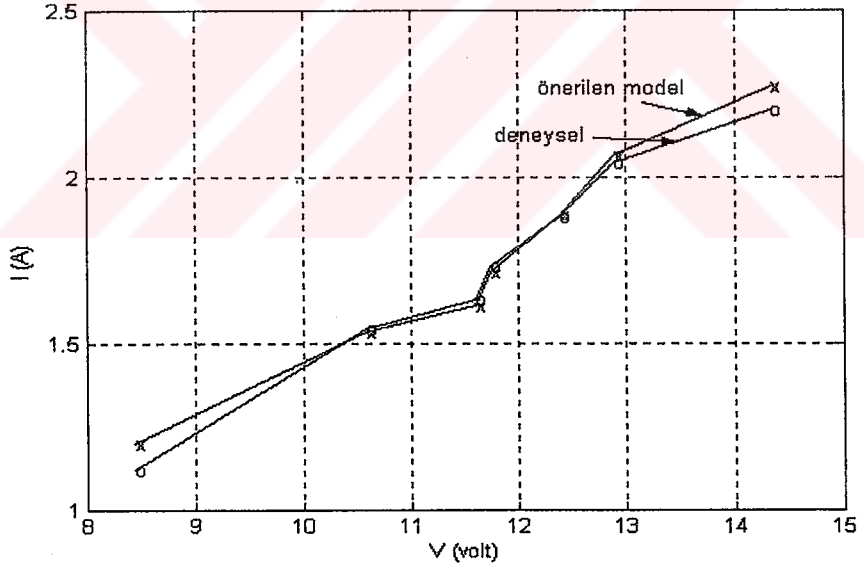
Tablo 2.6. Deneysel ve model cevapları

s (pu) (I_k/I_{gst})	I (A)	I (model) (A)	Bağlı Hata (I)	V_o (V)	V_o (model) (V)	Bağlı Hata (V_o)
0.3652	1.12	1.1990	-0.0705	19.34	19.53	-0.0098
0.4725	1.54	1.5348	0.0034	19.40	19.28	0.006
0.4986	1.63	1.6099	0.0123	19.43	19.37	0.003
0.5304	1.73	1.7115	0.0107	19.47	19.48	-0.0005
0.5855	1.88	1.8840	-0.0021	19.47	18.9419	0.02
0.6435	2.04	2.0644	-0.0119	19.38	19.10	0.014
0.7130	2.20	2.2628	-0.0308	19.61	19.27	0.017

İşınım seviyesine göre, deneysel ve önerilen alternatif modeldeki PV'nin akım cevapları Şekil 2.10 ile, aynı gerilime karşılık gelen akım değişimleri ise Şekil 2.11 ile verilmektedir.



Şekil 2.10. DeneySEL ve önerilen modelin s- I değişimleri



Şekil 2.11. DeneySEL ve önerilen modelin I-V cevapları

Yapılan test çalışmasının sonuçları, önerilen alternatif PV modelinin gerçek koşullar ile oldukça uyumlu olduğunu göstermektedir. Hatalar ışınımın genelinde, yaklaşık %1 gibi oldukça düşük seviyelerdedir. Bu model yaklaşımı, PV uygulamalarındaki performans analizlerinde kullanılabilir.

3. PV- DA MOTORLU POMPA SİSTEMİ MODELİ

Bu bölümde, güneş pili (PV) - pompa sistemlerinin performans model tanımlamaları yapılmaktadır. Performans modelleri ve kriterleri, önceki bölümde önerilen alternatif bir PV model ile ilişkilendirilebilmektedir. Ön görülen performans model tanımlamaları, öncelikle gerçek bir PV pompa sistemi üzerinde test edilmektedir.

3.1. PV Performans Tanımlamaları

Bu çalışmada tanımlanan alternatif model, sadece PV etiket değerlerinden hareketle, farklı ışınım seviyelerinde performans tahminine yöneliktir. 2. Bölümde değinildiği gibi, tipik bir PV etiketinde, 1000 W/m^2 'deki kısa devre akımı (I_{gst}), açık devre gerilimi (V_{ost}), maksimum güçteki akım (I_{mst}) ve gerilim (V_{mst}) değerleri verilmektedir. Bu veriler, Standart Test Koşulları (STC) değerleri olarak bilinir. Modeldeki s terimi, ilgili ışınım seviyesinin 1000 W/m^2 'lik ışınım şiddetine oranı olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda s terimi, tipik bir PV'de kısa devre akımı (I_g) ışınım ile doğrudan ilişkili olduğundan, ilgili ışınımdaki kısa devre akımının etiketteki I_{gst} 'ye oranı olarak da ifade edilebilmektedir. En genel ifadelerle, N_s kadar seri ve buna N_p kadar paralel PV panel dizilerinden oluşan bir PV sisteminin, ışınımına göre olan performans tanımlamaları aşamalar halinde aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilmektedir.

$$I_g(s) = I_{gst} \cdot s \cdot N_p \quad (3.1)$$

Açık devre gerilimi V_o ,

$$V_o(s) = s^c \cdot V_{ost} \cdot N_s \quad (3.2)$$

Modeldeki c terimi, sistemin aynı zamanda STC'de verilen etiketteki maksimum güç koşullarını sağlaması için kurulmakta olup, bu değer SM 55 PV için 11.45'dir.

$$f_a = \frac{I_{mst}}{I_{gst}} \quad (3.3)$$

$$f_v = \frac{V_{mst}}{V_{ost}} \quad (3.4)$$

$$I_m(s) = I_g(s) \cdot \frac{I_{mst}}{I_{gst}} = I_g(s) \cdot f_a = s \cdot I_{mst} \cdot N_p \quad (3.5)$$

$$V_m(s) = V_o(s) \cdot \frac{V_{mst}}{V_{ost}} = V_o(s) \cdot f_v = s^{\frac{1}{c}} \cdot V_{mst} \cdot N_s \quad (3.6)$$

Maksimum güç P_m ,

$$P_m(s) = V_m(s) \cdot I_m(s) \quad (3.7)$$

V_o, I_g, V_m ve I_m sınır koşulları tanımlandıktan sonra, PV iç dirençlerinin tespitlerine gerek duyulmadan ancak bunların sisteme olan etkilerini de kapsayan PV modelinin I-V ifadeleri aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir.

$$C_1 = \frac{I_g(s) - I_m(s)}{V_m(s)} \quad (3.8)$$

$$C_2 = \frac{I_m(s)}{V_o(s) - V_m(s)} \quad (3.9)$$

$$I(s) = \begin{cases} V \leq V_m(s) \Rightarrow I_g(s) - C_1 \cdot V \\ V > V_m(s) \Rightarrow V_o(s) \cdot C_2 - C_2 \cdot V \end{cases} \quad (3.10)$$

Önerilen model dikkat edildiğinde sadece PV etiket değerlerini kullanarak farklı ışınımlarda performans tahmin imkanı sağlamaktadır. Ayrıca tipik bir PV'deki I-V

eğrilerinin doğrusal olmayan karakteristiği nedeniyle, herhangi bir R direç yükü için PV I-V cevabındaki doğrudan tespitindeki zorluk, önerilen alternatif model ile de aşılabilmektedir. Bunun için, ilk olarak maksimum güç noktasındaki yük direnci (R_m) bulunmaktadır.

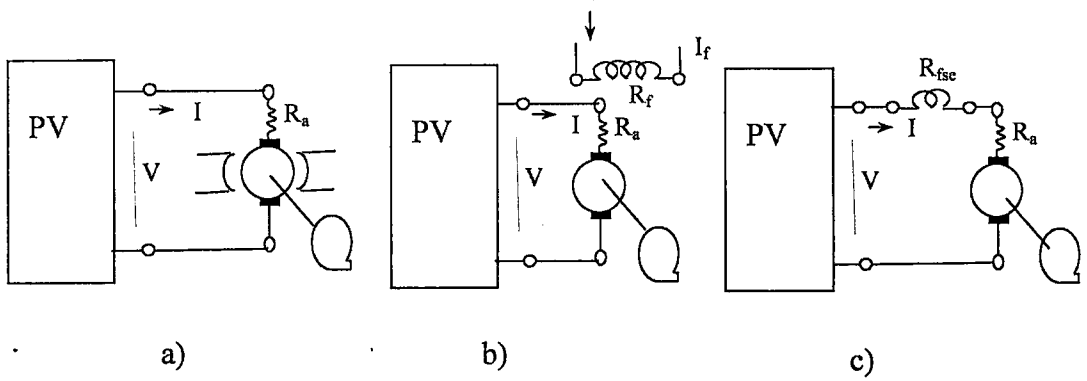
$$R_m(s) = \frac{V_m(s)}{I_m(s)} \quad (3.11)$$

Verilen bir R direnci yükü için PV akım cevabı aşağıdadır.

$$I(s, R) = \begin{cases} R \leq R_m(s) \Rightarrow \frac{I_g(s)}{1 + C_1 \cdot R} \\ R > R_m(s) \Rightarrow \frac{V_o(s) \cdot C_2}{1 + C_2 \cdot R} \end{cases} \quad (3.12)$$

3.2. DA Motoru –Santrifüj Pompa Sistemi Modelleri

PV'lerin doğrudan pompa motoruna bağlandığı sistemlerde DA motorlar kullanılmaktadır. Doğrudan bağlantı, sistem ara kayıplarından sakınılması, basit yapı ve maliyet açısından tercih edilmektedir. Doğrudan bağlı sistemlerde, PV ve motor aynı akım (I) ve aynı gerilim(V) değerlerinde çalışmaktadır. Bu çalışma noktalarını, ışınımla değişen PV karakteristik özelliği, motor ve pompa yükü parametreleri belirler. Şekil 3.1'de prensip olarak gösterilen bazı DA motorların performans tanımlamaları aşağıdadır (Appelbaum 1989, Saied and Jaboori 1989, Appelbaum and Sarma 1989, Saied et al 1991, Singer and Appelbaum 1993, Kolhe et al 2000, Mummadi et al 2000).



Şekil 3.1. PV-DA motor pompa sistem örnekleri

- a) Sabit mıknatıslı DA motor
- b) Serbest uyarmalı DA motor
- c) Seri uyarmalı DA motor

Sabit mıknatıslı DA motoru için:

$$V = I.R_a + K.\omega = I.R_a + E_z \quad (3.13)$$

$$T_e = K.I = B.\omega + T_o + kp.\omega^2 = Kp.\omega^2 \quad (3.14)$$

$$P = V.I \quad (3.15)$$

$$P_{mek} = P - I^2.R_a = E_z.I = I.K.\omega = T_e.\omega \quad (3.16)$$

Serbest uyarmalı DA motoru için:

$$K = M_{af}.I_f \quad (3.17)$$

$$V = I.R_a + K.\omega = I.R_a + M_{af}.I_f.\omega \quad (3.18)$$

$$T_e = K.I = M_{af}.I_f.I = B.\omega + T_o + kp.\omega^2 = Kp.\omega^2 \quad (3.19)$$

$$P_{mek} = P - I^2.R_a = I.K.\omega = M_{af}.I_f.I.\omega = T_e.\omega \quad (3.20)$$

Seri uyarmalı DA motoru için:

$$K = M_{as}.I \quad (3.21)$$

$$V = I.(R_a + R_{fse}) + K.\omega = I.(R_a + R_{fse}) + M_{as}.I.\omega \quad (3.22)$$

$$T_e = K.I = M_{as}.I^2 = B.\omega + T_o + kp.\omega^2 = Kp.\omega^2 \quad (3.23)$$

$$P = V.I \quad (3.24)$$

$$P_{mek} = P - I^2 \cdot (R_a + R_{fse}) = I \cdot K \cdot \omega = M_{as} I^2 \cdot \omega = T_e \cdot \omega \quad (3.25)$$

Yukarıda verilen model denklemlerinde, P motor giriş gücünü (W), E_z zıt elektro motor kuvvetini (emk-V), K ilgili motorun moment sabitini (N.m/A), R_a endüvi direncini (ohm-Ω), R_{fse} seri uyarma sargısı direncini(Ω), M_{af} endüvi ile serbest uyarma sargısı arasındaki karşılıklı endüktansı (H.), M_{as} endüvi ile seri uyarma sargısı arasındaki karşılıklı endüktansı (H.), T_e üretilen elektriksel momenti (N.m), B ve T_o motor sürtünme kayıplarıyla ilgili sabitleri, ω açısal hızı (rad/s), P_{mek} mekanik gücü (W), k_p santrifüj pompa yükü sabitini (N.m/(rad/s)²) göstermektedir. Genelde motor sürtünme kayıplarının içine dahil olduğu pompa yükü K_p sabitiyle de ifade edilmektedir.

Sistemin herhangi bir ışıınımdaki faydalanma verimi (η_{fay}), motor giriş gücünün PV maksimum gücüne oranıyla, sistem verimi (η_{sis}) ise mekanik gücün PV maksimum gücüne olan oranıyla tanımlanmaktadır. Motor verimi ise (η_{mot}) mekanik gücün elektriksel giriş gücüne (PV çıkış gücü) oranı olarak ifade edilmektedir:

$$\eta_{mot} = \frac{P_{mek}}{P} \quad (3.26)$$

$$\eta_{fay} = \frac{P}{P_m} \quad (3.27)$$

$$\eta_{sis} = \frac{P_{mek}}{P_m} = \frac{P_{mek}}{P} \cdot \frac{P}{P_m} = \eta_{mot} \cdot \eta_{fay} \quad (3.28)$$

3.3. Santrifüj Pompa Performans Tanımlamaları

Pompa motoru mekanik gücünün bir kısmı motor ve pompa bağlantı sistemindeki sürtünme kayıplarına harcanmaktadır. Geriye kalan güç ise pompa giriş gücü (P_{pom})'dür.

$$P_{mek} = P_{mo} + P_{pom} = B \cdot \omega^2 + T_o \omega + P_{pom} \quad (3.29)$$

Sistem belirli bir statik H (m) yüksekliğine $Q(m^3/s)$ debisi ile su pompalamak için kullanıldığında Pompa giriş gücünün bir kısmı, Q ve malzeme ile ilişkili boru hat kayıpları olarak adlandırılan iletim kayıplarına harcanmaktadır (denklem 3.30). Geriye kalan net hidrolik güç P_{hid} denklem 3.31 ile ifade edilebilmektedir (Suehrcke et al. 1997, Akbaba et al. 1998, Mummedi 2000).

$$P_{pom} = P_{boru} + P_{hid} \quad (3.30)$$

$$P_{hid} = 1000 \cdot g \left(\frac{m}{s^2} \right) \cdot H(m) \cdot Q \left(\frac{m^3}{s} \right) = g \left(\frac{m}{s^2} \right) \cdot H(m) \cdot Q \left(\frac{lt}{s} \right) \quad (W) \quad (3.31)$$

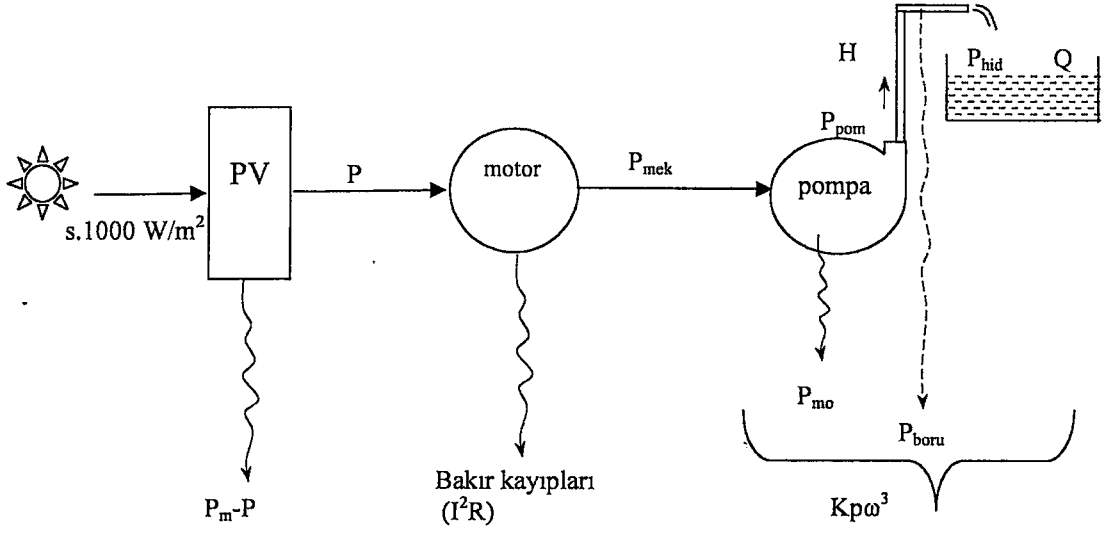
Denklem 3.31'de g yer çekim ivmesi (9.81 m/s^2)'dir. Denklem 3.31 terimleri pompa giriş gücü eşitliğine göre tanımlandığında, H terimi boru hat kaybından dolayı, değerinin belirli bir çarpanı kadar yükseltilir. Bu çarpan boru cinsine göre değişmekte olup, genelde %10 dolaylarındadır (Goswami 1999). Böylece motor mekanik gücü, belirli bir statik pompa sisteminde istenilen Q değerine göre seçilebilir. Pompa kataloglarındaki P-Q veya P_{mek} -Q eğrilerinden faydalanmak mümkündür.

Motor-pompa verimi (η_{pom}) ve genel PV pompa sistemi verimi (η_{pvsis}):

$$\eta_{pom} = \frac{P_{hid}}{P_{mek}} = \frac{P_{hid}}{P_{pom} + P_{mo}} = \frac{P_{hid}}{P_{mo} + P_{boru} + P_{hid}} \quad (3.32)$$

$$\eta_{pvsis} = \frac{P_{hid}}{P_m} = \frac{P_{hid}}{P_{mek}} \cdot \frac{P_{mek}}{P} \cdot \frac{P}{P_m} = \eta_{pom} \cdot \eta_{mot} \cdot \eta_{fay} \quad (3.33)$$

Böylece tipik bir PV pompa sisteminin güç akış diyagramı şekil 3.2'de verilmektedir.

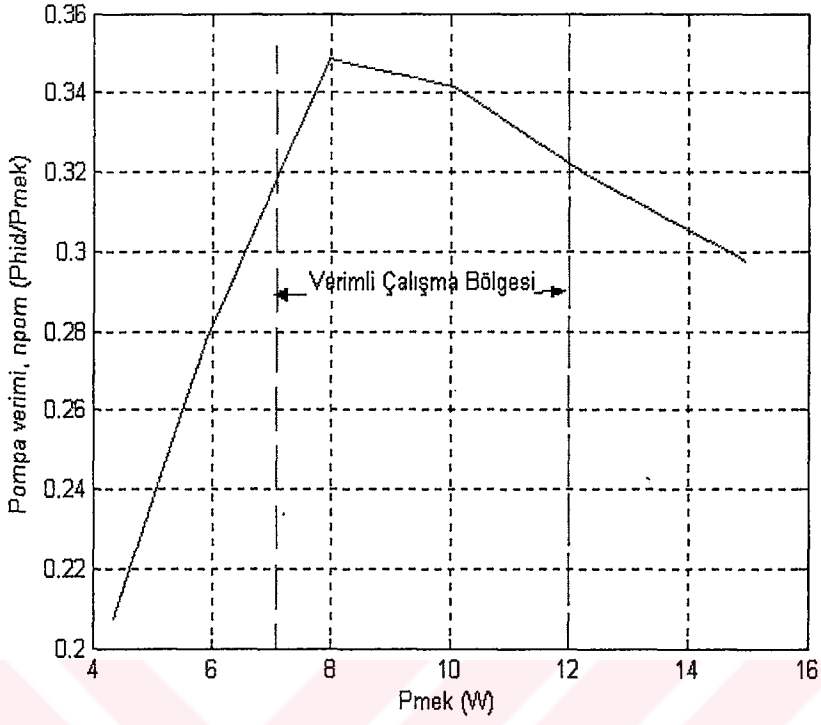


Şekil 3.2. PV pompa sisteminde güç akış diyagramı

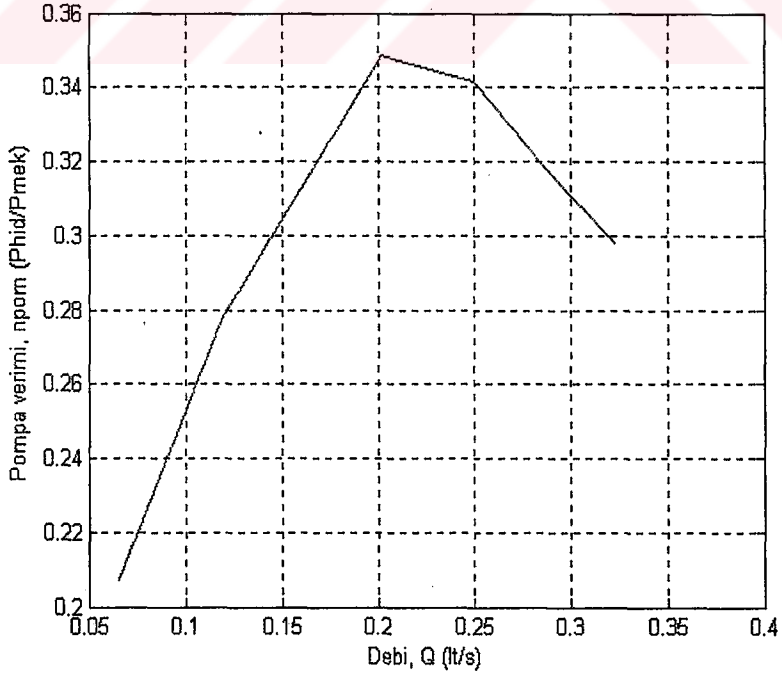
Denklem 3.33'den görüldüğü üzere genel PV pompa sistemi verimi, PV maksimum güç (P_m) terimini içermektedir. Bu ise ışınım ile değişmektedir. Herhangi bir ışınım da genel PV pompa sistemi verimini, bu üç elemanın (PV, motor ve pompa) verimleri belirlemektedir.

Tipik bir santrifüj su pompa sisteminde, pompa verimi (η_{pom}), mekanik güç ile değişmektedir. Şekil 3.3, küçük ölçekli örnek bir sistem için tespit edilen verim eğrisini göstermektedir.

Şekil 3.3'deki karakteristiğe göre güç arttıkça verim yükselmekte ancak kritik bir güç değerinden sonra verim düşmeye başlamaktadır. Aynı örnek sistemin debi – pompa verimi ($Q-\eta_{pom}$) ve güç – debi eğrileri ise şekil 3.4 ile şekil 3.5'de verilmektedir.

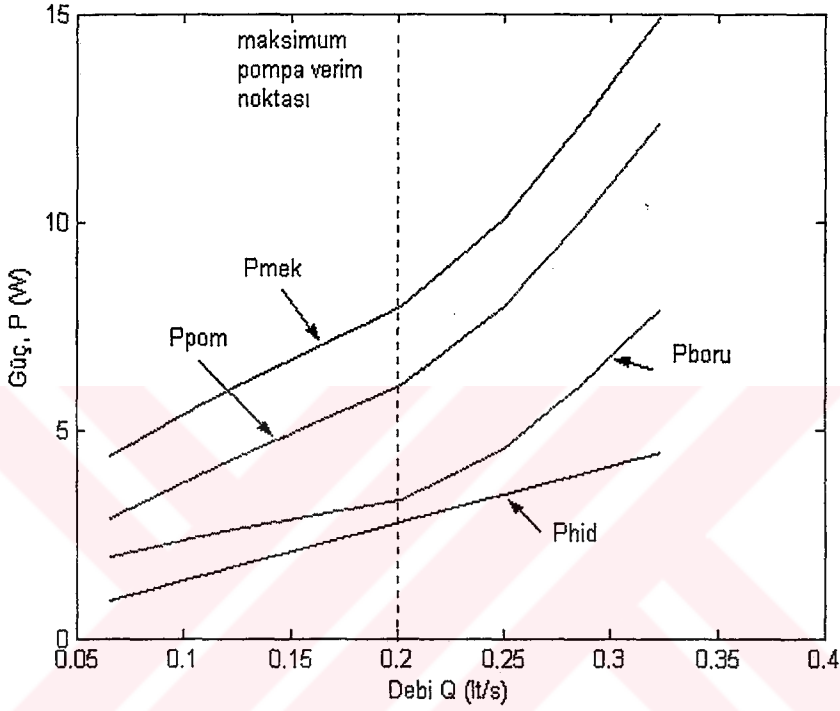


Şekil 3.3. Tipik bir santrifüj su pompasının verim eğrisi



Şekil 3.4. Debi-pompa verimi değişimi

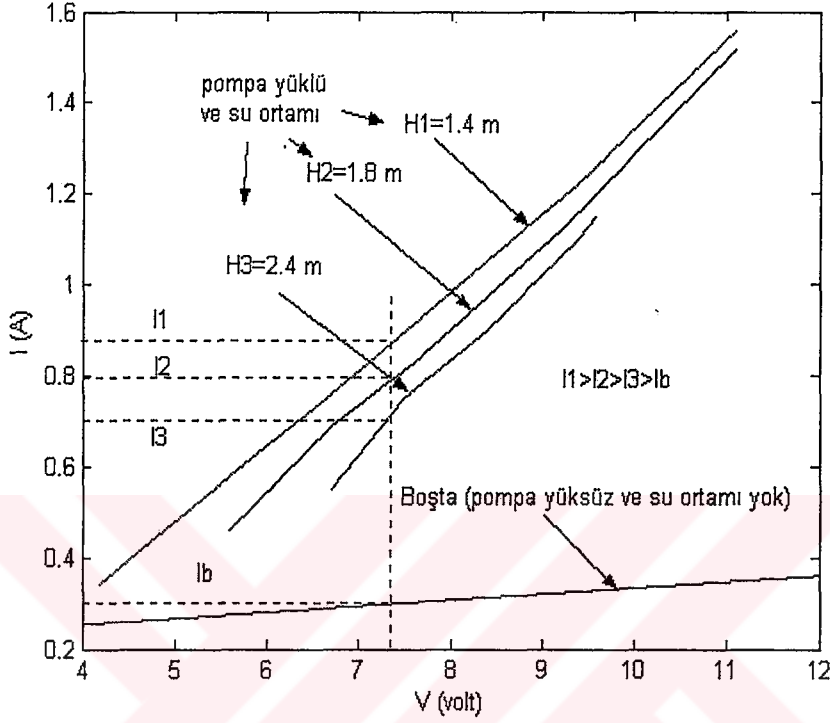
Diğer fiziksel özellikleri (yükseklik, boru çapı vb) sabit olan sistemde, pompa veriminin maksimum olduğu optimum bir mekanik güç ve debi değerleri vardır. Bu optimum nokta, şekil 3.5'deki P-Q eğrilerinde kesik çizgiyle işaretlidir. Şekil 3.5 aynı zamanda, tanımlanan pompa performans modelleri ışığında P_{mek} , P_{pom} , P_{boru} ve P_{hid} terimlerinin debiye göre değişimlerini içermektedir.



Şekil 3.5. Güç-debi değişimleri

Verimin kritik bir güç ve debi değerinin üstündeki değerlerden sonra düşmeye başlaması boru hat ve iç sürtünme kayıplarına bağlanmaktadır. Çünkü şekil 3.5'de boru hat kayıp gücü, optimum çalışma noktasına kadar belirli bir hızda (eğim) debi ile birlikte artarken, optimum çalışma noktası sonrasındaki artma hızı önceki durumuna göre yükselmeye başlamaktadır. Boru hat kaybı debiyle artmaktadır. Debi gerek P_{mek} gerekse P_{pom} terimleriyle genel bazda yükselmekte ancak P_{hid} teriminin bu terimlerle olan paralelliği optimum çalışma noktasından sonra bozulmaktadır. Böylece sistem verimli olmaktan çıkmaya başlamaktadır. Debiye giriş güçlerine göre bir doymanın oluşabileceği kabul edilebilir. Şekil 3.3'deki verimli çalışma bölgesi olarak adlandırılan alanının, performansı ışınıma göre değişecek PV pompa sistemlerinde, verim ve maliyet açısından dikkate alınması önerilebilir. Diğer yandan pompa motorunun (I-V) cevapları, farklı yükseklikler için değişmektedir. Yükseklik

artıkça sistem yük boşalması yapmakta ve boş çalışma durumuna yaklaşmaktadır. Bu durum, giriş gücü azaldığından yükselen H'larda debinin azalması gerektiği gerçeğiyle uyumludur.



Şekil 3.6. Farklı yüksekliklerde pompa motorunun I-V cevapları

3.4. Önerilen PV Pompa Sistemi Modelinin Test Çalışması

Tez çalışmasında önerilen alternatif PV modeli, küçük ölçekli gerçek bir pompa sistemine uygulanmaktadır. Sistemin gerçek güneş altındaki cevapları, önerilen PV modeli ile bir önceki kısımlarda verilen DA motor performans modelleri çerçevesinde tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Model tabanındaki cevaplar güneş altındaki veriler ile karşılaştırılmaktadır. Sistem bir SM55 tipi PV, sabit mıknatıslı 12V, 2A DA motor ve santrifüj dalgıç tipi su pompasından oluşmaktadır.

İlk olarak örnek sistemin model tanımlamaları ve parametre tespitleri laboratuvar bazında yapılmaktadır. DA motorun aynı gerilim değerleri altında, boştaki ve pompa sistemindeki akım cevapları (boşta- I_b , yükteki- I) ölçülmektedir. Ölçümler Tablo 3.1'dedir.

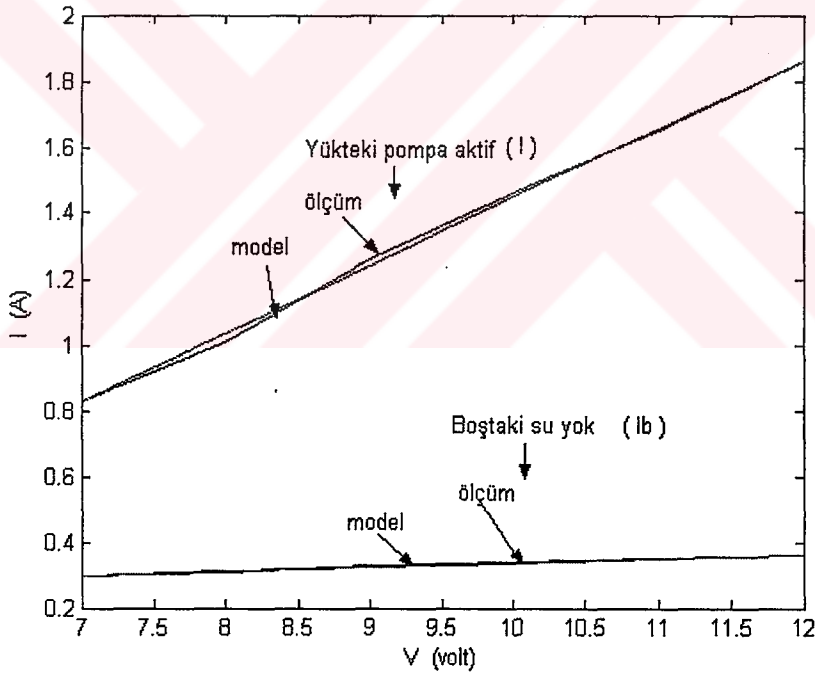
Tablo 3.1. DA motor labratuvar ölçümleri

V (volt)	7.0000	8.0000	9.0000	10.0000	11.0000	12.0000
I _b (A)	0.3000	0.3100	0.3300	0.3400	0.3500	0.3600
I (A)	0.8300	1.0100	1.2600	1.4600	1.6500	1.8600

Yapılan ölçümlere göre, boştaki ve yükteki I-V cevaplarının fonksiyon tanımlamaları yapılabilir. Örnek sistem için bu tanımlamalar:

$$V = m_o \cdot I_b + n_o = 83.33 \cdot I_b - 18 \quad (3.34)$$

$$V = m_1 \cdot I + n_1 = 4.8544 \cdot I + 2.9709 \quad (3.35)$$



Şekil 3.7. Örnek DA motor I-V ölçümlerinin fonksiyon modelleri

DA motorunun istatistiksel olarak endüvi direnci 2.13 ohm ($R_a=2.13 \Omega$) ve K değeri 0.0136 N.m/A olarak tespit edilmektedir. Denklem 3.34, motorun parametrelerini içeren ifade olarak düşünülebilir. Denklem 3.13 ve 3.14 tabanında aşağıdaki ifadeler yazılabilir.

$$V = I_b \cdot R_a + (m_o - R_a) \cdot I_b + n_o = I_b \cdot R_a + K\omega \quad (3.36)$$

$$K \cdot I_b = B \cdot \omega + T_o \quad (3.37)$$

Denklem 3.37'deki ω terimi denklem 3.13'de yerine konur (Denklem 3.13 boş çalışma için düşünülür). Oluşan ifade, denklem 3.36 ile düşünülerek aynı katsayılar eşitlendiğinden, B ve T_o terimleri bulunabilir.

$$B = \frac{K^2}{m_o - R_a} = \frac{0.0136^2}{83.33 - 2.13} = 2.2778 \cdot 10^{-6} \text{ (N.m/(rad/s))} \quad (3.38)$$

$$T_o = \frac{-B \cdot n_o}{K} = \frac{-2.2778 \cdot 10^{-6} \cdot (-18)}{0.0136} = 0.0030 \text{ (N.m)} \quad (3.39)$$

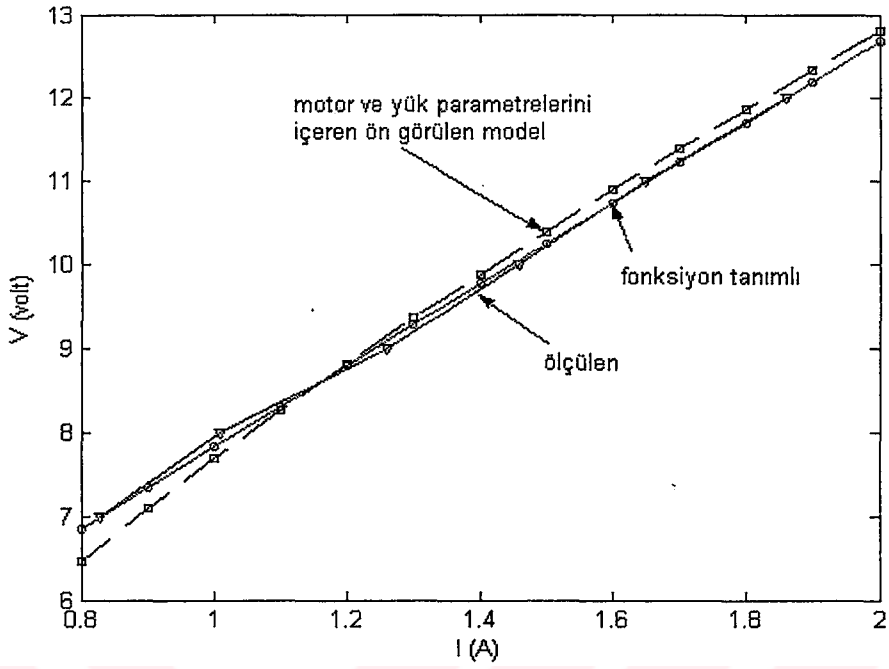
Benzer şekilde denklem 3.13 ile yüklü çalışma durumunu ifade eden denklem 3.35 birlikte düşünüldüğünde ω açısal hız ifadesi, denklem 3.40 ile tanımlanabilir.

$$\omega = \frac{I \cdot (m_i - R_a) + n_i}{K} \quad (3.40)$$

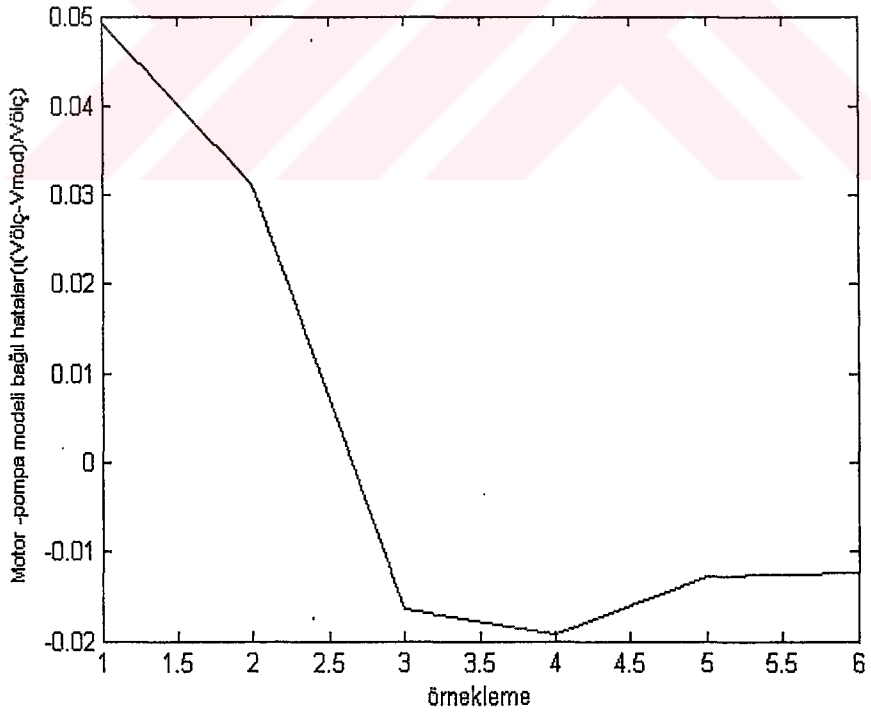
Denklem 3.14 tabanında, denklem 3.40'daki ω terimi yerine yazıldığında, k_p pompa yükü sabiti bulunabilir.

$$k_p = \frac{K \cdot I - B \cdot \omega - T_o}{\omega^2} \quad (3.41)$$

k_p terimi I ve ω terimlerinin bir fonksiyonu olup, örnekleme aralığında ortalama bir değer olarak hesaplandığında $5.57 \cdot 10^{-8} \text{ (N.m/(rad/s)}^2\text{)}$ değeri bulunmaktadır. Sistemin tespit edilen parametrelerine göre, denklem 3.13 ve 3.14 ile tanımlanan I-V performansları deneysel koşullarla karşılaştırılmaktadır. Ölçülen ve parametreleri tespit edilen modelin I-V değişimleri, şekil 3.8'de birlikte verilmektedir. DA motor modelinin bağlı hata değişimi şekil 3.9'dadır.



Şekil 3.8. Örnek sistemdeki DA motorun I-V cevabı



Şekil 3.9. DA motor modeline ilişkin bağlı hata değişimi

Hatalar en yüksek %5 dolaylarındadır. Nominal çalışma bölgelerine yaklaştıkça hatalar çok daha düşüktür (yaklaşık %1).

Parametreleri tanımlanan motor pompa yükü, PV ile çalışırsa, herhangi bir ışınım için sistemin çalışma noktalarının, PV ile motor pompa sisteminin I-V cevaplarının kesim noktalarında oluşması beklenir. s ışınım şiddeti oranı, güneş altındaki PV'nin ölçülen I_k kısa devre akımının PV'nin etiketindeki I_{gst} değerine oranıyla tanımlanmaktadır. Sistemde tek bir SM55 PV kullanılmaktadır. SM 55'e ait etiket değerlerinden $V_{ost}=21.7$ V, $V_{mst}=17.4$ V, $I_{gst}=3.45$ A ve $I_{mst}=3.15$ A'dir. Denklem 3.10 ile tanımlanan PV model denkleminde gerekli seri ve paralel panel sayısı $N_s=1$ ve $N_p=1$ değerlerini alır. PV'ye ait denklem 3.10 ile DA motor pompa yükü için tanımlanan denklem 3.35 veya denklem 3.13 eşitlenerek sistem performansları tahmin edilebilir. Model tahminleriyle sistemin gerçek güneş altındaki ölçüm sonuçları, Tablo 3.2, 3.3, 3.4 ve şekil 3.10, şekil 3.11'de birlikte verilmektedir.

Tablo 3.2. Model ve güneş altı I-V değerleri

s	I_k	I(güneş)	I(model)	V(güneş)	V(model)
(pu)	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)
0.3652	1.2600	1.1200	1.1987	8.4400	8.9018
0.4725	1.6300	1.5400	1.5379	10.5900	10.5694
0.4986	1.7200	1.6300	1.6196	11.6000	10.9706
0.5304	1.8300	1.7300	1.7190	11.7500	11.4587
0.5855	2.0200	1.8800	1.8895	12.4000	12.2934
0.6435	2.2200	2.0400	2.0676	12.9000	13.1596
0.7130	2.4600	2.2000	2.2794	14.3300	14.2014

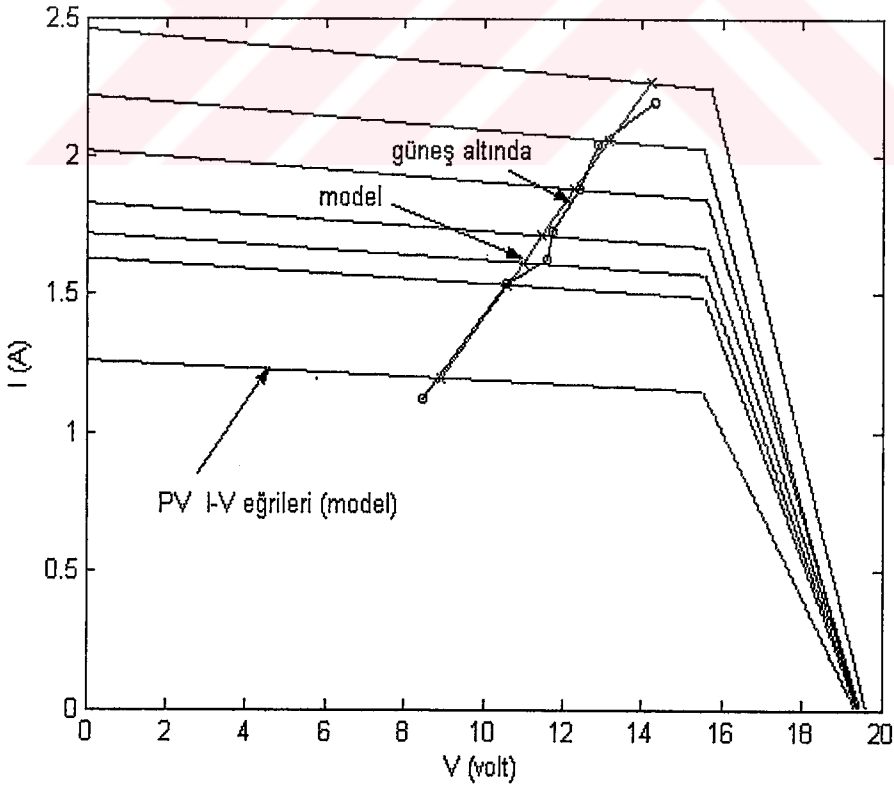
Tablo 3.3. Model ve Güneş altı I ve V bağıl hataları

s(pu)	Hata(I)	Hata(V)
0.3652	-0.0703	-0.0547
0.4725	0.0014	0.0019
0.4986	0.0064	0.0543
0.5304	0.0064	0.0248
0.5855	-0.0051	0.0086
0.6435	-0.0135	-0.0201
0.7130	-0.0361	0.0090

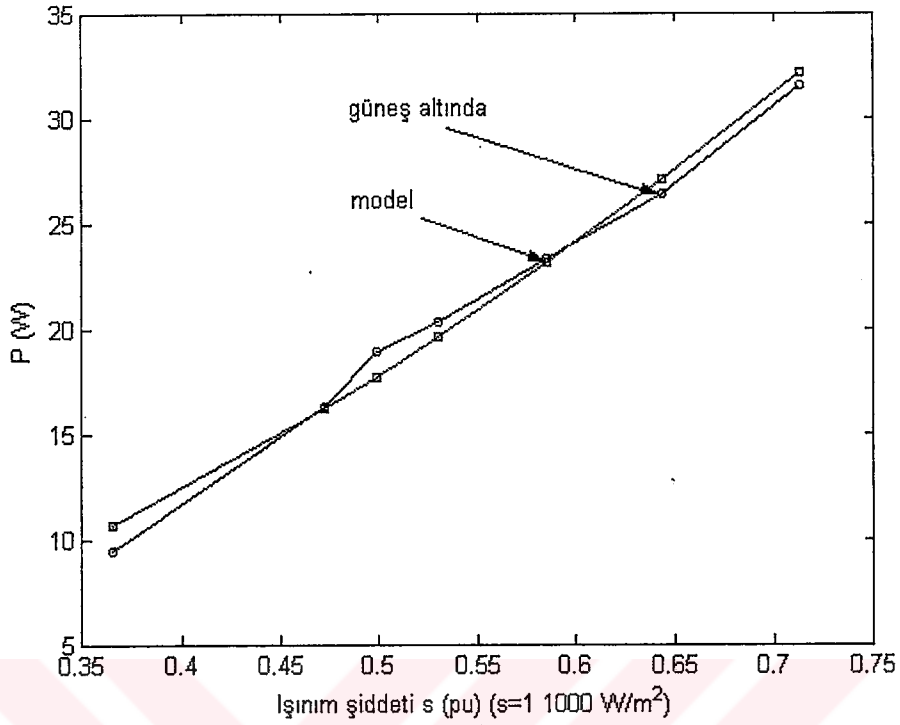
Tablo 3.4. Model ve güneş altı güçler

s(pu)	P(güneş) (W)	P(model) (W)	Hata(P)
0.3652	9.4528	10.6564	-0.1273
0.4725	16.3086	16.2102	0.0060
0.4986	18.9080	17.7141	0.0631
0.5304	20.3275	19.6311	0.0343
0.5855	23.3120	23.1324	0.0077
0.6435	26.3160	27.0631	-0.0284
0.7130	31.5260	32.1919	-0.0211

Modelin tahminleri, gerçek güneş altında alınan cevaplarla oldukça uyumludur. Ayrıca sistemin bağlı hataları önerilen PV modeli yanında DA motor-pompa modelinin hatalarını birlikte içermektedir. I-V kesim noktalarının eşitlenmesi olarak ön görülen performans tahmini yaklaşımının da geçerliğini test sonuçları göstermektedir.

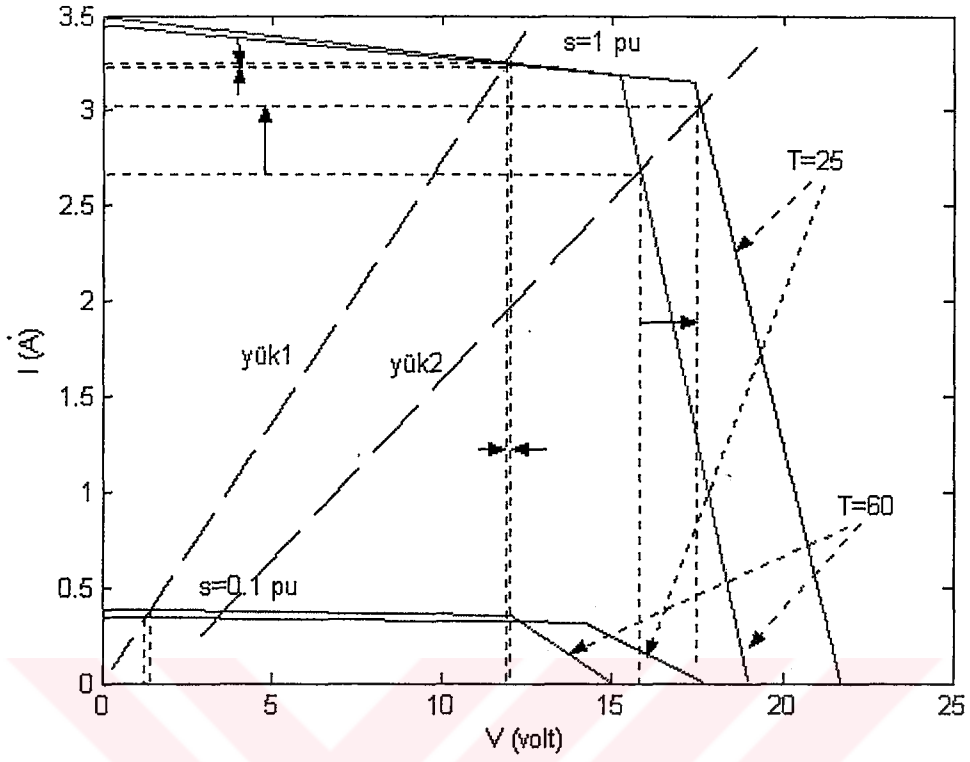


Şekil 3.10 . PV-Pompa sistemi modeli ve güneş altı için I-V çalışma noktaları.



Şekil 3.11. Model ve güneş altı güçler

Test çalışmasında, kısım 3.1'deki PV performans modelleri sıcaklığın etkisiyle birlikte kullanılmamasına rağmen, model ile güneş altı ölçümleri oldukça uyumludur. Bunun sebebi olarak, maksimum noktalarının sol tarafında (kısa devre moduna yakın), aynı ışınımdaki sıcak değişiminin, PV I-V eğrileri üzerindeki etkisinin çok düşük olması gösterilebilir. Şekil 3.12, bu durumu prensip olarak ifade etmektedir. Tezde verilen PV modelinde kullanılan etiket değerleri (STC 'de) için sıcaklık 25 °C'dir. Örnek olarak 60 °C'lik bir sıcaklıkta kısa devre akımları çok az artarken, açık devre gerilimlerindeki düşme çok daha fazladır. Bu durum maksimum güçte azalmaya neden olur. Ancak maksimum noktalara kadar, sıcaklık değişimindeki I-V karakteristikleri arasındaki farklılık oldukça düşüktür. Doğrudan bağlı sistemlerde genelde DA motorun PV maksimum noktalarının sol tarafında çalıştığı düşünüldüğünde, sıcaklıktan bağımsız bir analiz imkanı oluşmaktadır. Ancak açık devre moduna yakın çalışma noktalarına sahip yüklerde, sıcaklığın etkisinin modele dahil edilmesi faydalıdır. Çünkü maksimum noktaların sağ tarafında, sıcaklık değişimi çalışma noktalarını çok daha fazla etkilemektedir.



Şekil 3.12. Sıcaklığın PV modeline etkisi

Güneş altında alınan ölçümlerle geçerliliği tespit edilen PV modeli tabanlı pompa sistemi performans modelleri, tezin sonraki bölümlerindeki sistem analizlerinde kullanılmaktadır.

4. SİSTEMİN ANALİZLERİ

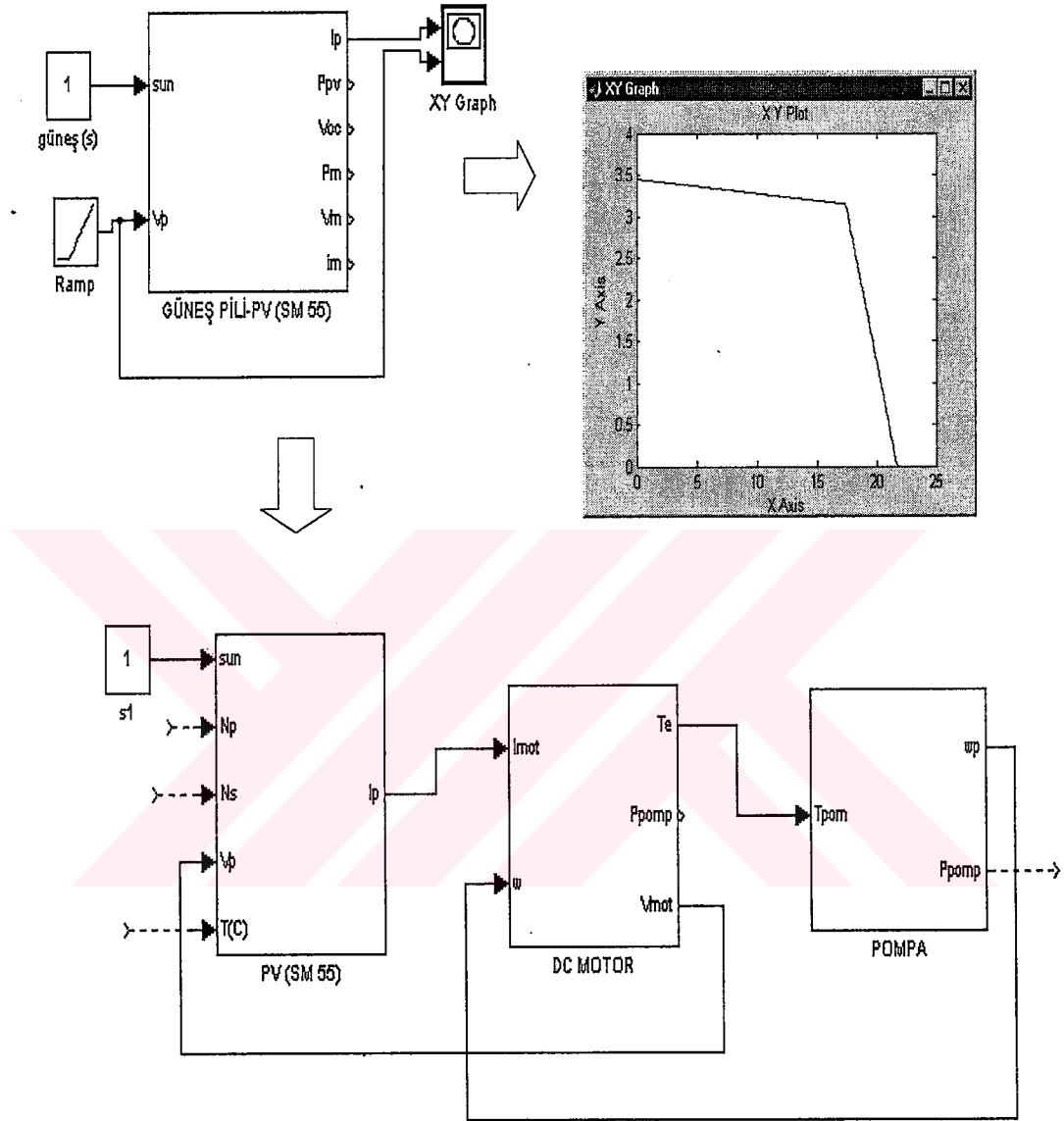
Bu bölümde, doğrudan bağlantılı (PV-DA motor) sistemler için, farklı tiplerdeki DA motorlu pompa sistemlerinin PV'deki performansları, nominal değerlerine göre geniş bir ışınım aralığında birim değerler (p.u) cinsinden analiz edilmektedir. Basit yapı ve düşük maliyet çerçevesinde düşünülen direk bağlı sistemlerde, geniş bir ışınım aralığı için PV'nin sisteme maksimum güç aktarma zorluğu vardır. Bu amaçla önerilen, maksimum güç noktası tarayıcı (MPPT) kullanım şekillerinin performansa olan katkıları ve bunların kontrol algoritmaları da tanımlanmaktadır.

4.1. Doğrudan Bağlantılı Sistemlerde DA Motorların Performansları

Bir önceki kısımlarda performans modelleri verilen ve test edilen PV pompa sistemi Matlab –Simulink ortamında tanımlanmaktadır (Şekil 4.1). Böylece PV pompa sistemleri üzerinde yapılabilecek analizlerin farklı boyut ve yönleriyle yapılma imkanı sağlanmaktadır. Bu kısımda, doğrudan bağlı sistemlerde kullanılan DA motorların değişen ışınımlardaki performansları, nominal değerlerine göre birim(pu) cinsinden analiz edilmektedir. PV boyutları, STC'deki maksimum değerlerin motor nominal değerlerine karşılık gelecek şekildedir. Analizdeki DA motorların kullanıldıkları pompa sistemindeki nominal değerleri Tablo 4.1'dedir (Suehrcke et al. 1997, Akbaba et al. 1998, Mummadi 2000).

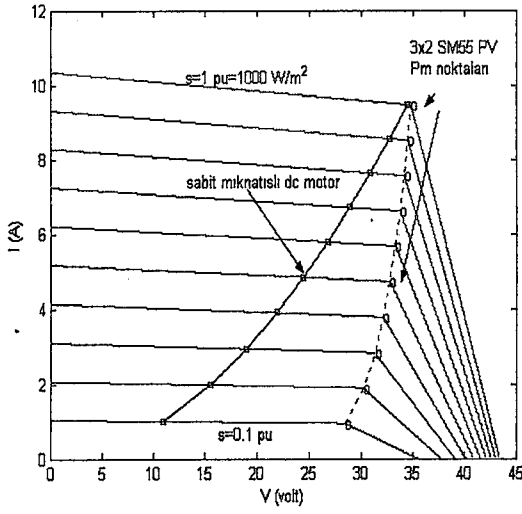
Tablo 4.1. Analizde kullanılan DA motorların özellikleri

Sabit mıknatıslı DA motor	0.37 KW, 36 V, $K=0.095$ N.m/A, $R_a=0.12$ Ω $K_p=7.28 \cdot 10^{-6}$ N.m/(rad/s) ² 3x2 SM55
Serbest uyarmalı DA motor	1.2 KW, 120 V, 11.8 A, 1000 d/dak $M_{af}=2$ H, $R_a=1.45$ Ω , $I_f=0.4$ A pompa yükü= $0.001\omega+0.0035\omega^2$ 3x7 SM55
Seri uyarmalı DA motor	120 V, 9.2 A, 1500 d/dak $M_{as}=0.0675$ H, $R_a=1.5$ Ω , $R_{fse}=0.7$ Ω $K_p=1.54 \cdot 10^{-4}$ N.m/(rad/s) ² 3x7 SM55

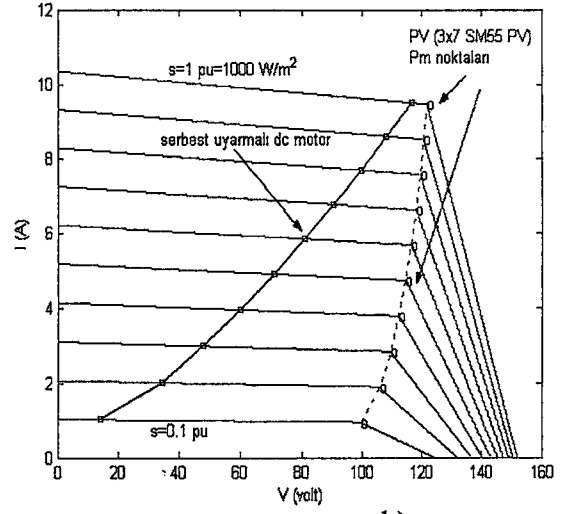


Şekil 4.1. Matlab-Simulink'deki PV pompa sistemi

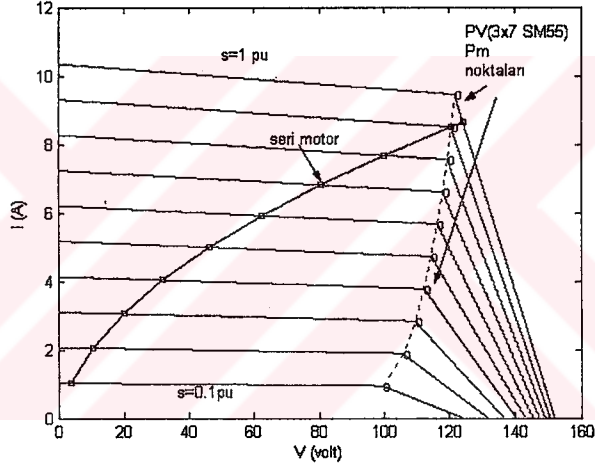
Motorların kullanıldıkları PV sistemindeki I-V çalışma noktaları analiz edildiğinde Şekil 4.2' deki değişimler elde edilmektedir.



a)



b)



c)

Şekil 4.2. DA motorların normal çalışma noktaları

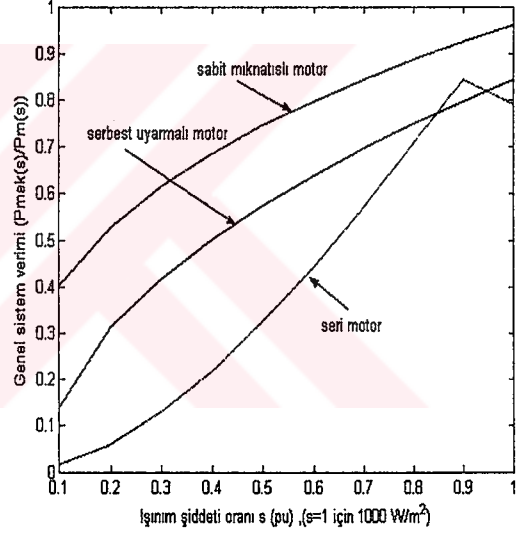
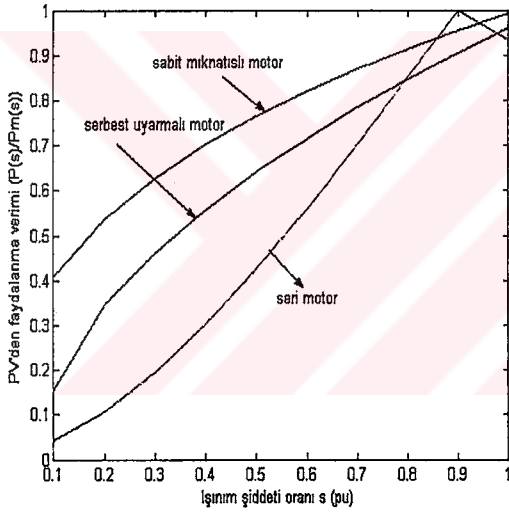
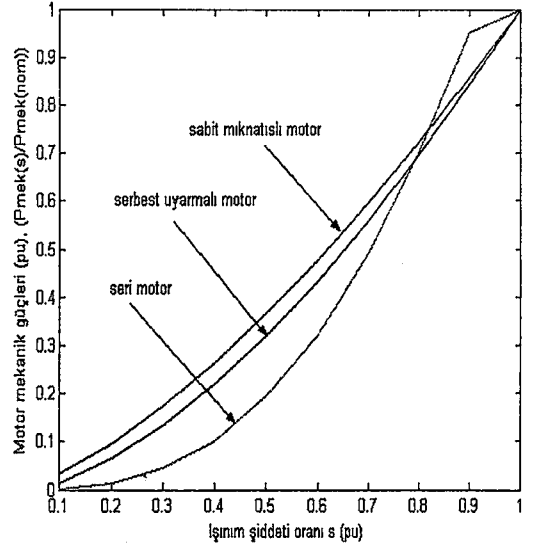
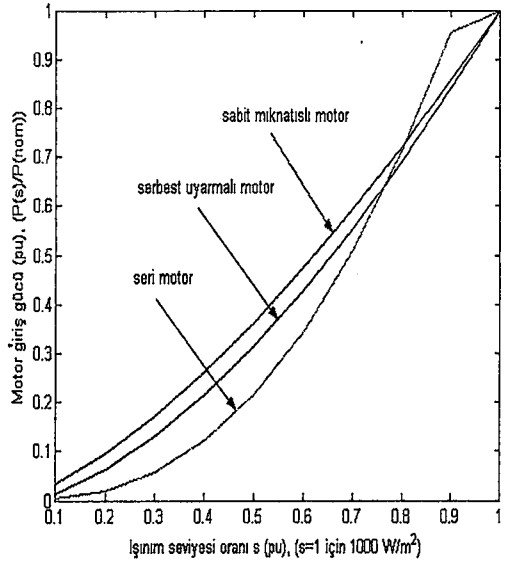
- a) Sabit mıknatıslı DA motor
- b) Serbest uyarmalı DA motor
- c) Seri uyarmalı DA motor

Şekil 4.2'deki pompa motorlarının nominal değerleri, STC ($s=1pu=1000 \text{ W/m}^2$)'deki PV maksimum noktalarına karşılık gelecek şekilde PV boyutlandırması yapılmaktadır. Ön görülen bu tip bir PV boyutlandırması için, azalan ışınımlardaki performans değişimleri analiz edilmektedir. Düşük ışınım seviyelerine doğru, çalışma noktaları PV'nin P_m noktalarından uzaklaşmakta ve performansları düşmektedir. Geniş bir ışınım aralığında, çalışma noktaları bakımından sabit

mıknatıslı motor P_m noktalarına diğerlerine göre daha yakın seyretmektedir. Bu üç motorun değişen ışınımlardaki performansları nominal değerlerine oranlandığında, birim performans değişimleri elde edilmektedir. Birim performans değişimleri, ışınımına göre birlikte tanımlandığında Şekil 4.3-4.4'deki veriler elde edilmektedir. Azalan ışınım enerjilerinde, nominal değerine göre performans düşme hızı en düşük sabit mıknatıslı motorda gerçekleşmektedir. Bu motoru serbest uyarımalı DA motor izlemektedir.

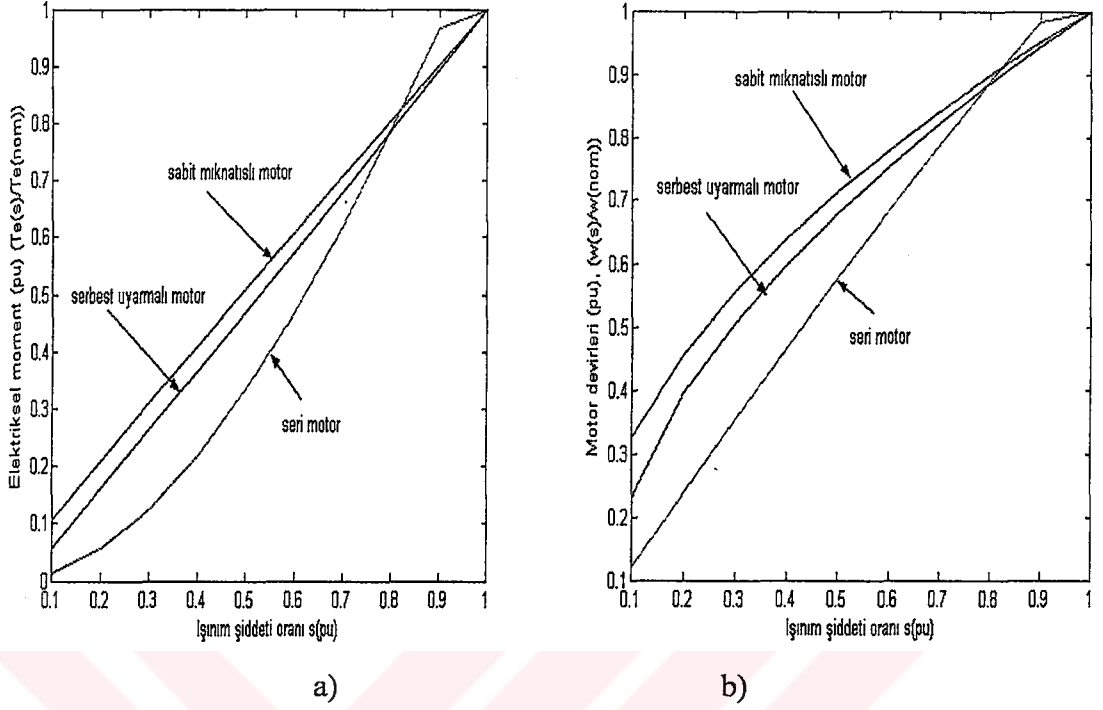
Performans düşmesi en çok seri motorda görülmektedir. Bu durum doğal olarak faydalanma verimlerine, genel sistem verimlerine, moment ve hızlara da yansımaktadır. İstenilen bir ışınım seviyesi için, PV sisteminin paket panellerden oluşması nedeniyle, sistemin maksimum güç noktası ile nominal değerlerin tam olarak uyumu zor olabilir. Blok paneller kısmi parçalara bölünemeyeceği için yaklaşık bir uygun boyutlandırma yapılmaktadır. Nitekim seri motorda en büyük faydalanma verimi Şekil 4.3.c'de 0.9 pu seviyesindeki ışınım oranında oluşmaktadır.

Yüksek ışınımın belirli bir aralığında (0.8 -1 pu) seri motorun, nominal giriş ve mekanik güçlerindeki azalma diğerlerine göre daha düşüktür. Bunun nedeni, motorun nominal değerinin daha düşük ışınımdaki PV maksimum noktasına karşılık gelmesidir. Böylece bu aralıkta motorun I-V karakteristiği, PV karakteristik eğrilerindeki P_m noktalarının sağ tarafında oluşur. Bu bölgede, PV karakteristik eğrileri ile motor I-V eğrilerinin belirlediği çalışma noktaları, bölgenin sol tarafına göre daha az değişmektedir (Bkz. Şekil 4.2.c, Şekil 4.3.a). Bu durum, motor nominal değerlerinin daha düşük ışınım seviyesine karşılık gelmesini sağlayan PV boyutlandırmasını gündeme getirebilir. Ancak ön görülen bir motor için PV boyutları büyür veya seçilen PV boyutunda daha düşük performanslı motor kullanımı gerekir. PV eğrilerinin sağ bölgesindeki çalışma noktaları da P_m noktalarından uzakta olup düşük performans vermektedir.



Şekil 4.3. DA motorların değişen ışınımlardaki birim performans değişimleri

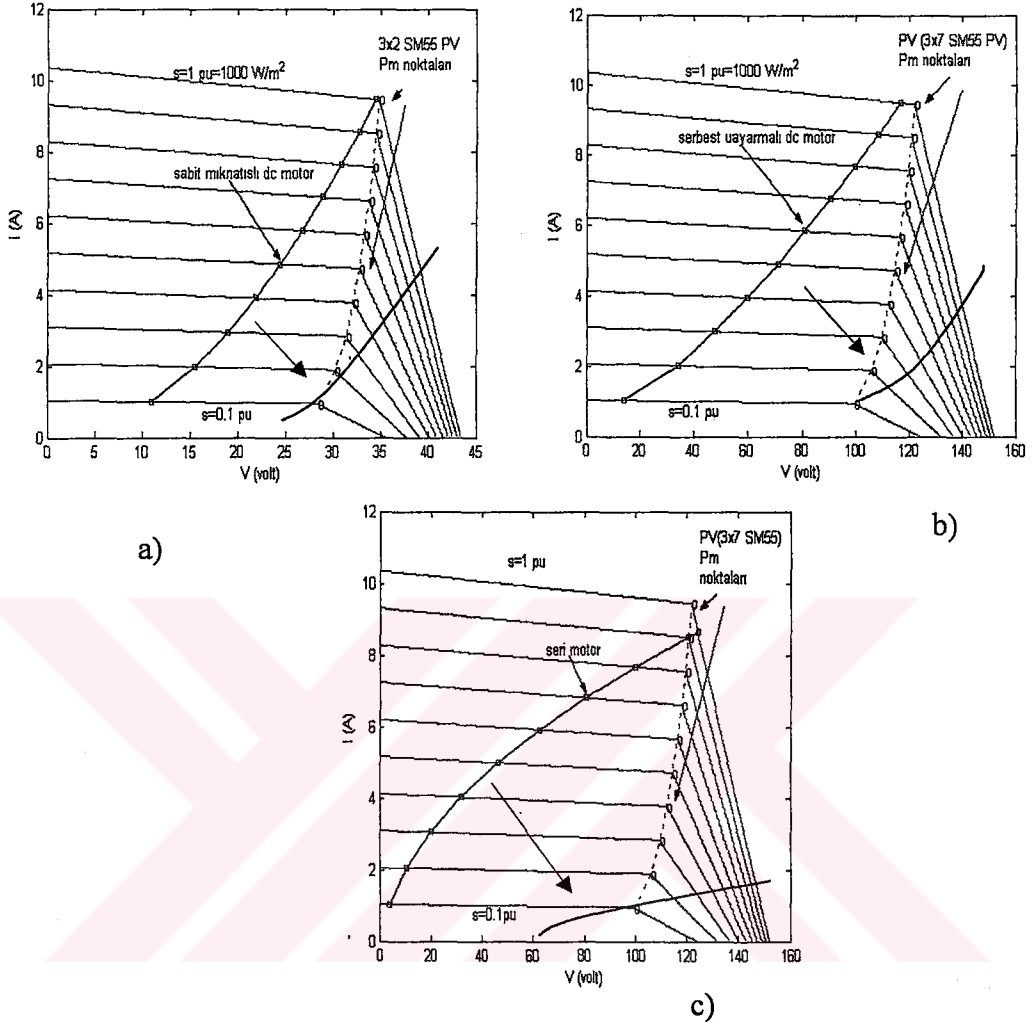
- Giriş güçleri
- Mekanik güçleri
- PV'den faydalanma verimleri
- Genel sistem verimleri



Şekil 4.4. DA motorların PV’de birim moment ve hız değişimleri

- a) Moment değişimi
b) Hız değişimi

Diğer yandan şekil 4.2’deki motor I-V çalışma noktalarının karakteristik yapıları düşünüldüğünde, düşük ışınımına göre boyutlandırma, sabit mıknatıslı ve serbest uyarmalı DA motor için yüksek ışınımlarda tehlikeli olabilir. Bu yan etki, çalışma karakteristik yapısına göre seri motor için daha düşük olabilir (Bkz. Şekil 4.5). En düşük PV maliyeti ve güvenli çalışma için, PV boyutunun, standart ışınımdaki ($s=1$ pu= STC =1000 W/m²) maksimum değerlerin motor nominal değerlerine karşılık gelecek şekilde seçilmesi önerilmektedir. Nitekim düşük ışınım referans alındığında paralel PV dizi sayısı, STC boyutunun (1/s) katı kadar yükselmektedir. Doğrudan bağlantılı sistemler için, standart PV boyutunda, düşük ışınım şiddetlerinde performans azalmalarına karşı, ortalama ışınım enerjisine göre boyutlandırma, performans sürekliliğini genişletmek için bir seçenek olabilir. Bu durumda artan PV boyutları ve maliyetine rağmen, PV kapasitesinden faydalanma verimleri düşebilir.



Şekil 4.5. Nominal değerlerin düşük ışınmaya göre seçilmesi

- a) Sabit mıknatıslı DA motor
- b) Serbest uyarmalı DA motor
- c) Seri uyarmalı DA motor

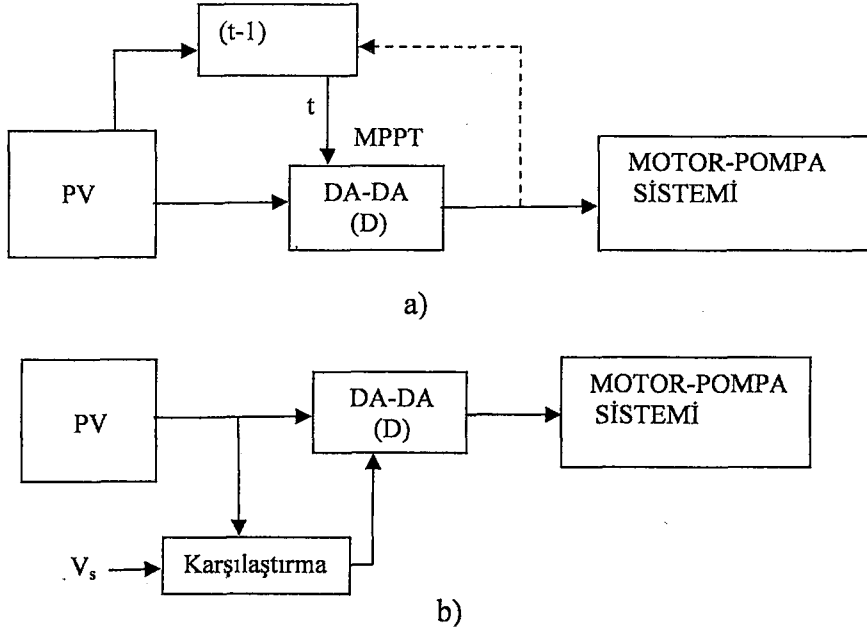
Doğrudan bağlı sistemlerde, genel olarak DA motorun PV'den en yüksek faydalanabileceği bir ışınm seviyesi vardır. Farklı ışınlarda ve özellikle düşük ışınlarda, böylece sistem, PV maksimum güç noktalarında çalışma bakımından yapısal bir uyum problemine sahiptir. Bu da performansı ve faydalanma verimini düşürmektedir.

4.2. Maksimum Güç İzlemeli Sistemler

4.2.1. Maksimum güç izleme prensipleri

Değişen ışınımlarda PV'den maksimum faydalanma için, PV ile pompa motoru arasına maksimum güç izleyici devreler eklenmektedir. Maksimum güç aktarımı açısından PV ile motor arasındaki empedans uyumu, kontrollü DA-DA kıyıcının çevirme oranın (D) ayarlanmasıyla yapılır. Çevirme oranı anahtarlama frekansı ile ilgilidir. DA-DA kıyıcıda, güç transistörü gibi iletim kayıpları düşük ve yüksek frekansta çalışan yarı iletken anahtarlama elemanları kullanılmaktadır. PV pompa sisteminin doğrudan bağlı (normal) karakteristiğine göre, kıyıcı, düşürücü (Buck Converter), yükseltici (Boost Converter) veya bunların ikili (Buck-Boost) şekli olabilir.

Maksimum güç noktalarının izlenmesinde genelde iki yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden maksimum güç izleme (MPPT) cihazı kullanımında, bir önceki sürede ($t-1$) tespit edilen maksimum güç koşullarına göre eş zamanlı (t) olarak motor girişleri kontrol edilmektedir. Maksimum koşullar, PV'den veya kapalı çevrimli tarama süreciyle algılanabilir. Diğer bir yöntem ise sabit gerilimli (V_s) çalışmadır. Geniş bir ışınım aralığı için, PV maksimum güç (P_m) noktalarının yoğunlaştığı bölgeye karşılık gelen optimum bir gerilim değeri (V_s) vardır. Kontrol algoritması, değişen ışınımlara karşı PV çıkışını bu V_s geriliminde tutmak üzere kurulmaktadır. Sabit V_s 'li çalışma, maksimum güç noktası izleme sistemleri için ideal izleme koşullarına %90-98 oranında yaklaşma olanağı vermektedir. Kontrol algoritması MPPT 'li sisteme göre daha kolay görülmektedir (Bloos 2000).



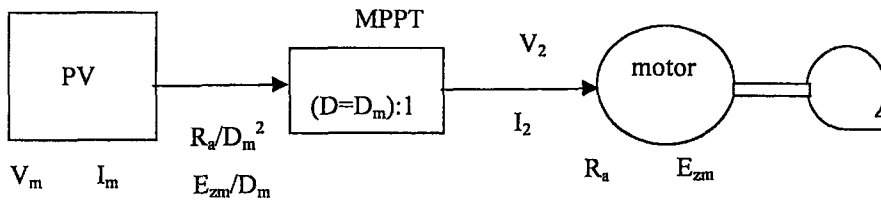
Şekil 4.6. Maksimum güç izleme algoritmaları

- a) MPPT
- b) V_s çalışma

DA-DA kıyıcı ideal kabul edilirse, MPPT'li çalışmada PV maksimum gücü (P_m) pompa motoruna aktarılır. Böylece motor tarafı ortalama gerilimi V_2 ve akımı I_2 terimleriyle ifade edildiğinde maksimum güç koşulları için denklem 4.1 yazılabilir(Saied et al. 1991, Mummmadi 2000).

$$P_m = V_m \cdot I_m = V_2 \cdot I_2 \quad (4.1)$$

MPPT'li sistem için, herhangi bir ışınım seviyesinde sistemin maksimum koşullarda çalışmasını sağlayan optimum bir çevirme oranı ($D=D_m$) vardır. D_m teriminin tespiti ve sistemin performans analizi şekil 4.7'de verilen prensip şema üzerinde yapılabilir.



Şekil 4.7. MPPT'li çalışmada PV ve motor tarafları

İlk olarak ışınımlara göre PV maksimum güç noktaları (V_m, I_m) tespit edilmektedir. Analiz, örnek olarak sabit mıknatıslı bir DA motorlu sistem için yapıldığında, motor tarafındaki akım ve gerilim değerleri aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir.

$$V_2 = V_m \cdot D_m \quad (4.2)$$

$$I_2 = \frac{I_m}{D_m} \quad (4.3)$$

3.Bölümdeki denklem 3.14 -3.16 performans ifadelerinden, motor tarafındaki zıt emk (E_z) maksimum terimler cinsinden tanımlandığında denklem 4.4 elde edilebilir.

$$E_{zm} = K \cdot \omega = K \cdot \left(\frac{(P_m - I_m^2 \cdot R_a)}{K_p} \right)^{\frac{1}{3}} = K \cdot \left(\frac{P_{mekm}}{K_p} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4.4)$$

Denklem 4.4'de P_{mekm} terimi maksimum güçteki mekanik güçtür. Işınıma göre optimum çevirme oranı D_m tespiti için, motor tarafındaki terimler PV tarafına indirildiğinde denklem 4.5 ve 4.6 ifadeleri oluşmaktadır.

$$V_m = \frac{E_{zm}}{D_m} + I_m \cdot \left(\frac{R_a}{D_m^2} \right) \quad (4.5)$$

$$D_m^2 \cdot V_m - D_m \cdot E_{zm} - I_m \cdot R_a = 0 \quad (4.6)$$

Denklem 4.6'nın D_m 'ye göre pozitif kökü optimum çevirme oranıdır.

$$D_m = \left(\frac{E_{zm}}{2 \cdot V_m} \right) + \sqrt{\left(\frac{E_{zm}}{2 \cdot V_m} \right)^2 + \left(\frac{I_m \cdot R_a}{V_m} \right)} \quad (4.7)$$

D_m terimi PV maksimum güç terimlerini içerdiğinden ışınımına göre değişmektedir. Diğer yandan optimum D_m çevirme oranı PV parametreleri yanında aynı zamanda denklem 4.7'e göre E_{zm} terimini içermesi nedeniyle motor ve pompa yükü parametrelerine de bağlı olmaktadır. Çünkü, denklem 4.4'deki zıt emk E_{zm} terimi, motor ve pompa yükü terimlerini içermektedir. Bu durum kapalı çevrimli bir MPPT kontrol algoritması için PV yanında motor ve pompa yük parametrelerinin göz önünde tutulması bakımından bir kriter olarak görülmektedir. D_m belirlendikten

sonra, performans analizi için denklem 4.2-4.3 ile motor tarafı değerleri bulunarak normal performans analizleri yapılabilir. Benzer yaklaşım, diğer motor tipleri için de geçerlidir.

V_s sabit gerilimli işletme durumunda, tipik bir PV sistemi için öncelikle denklem 3.10'da verilen PV performans modelinden ön görülen V_s 'ye karşılık gelen akımlar (I_s) farklı ışınımlar için bulunmaktadır. Işınımlara göre V_s değerlerini sağlayan optimum çevirme oranlarının (D_s) belirlenmesi ve performans analizleri için MPPT'dekine benzer yaklaşımlar yapılabilir. Denklem 4.2-4.7'deki V_m terimleri yerine V_s , I_m terimi yerine V_s 'ye karşılık gelen I_s ve D_m yerine D_s terimleri kullanıldığında aşağıdaki ifadeler elde edilmektedir.

$$P_s = V_s \cdot I_s \quad (4.8)$$

$$V_2 = V_s \cdot D_s \quad (4.9)$$

$$I_2 = \frac{I_s}{D_s} \quad (4.10)$$

$$E_{zs} = K \cdot \omega = K \cdot \left(\frac{(P_s - I_s^2 \cdot R_a)}{K_p} \right)^{\frac{1}{3}} = K \cdot \left(\frac{P_{mekms}}{K_p} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4.11)$$

Denklem 4.11'de P_{mekms} terimi sabit V_s işletme durumundaki mekanik güçtür.

$$V_s = \frac{E_{zs}}{D_s} + I_s \cdot \left(\frac{R_a}{D_s^2} \right) \quad (4.12)$$

$$D_s^2 \cdot V_s - D_s \cdot E_{zs} - I_s \cdot R_a = 0 \quad (4.13)$$

$$D_s = \left(\frac{E_{zs}}{2 \cdot V_s} \right) + \sqrt{\left(\frac{E_{zs}}{2 \cdot V_s} \right)^2 + \left(\frac{I_s \cdot R_a}{V_s} \right)} \quad (4.14)$$

Normal bir sistem için motorun herhangi bir ışınımdaki yol alma momenti (T_{ya}) aşağıdadır.

$$T_{ya} = K \cdot I_{ya} \quad (4.15)$$

K moment sabiti, sabit mıknatıslı motor için sabit, seri ve serbest uyarmalı DA motor için akımla değişmektedir. K değeri, motor parametre ve akı terimlerini içermektedir. I_{ya} terimi motorun ilk yol alma anında PV'den çektiği akımdır. Yol alma anında devir sıfır olduğundan, I_{ya} akımı PV'nin sadece motor sargı dirençlerini beslemesiyle oluşur. Bu dirençler sabit mıknatıslı motor için R_a , seri motor için $(R_a + R_{fse})$ 'dir. Bu direnç değerleri denklem 3.12'de R teriminin yerine konarak I_{ya} akımı bulunabilir. Sabit mıknatıslı DA motora ait MPPT ve V_s çalışmaları için kalkınma momentleri denklem 4.16 - 4.17 ile ifade edilebilir.

$$T_{ya}(\text{MPPT}) = \frac{T_{ya}}{D_m} \quad (4.16)$$

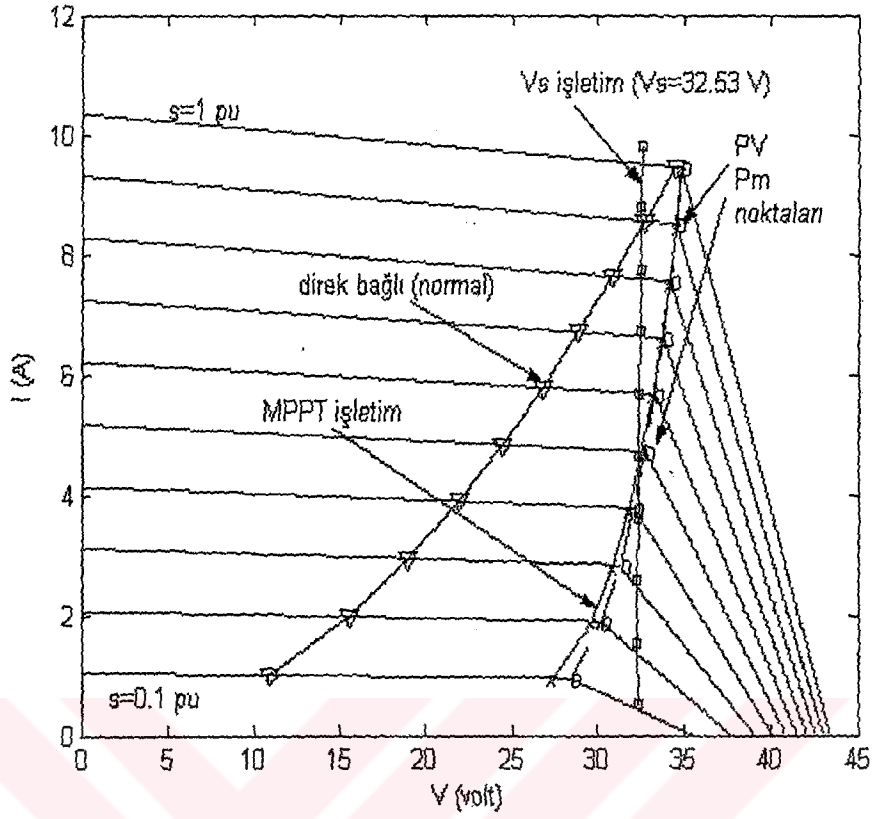
$$T_{ya}(V_s) = \frac{T_{ya}}{D_s} \quad (4.17)$$

Seri motor için, denklem 4.16. ve 4.17'deki D_m ve D_s terimlerinin kareleri alınır. Çünkü seri motorda moment akımın karesiyle orantılıdır. (Bkz. Denklem 3.23, denklem 4.10).

4.2.2. Maksimum güç izleme analizi

Kısım 4.2.1'deki MPPT ve V_s sabit çalışma için verilen tanımlamalar, örnek olarak Suercke et al. (1997)'de verilen 0.37 KW, 36 V, $K=0.095$ N.m/A, $R_a=0.12 \Omega$, $K_p=7.28 \cdot 10^{-6}$ N.m/(rad/s)² 3x2 SM55 özelliklerine sahip bir sabit mıknatıslı pompa motorlu bir sistem için analiz edildiğinde, şekil 4.8-4.10'da verilen performanslara varılmaktadır. PV boyutlandırması, nominal değerlerin birim ışınımdaki ($s=1$ pu=STC=1000W/m²) maksimum koşullara karşılık gelecek şekilde yapılmaktadır.

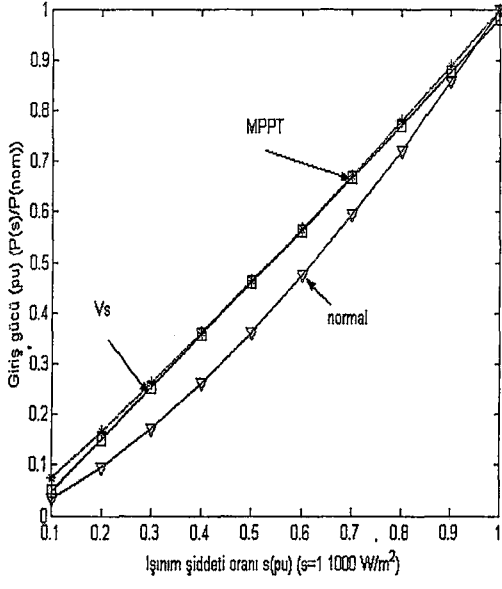
Analiz sonuçlarına göre, aynı sistem üzerinde MPPT ve sabit V_s gerilimli çalışma, direk bağlı (normal) sisteme göre performans arışı sağlamaktadır. Çünkü MPPT ve sabit V_s çalışma gerilimli çalışma, sistemi herhangi bir ışınımdaki PV'nin var olan güç kapasitesinden maksimum faydalandırmaktadır.



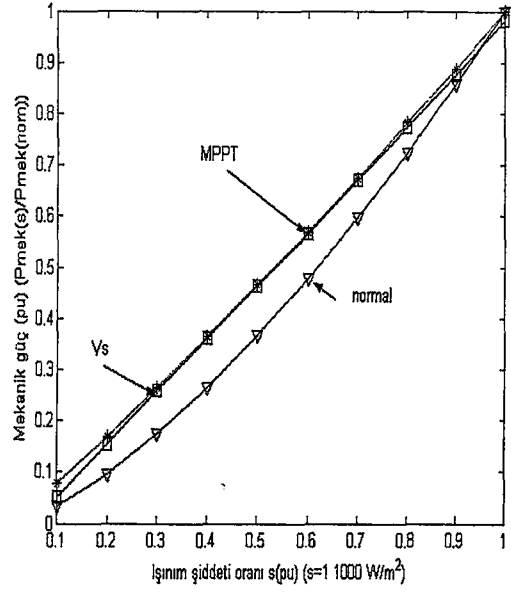
Şekil 4.8. MPPT, V_s ve normal çalışma için PV'de çalışma noktaları

Şekil 4.8'e dikkat edildiğinde MPPT ve V_s gerilimli durumda, çalışma noktaları PV maksimum güç noktalarının oldukça yakınındadır. En yüksek performans gelişimi MPPT'de olup V_s işletme gerilimindeki çalışma performansı, bu değerlere oldukça yaklaşmaktadır. V_s 'li işletmedeki performans değerlerinin biraz daha düşük olması, ön görülen sabit V_s geriliminin geniş bir ışınım aralığında PV'nin yapısal özelliği gereği, kayma gösteren maksimum noktalarının tamamına karşılık gelemeyişinden kaynaklanmaktadır.

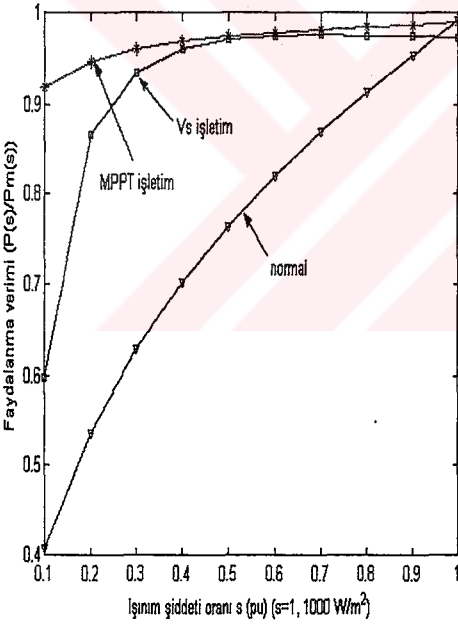
Analizde, örnek alınan ışınım değerleri için PV'nin maksimum gerilimlerin (V_m) ortalaması V_s değeri olarak seçilmektedir. V_s değeri, PV uygulamasının yapılacağı bir bölge için günlük ortalama ışınım enerji seviyesine karşılık gelen PV'nin maksimum gerilim değeri olarak da seçilebilir.



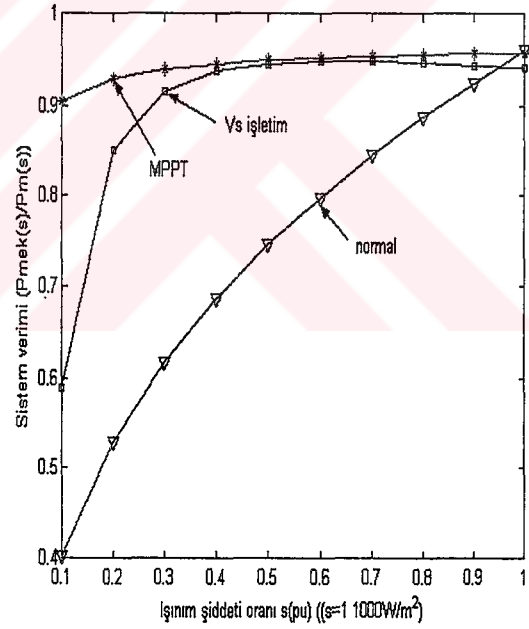
a)



b)



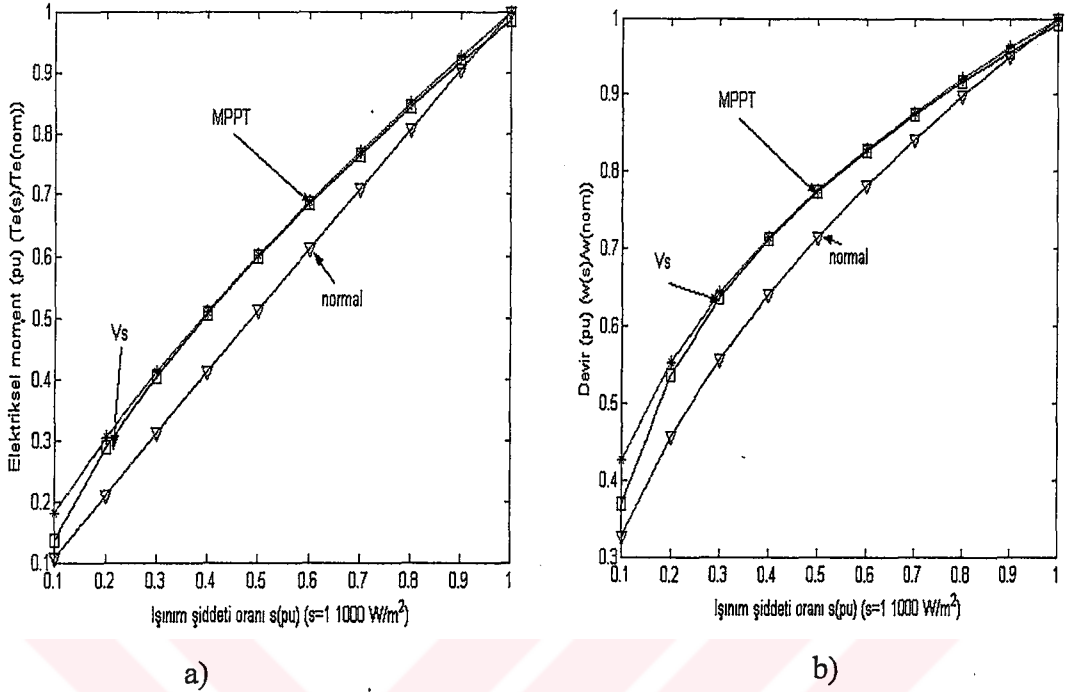
c)



d)

Şekil 4.9. MPPT, V_s ve normal çalışmadaki birim performanslar

- a) Giriş gücü değişimi
- b) Mekanik güç değişimi
- c) Faydalanma verimi
- d) Sistem verimi

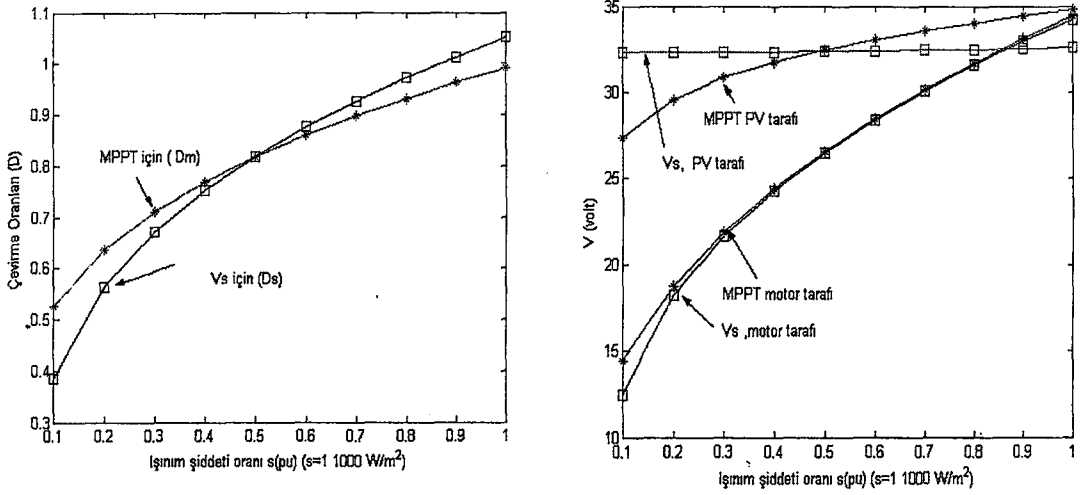


Şekil 4.10. MPPT, V_s ve normal çalışmadaki birim moment ve hız değişimi

- a) Moment değişimi
- b) Hız değişimi

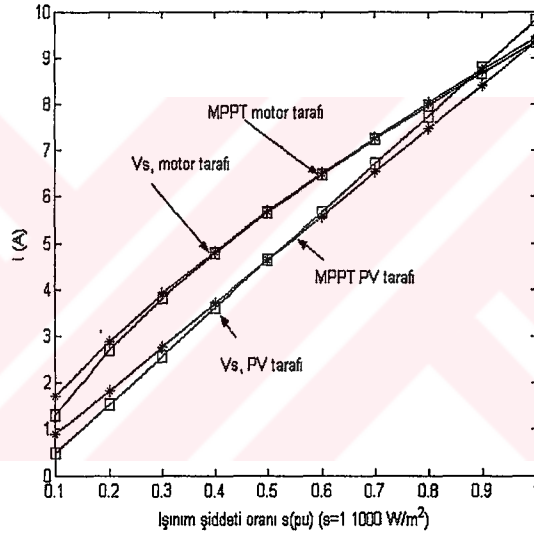
Şekil 4.11.'de, analizi yapılan örnek sistemin, optimum çevirme oranlarının ışınımın birim değerine göre olan değişimleri, PV ve motor taraflarına ait akım ve gerilimlerin durumları verilmektedir.

Şekil 4.11.a'daki değişim, kontrol için yol haritası olarak da kullanılabilir. V_s çalışmada D_s değişimi tanımlanmasa dahi kapalı çevrimli sabit gerilim algoritmasının içinde doğal olarak gerçekleşmektedir. Optimum DA-DA kıyıcı çevirme oranları, genelde örnek sistem için ortalama ışınım bazında birden küçüktür. Şekil 4.8'deki normal çalışma noktaları ile maksimum çalışma noktaları karşılaştırıldığında, sistem normalde maksimum noktalara göre daha düşük empedans karakteri(maksimuma göre düşük gerilim, yüksek akım) göstermektedir. Bu nedenle maksimum koşullarındaki empedansa uyumu bakımından, şekil 4.7 ve denklem 4.2-4.3'deki indirgeme ifadelerine göre PV'nin, düşürücü bir DA-DA kıyıcı ile motora güç aktarması beklenir. Bu durumda D, birden küçük olmaktadır.



a)

b)



c)

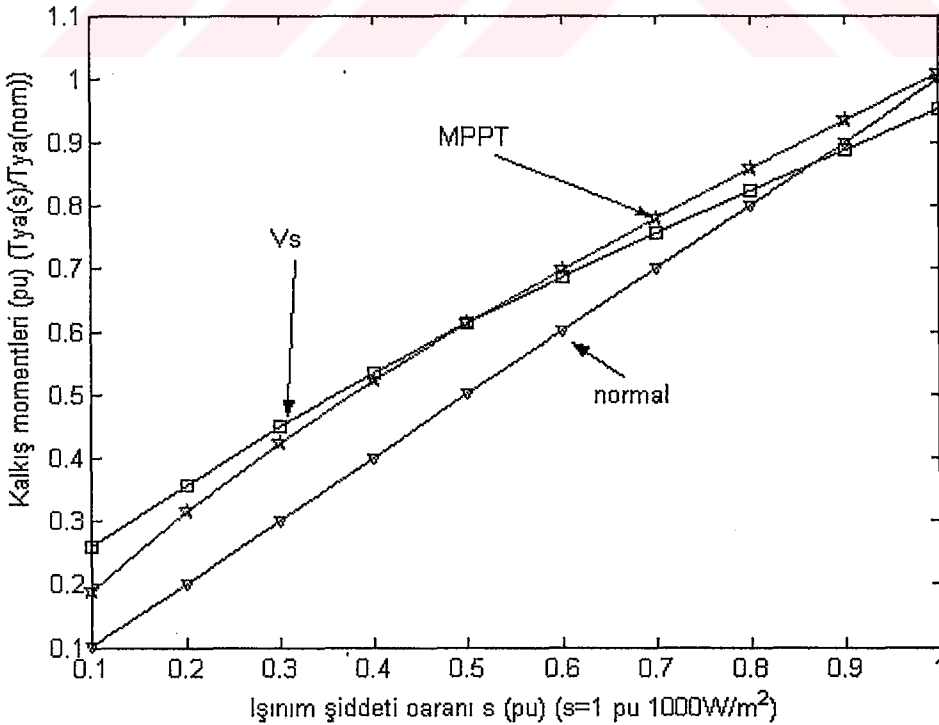
Şekil 4.11. MPPT, V_s ve normal çalışmada D , I ve V .

- a) Işınyıma göre çevirme oranları
- b) PV ve motor gerilimleri
- c) PV ve motor akımları

Motor nominal değerleri örneklenen ışınımyın en büyük değeryindeki maksimum noktalara karşılık geldiğyinden, çevirme oranları artan ışınımyla bire yaklaşıymaktadır. Düşük ışınımylarda V_s sabit gerilimde çalışma durumundaki çevirme oranı D_s , MPPT'deki çevirme oranı D_m 'den daha düşük seyrederken, yüksek ışınımylarda roller değışmektedir. Çünkü Şekil 4.8'e göre V_s çalışma noktaları düz bir hat teşkil ettiğyinden, düşük ışınımylarda maksimum noktalara göre daha büyük, yüksek

ışınımlarda ise daha küçük empedans karakterine sahiptir. Bu durum, MPPT'ye göre düşük ışınlarda daha küçük, yüksek ışınlarda daha büyük çevirme oranı gerektirmektedir. Öyle ki 0.9-1 pu yüksek ışınlarda normal sistem, V_s çalışma noktalarına göre daha büyük empedans karakterine sahip olduğundan sistemin kırıyıcı devresi yükseltici moda dönmektedir. Bu durumda ise D_s birden büyüktür. Analizi yapılan sistem için MPPT'li işletmede DA-DA kırıyıcı düşürücü (buck), V_s işletmede ise düşürücü ve yükseltici (buck-boost) tipte çalışmaktadır. Maksimum güç izleyicili sistemlerde, PV ile motorun akım ve gerilimleri farklıdır. Işınlamanın genelindeki her iki maksimum izleme durumunda kırıyıcı düşürücü tipte çalıştığından motor PV'ye göre daha yüksek akım ve daha düşük gerilimle sürülmektedir (Bkz. Şekil 4.11).

Maksimum güç izlemeli sistemlerle, motor düşük ışınlarda normalden daha yüksek akımla sürüldüğünden kalkınma momentlerinde gelişme beklenmektedir.(Bkz. Denklem 4.16-4.17). Şekil 4.12, analizi yapılan örnek sistemin birim kalkış moment değişimlerini göstermektedir. Analizin verdiği maksimum güç izlemeli sistemlerle kalkış momentlerinde artış sağlanabileceği yargısı, Singer and Appelbaum (1993) ile de uyumludur.



Şekil 4.12. MPPT, V_s ve normal çalışma için birim kalkış momentleri

Motorun nominal değerleri, örnek alınan en yüksek ışınımdaki PV'nin maksimum değerlerine karşılık geldiğinden, yüksek akımla çalışma düşük ışınımlarda motor için tehlikeli olmamaktadır. Aksine PV performansının düştüğü bu bölgede motorun kalkış yeteneğine katkı sağlanmaktadır. Işınım seviyesi yükseldiğinde, optimum çevirme oranları D (D_m ve D_s)'de büyür. D terimi bire yaklaştığında, sistem nominal değerlerinde çalışmaktadır.

şekil 4.12'deki sabit V_s çalışma durumu için, yüksek ışınımlarda birim kalkış momentinin normalin altına düşmesi, şekil 11.a'daki D_s değişiminin yüksek ışınımlarda bir ve birin üstünde seyretmesinin getirdiği akım azalmasına bağlanmaktadır. Düşük ışınımlarda ise D_s terimleri, MPPT'deki D_m terimlerinden daha düşük olduğundan, denklem 4.16 - 4.17'e göre V_s işletme kalkış momentleri, MPPT durumuna göre yüksek olmaktadır. MPPT'li çalışmada, değişen ışınımın genelinde, kalkınma momentleri iyileştirilmiş olup, örneklenen en yüksek ışınımda ise normaldeki değeriyle buluşmaktadır. Normal çalışmadaki en yüksek değer de nominal değerdir.

Analiz sonuçlarına göre, maksimum güç izlemeli sistemlerin, düşük ışınımlarda pompa motorunun PV'den maksimum faydalanma stratejisi üzerine kullanılması önerilmektedir. Bu durumda en düşük maliyetli bir PV boyutlu sistemden maksimum faydalanma olanağı sağlanabilir. En düşük maliyet ve maksimum faydalanma yapılandırılmasında, motor nominal değerleri birim ışınım şiddetindeki ($s=1$ pu 1000 W/m^2 =etiket değerleri) PV maksimum değerleriyle eşleştirilmektedir. Nominal değerlerin daha düşük ışınımlara göre PV'nin maksimum değerlerine eşleştirildiği yapılandırmada, maksimum güç izleme sistemlerinde, empedans uyumu bakımından yüksek gerilimli,düşük akımlı yükseltici DA-DA kıyıcı kullanılmalıdır (Bkz şekil 4.5). Motor tarafının akımı, artan ışınım şiddetine karşı düşürülmüş olup, ışınım seviyelerinin genelinde motorun nominal akımına yakın değerlerde sürüldüğü düşünülürse (bu kontrol algoritmasına bağlı), maksimum güç aktarımı motor tarafında gerilim artışı olarak yansır. Bu durumda motor, sabit momentli ve ışınıma göre gerilim katkısından dolayı devri yükselen bir çalışma gerçekleştirebilir.

Sistemin performans sürekliliği sağlanabilir ancak PV boyutları arttığından maliyet yükselebilir.

Maksimum güç izleme destekli PV pompa sistemleri ek maliyet ve ara sistem kayıpları getirebilir. Nitelik analizinde kontrol ve sürücü sistemi ideal kabul edilmektedir. Gerçekte bu kayıplar olmasına rağmen normal sisteme göre performans artışı sağlamaktadır. Sistemin PV maksimum noktalarını izleme yeteneğinde, kontrol sistemi tasarımı ve algoritmasının etkili olabileceği düşünülmektedir.

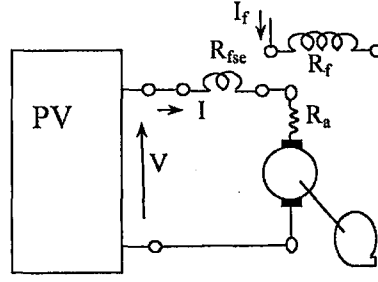


5. DOĞAL MAKSİMUM GÜÇ İZLEMELİ BİR SİSTEM YAKLAŞIMI

Doğrudan bağlı (normal) bir DA motorlu PV pompa sistemleri, basit yapılı olmalarına rağmen, geniş bir ışınım aralığında PV'den maksimum faydalanma zorluğu çekmekte ve performansları düşmektedir. Yapısal karakteristikleriyle PV maksimum değişimleri arasındaki doğal bir uyum problemi, faydalanma verimlerinin en üst düzeyde tutulmasına engel teşkil etmektedir. Bu, değişen ışınımlarda (özellikle düşük ışınımlarda) performansın azalmasında öncelikli bir neden olarak görülebilir. Maksimum güç izlemeli sistemlerde ise, PV'den maksimum faydalanılmakta ve aynı sistem için performans artışı sağlanabilmektedir. Ancak sisteme dahil edilen ek kontrol devreleri, basit yapıyı bozmakta, ek kuruluş ve işletme maliyeti getirebilir. MPPT için, hızlı ışınım değişimlerinde kontrol sisteminin cevabında eş zaman problemi oluştuğunda, sistemin aksamaması veya maksimum noktaların dışında çalışma gibi problemler söz konusu olabilir.

Üzerinde herhangi bir kontrol devresi bulunmayan, aynı zamanda maksimum güç izlemeli sistem gibi PV maksimum noktalarında çalışmaya eğilimli olan, performansı yüksek bir sistem topolojisi yapılabilir. Önerilen sistemde, bir PV boyutu için pompa motoru uygun şekilde yapılandırılmaktadır. Öyle ki Akbaba et al (1998) ve Kolhe et al. (2000)'de performansın artışı için, doğrudan bağlı sistemlerde uygun bir motor seçimi de önerilmektedir.

Doğal izlemeli bir sistem yaklaşımı için, öncelikle şekil 5.1 ile prensip olarak verilen seri ve serbest uyarmalı DA motordan oluşan PV pompa sistemi ele alınmaktadır. Sistemdeki motor parametreleri, Mummadi (2000)'deki seri veya serbest uyarmalı olarak kullanılan motordan alınmaktadır. Bu değerler; 120 V, 9.2 A, 1500 d/dak, $R_a=1.5 \Omega$, $R_{fsc}=0.7 \Omega$, $K=0.67 \text{ N.m/A}$, $M_{as}=0.069 \text{ H}$, $K_p=1.54 \cdot 10^{-4} \text{ N.m/(rad/s)^2}$ 'dir. PV boyutu , 7 seri ve buna paralel 3 dizili SM 55'lerden oluşmaktadır.

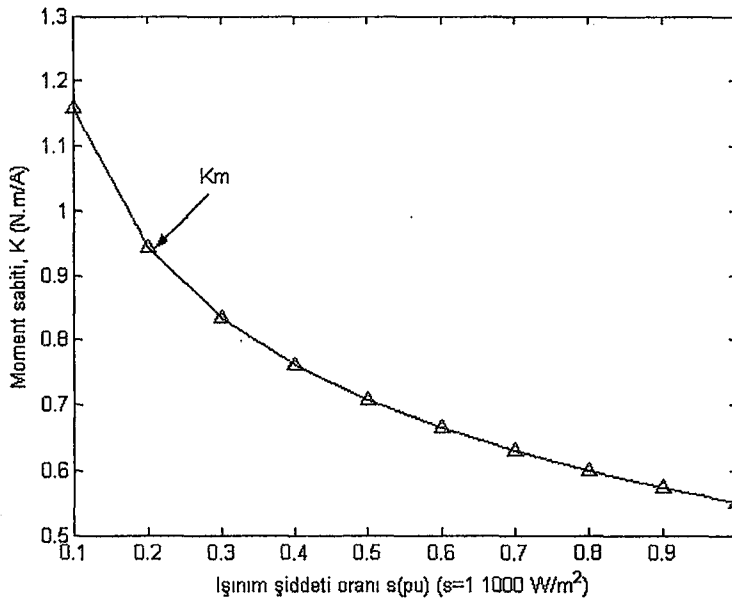


Şekil 5.1. Seri ve serbest uyarmalı DA motorlu PV pompa sistemi

Şekil 5.1'deki sistemi PV maksimum noktalarında çalıştıran motora ait uygun bir moment sabiti vardır. Bu, K_m olarak tanımlanmakta ve değeri ışınım şiddetine göre değişmektedir. Herhangi bir ışınım için K_m terimi, kısım 3.2'deki performans ifadelerinden, denklem 5.1 ile tanımlanabilmektedir. K_m tespitinde, sistemin geneli serbest uyarmalı motor gibi düşünülmemekte ve seri sargı direnci (R_{fse}) hesaplamaya dahil edilmektedir.

$$K_m = \left[(V_m - I_m \cdot (R_a + R_{fse})) \cdot \left(\frac{K_p}{V_m \cdot I_m - I_m^2 \cdot (R_a + R_{fse})} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (5.1)$$

K_m tespiti için öncelikle PV maksimum değerleri tanımlanmaktadır. Daha sonra sistemin parametreleri denklem 5.1'e uygulandığında Şekil 5.2'deki karakteristik elde edilmektedir.



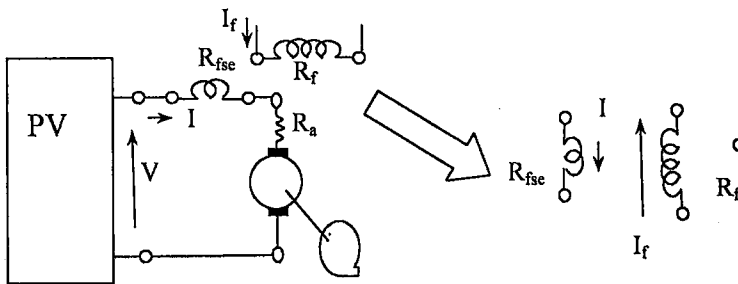
Şekil 5.2. Işınımına göre optimum K_m değişimi

Şekil 5.1'deki sistemin ortak K terimi (böylelikle Şekil 5.2'deki K_m değerleri), seri ve serbest uyarma sargı parametreleri ve akımlarını bünyesinde taşımaktadır (Bkz denklem 3.17,3.21). Akı –akım değişimlerinin doğrusal olduğu bölgede çalışıldığı kabul edilirse, sistemin ortak K terimi (K_{sis}), denklem 5.2 ile ifade edilebilir.

$$K_{sis} = M_{af} \cdot I_f \pm M_{as} \cdot I = K_1 \pm M_{as} \cdot I \quad (5.2)$$

Serbest uyarma sargısına ait terim sabit kabul edilebilir ve K_1 ile tanımlanmaktadır. Denklem 5.2'deki ikinci terimlerin önündeki işaret, sargı akımlarının yönleriyle ilgilidir. Her iki sargıların akıları aynı yönde ise (+), etkilerini azaltacak yönde ise (-) işareti kullanılmaktadır. Akıların yönü akımların yönlerine bağlı olduğundan, bağlantı sıralaması veya da besleme yönü değişimiyle ilgili durum ayarlanabilir. Şekil 5.2'ye göre, sistemi maksimum çalıştıran K_m , ışınımla azalmaktadır. Bu azalma, dar bir aralıktaki düşük ışınımlarda logaritmik olup, yüksek ışınımlarda doğrusal kabul edilebilir. Şekil 5.2'deki değişim referans alındığında, yapısal olarak doğal bir maksimum izleme için K_{sis} terimi ışınımla azaltılmalıdır. Işınım PV akımına (I) doğrudan etki eder. Böylece K_{sis} ifadesinin K_m değişimine benzetişimi açısından, denklem 5.2, I akımına karşı azalan bir fonksiyon olarak tanımlanmalıdır. Sistemin, yapısal özelliği ile maksimum izlemeye eğilimli çalışması için K_{sis} ifadesi denklem 5.3'de, prensip yapısı ise şekil 5.3 ile verilmektedir.

$$K_{sis} = K_1 - M_{as} \cdot I \quad (5.3)$$



Şekil 5.3. Doğal karakteriyle maksimum güç izlemeli sistem

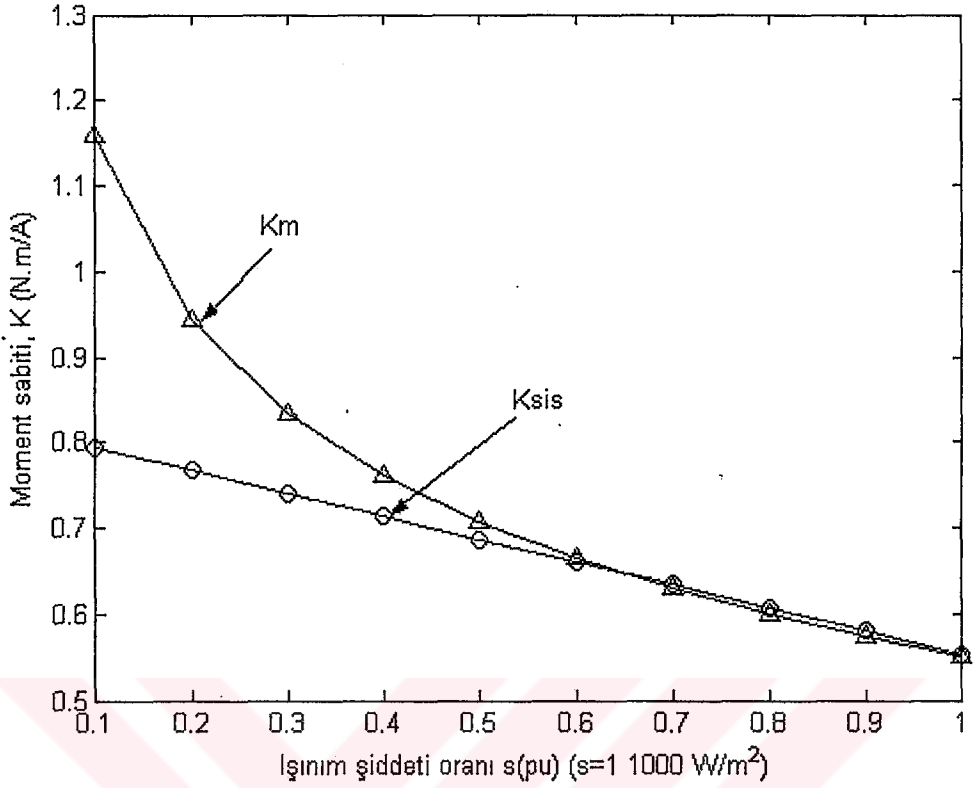
Geniş bir ışınlam aralığında şekil 5.3'deki sistemin, PV maksimum noktaları izleme başarısı, denklem 5.3 ile ifade edilen K_{sis} 'in K_m değişimine olan yakınlığına bağlıdır. Bunun için, verilen PV boyutu ve sargı dirençleri için sistem üzerinde M_{as} ve K_1 optimizasyonu yapılması düşünülmektedir. Optimizasyonda şekil 5.4 kullanılmaktadır. K_{sis} teriminin örneklenen ışınlam aralığı için denklem 5.3 tabanında, şekil 5.4'deki gibi değişmesi ön görülmektedir. Ön görülen K_{sis} değişimi, genel bazda K_m 'ye en çok yaklaştığı (veya buna eşit olduğu) durumdur. K_m karakteristiğinin baskın olan doğrusal bölgesiyle, denklem 5.3'deki doğrusallık, K_{sis} 'in yüksek ışınlamdan düşük seviyelere doğru K_m 'ye yakın bir şekilde tanımlanmasını gerektirmektedir. PV pompa sistemlerinde genelde yüksek performansların ve aktif çalışma bölgelerinin orta ve yüksek ışınlamda olduğu düşünüldüğünde, bu seviyelerde K_{sis} 'in K_m 'ye yakın olması sistem performansı açısından faydalı görülmektedir. Düşük ışınlam bölgesinde K_m 'nin üstel olarak azaldığı bölgede K_{sis} değişimi ön görülürse, yakınlık derecesi azalabilir ayrıca denklem 5.3 düşünüldüğünde K_1 değerinin büyümesi gerektiğinden serbest uyarma için önerilen duruma göre daha yüksek akıma ihtiyaç duyulabilir. Bu durumda serbest uyarma sargısı bir PV'den besleniyorsa PV maliyeti yükselebilir. K_{sis} 'in ön görülen şekilde değişmesini sağlayacak sistem optimizasyonu için denklem 5.4 yazılabilir.

$$\begin{aligned} K_{sis}(\max) &= K_1 - M_{as} \cdot I_m(\min) \\ K_{sis}(\min) &= K_1 - M_{as} \cdot I_m(\max) \end{aligned} \quad (5.4)$$

Denklem 5.4'de ışınlamla K_{sis} azalması gerektiğinden, K_{sis} 'in en küçük değerinde PV maksimum akımının örneklenen en yüksek ışınlamdaki değeri ($I_m(\max)$); bunun tersi ise maksimum akımın en düşük ışınlamdaki değeri ($I_m(\min)$) kullanılmaktadır. $I_m(\max)$ motorun nominal akım değeri olarak alınırsa, $K_{sis}(\min)$ nominal K değeri olarak alınabilir. $K_{sis}(\max)$ şekil 5.4'den tahmin edilebilir.

Analizdeki örnek PV pompa sistemi için, optimum K_1 ve M_{as} değerleri denklem 5.5'deki denklem sisteminden bulunabilir.

$$\begin{aligned} 0.8 &= K_1 - M_{as} \cdot (0.945) \\ 0.56 &= K_1 - M_{as} \cdot (9.45) \end{aligned} \quad (5.5)$$



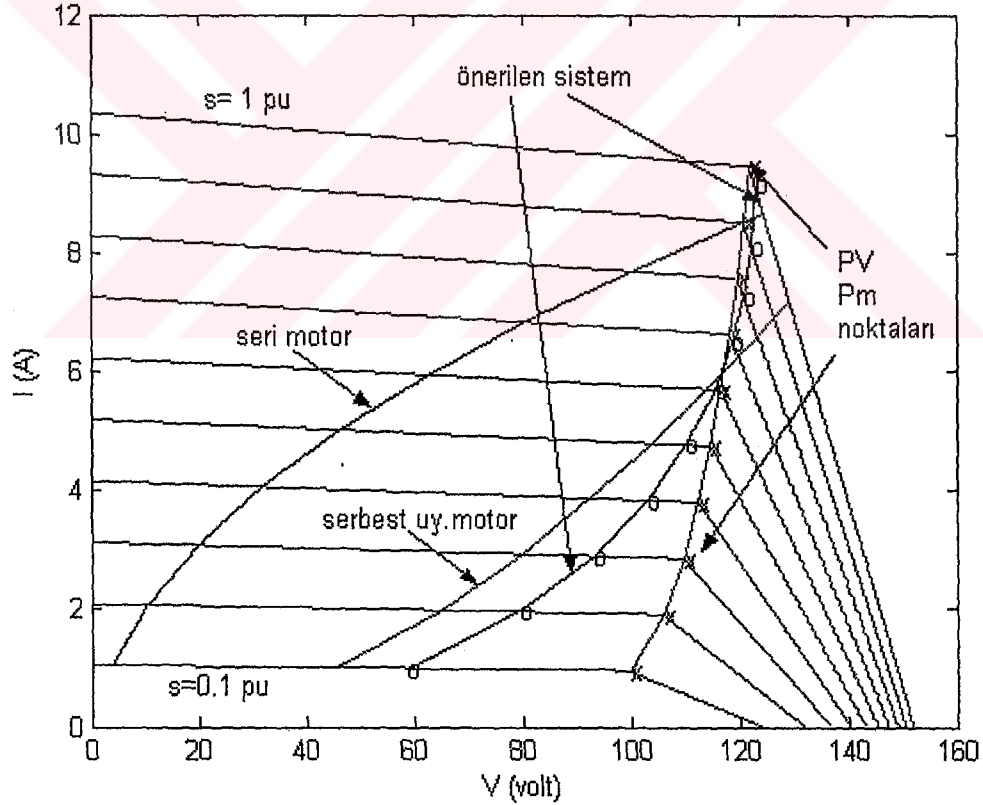
Şekil 5.4. Işınımına göre optimum K_m ve K_{sis} değişimleri

Denklem 5.5'den serbest uyarıya ait moment sabiti $K_1=0.82$ N.m/A, $M_{as}=0.0282$ H. olarak hesaplanmaktadır. Bu optimum değerleri taşıyan K_{sis} değişimi şekil 5.4'de verilmektedir. Örnek sistemdeki PV boyutu, pompa yükü ve sargı dirençlerini önerilen sistem de taşımaktadır. Önerilen sistem için, denklem 5.5 ile hesaplanan optimum parametreler (K_1 ve M_{as}) de kullanılarak performans analizi yapılabilir. Önerilen sistemin genelinde serbest uyarı özelliği seri uyarıya göre baskın çalışmaktadır. Doğal bir maksimum güç izlemesi için, ışınım şiddeti yükseldikçe serbest uyarı alanının etkisi, artan seri sargı alanıyla uygun bir şekilde azaltılmaktadır. Seri alan sargısı, dengeleyici bir işlev yapmaktadır. Analizden önce, şekil 5.4'deki K_{sis} 'in K_m 'ye yakınlık derecesi baz alınarak önerilen sistemin yüksek ışınım seviyelerinde PV maksimum noktalarında yapısal özelliğiyle çalışabileceği tahmin edilmektedir. Önerilen sistemin, örnek sistemdeki DA motorun seri ve serbest uyarı şekilleriyle olan performans karşılaştırması yapılabilir. İlgili parametre değerleri Tablo 5.1'de sunulmaktadır.

Örnek sistemin seri ve serbest uyarmalı DA motorlu çalışma durumlarıyla, doğal maksimum izleme için alan azaltmalı optimize edilmiş sistemin çalışma noktaları şekil 5.5'dedir. Örnek sistemdeki en yüksek performans seri motorlu tipe olduğundan, birim performans karşılaştırmasında seri motor referans olarak alınmaktadır.

Tablo 5.1. Örnek sistem ve önerilen sistem parametreleri

		R_a (Ω)	R_{fsc} (Ω)	K_p N.m/(rad/s) ²	PV (SM55)	K (N.m/A)	M_{as} (H)
Örnek Sistem	Serbest uyarmalı	1.5	-	$1.54 \cdot 10^{-4}$	3x7	0.64	-
	Seri motor	1.5	0.7	$1.54 \cdot 10^{-4}$	3x7	-	0.069
Önerilen sistem		1.5	0.7	$1.54 \cdot 10^{-4}$	3x7	$K_1=0.82$	0.0282

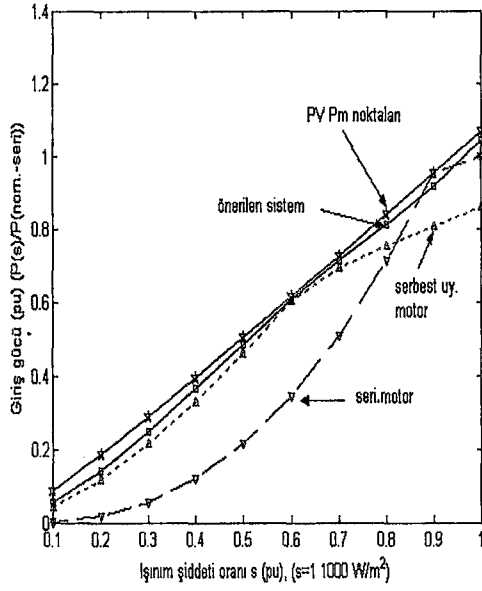


Şekil 5.5. Önerilen sistem ile örnek sistemin PV'deki çalışma noktaları

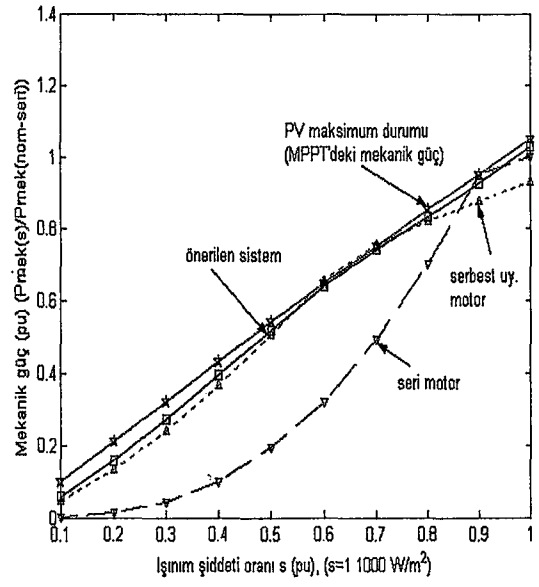
Şekil 5.5'e göre , örnek sistemin her iki tipine ait olan çalışma karakteristiği, daha önceki kısımlarda değinilen direk bağlı çalışma özelliklerini taşımaktadır. Geniş bir ışınım aralığında, seri ve serbest uyarmalı motorlar sadece bir ışınım seviyesinde PV

maksimum noktalarında çalışmaktadır. Farklı ışınımlarda ise karakteristikleri gereği maksimum noktaların uzağında çalışmaktadır. Oysa optimize edilmiş önerilen sistem ise, herhangi bir kontrol devresi kullanmadan PV maksimum noktalarında çalışmaya eğilimli bir karakteristik çizmektedir. Yüksek ışınımlarda ise PV'nin P_m noktalarını izlediği söylenebilir. Çünkü önerilen sistemin moment sabiti ışınım değişmelerine karşı uygun şekilde yapısal bir otokontrol ile değişmektedir. Şekil 5.4'e dikkat edildiğinde, önerilen sistemdeki K_{sis} , yüksek ışınım bölgesinde sistemi maksimum çalıştıran K_m 'ye oldukça yakın seyretmektedir. Bu durum önerilen sistemin, yüksek ışınımlarda maksimum izleme yeteneğini güçlendirmektedir. K_{sis} katsayısının karakteristiği doğrusal olduğundan, düşük ışınımlarda, önerilen sistemin düşük ışınımlarda maksimum noktalarda çalışmasını zorlaştırmaktadır. Nitekim şekil 5.4'deki K_{sis} , küçük bir aralıktaki düşük ışınım seviyesinde K_m 'den uzaklaşmaktadır. Buna rağmen, önerilen sistem, düşük ışınımlarda seri motor tipine göre maksimum güç izlemede üstün olan serbest uyarımalı DA motordan da daha yüksek derecede maksimum noktalara yaklaşım göstermektedir. Önerilen sistemdeki maksimum noktalarda çalışma eğilimi, performanslara da yansımaktadır. Birim performans karşılaştırmaları şekil 5.6 -5.8'de verilmektedir.

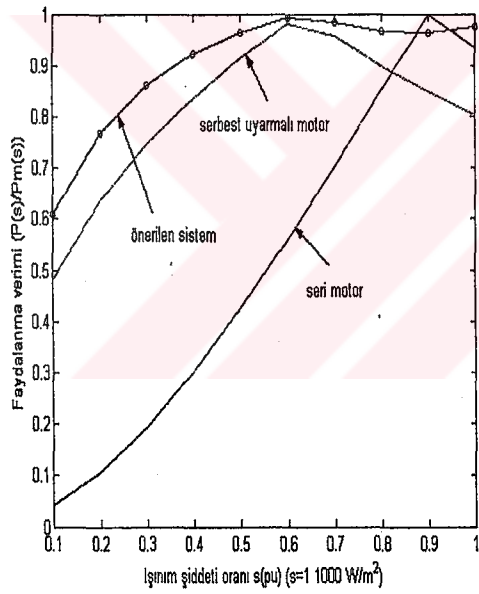
Analiz sonuçlarına göre, düşük ışınım seviyelerinde, örnek sistemin serbest uyarımalı DA motor durumu, yüksek ışınımlarda ise seri motor durumu daha yüksek performans sağlamaktadır. Optimize edilmiş önerilen sistem ise geniş bir ışınım aralığında, her iki durumun yüksek performans özelliklerini taşımaktadır. Böylece faydalanma ve sistem verimleri geniş bir aralıkta üst düzeylerde tutulabilmektedir (Bkz. Şekil 5.6). Önerilen sistemde, düşük ışınımlarda seri sargının serbest uyarıma sargısına olan etkisi, düşük I akımı nedeniyle çok azdır. Sistem serbest uyarımalı motor gibi çalışır. Işınım şiddeti yükseldiğinde artan I akımıyla birlikte seri sargının sisteme olan etkisi yükselir. Maksimum güç noktası izlemesi için, şekil 5.2 ile ön görülen K'nın düşmesi sağlanmaya başlar. Yükselen ışınıma rağmen, serbest uyarıma sargısının sisteme olan hakimiyeti devam etmekte ve seri sargı uygun K değişimini sağlayan bir işlev görmektedir. Işınımın genelinde, örnek alınan sistemin serbest uyarımalı motor şekli, önerilen sisteme daha yakın çalışmaktadır. Önerilen sistem, maksimum güç izlemeye eğilimli olduğundan, moment ve hız gelişimi de sağlanmaktadır (Bkz.Şekil 5.7).



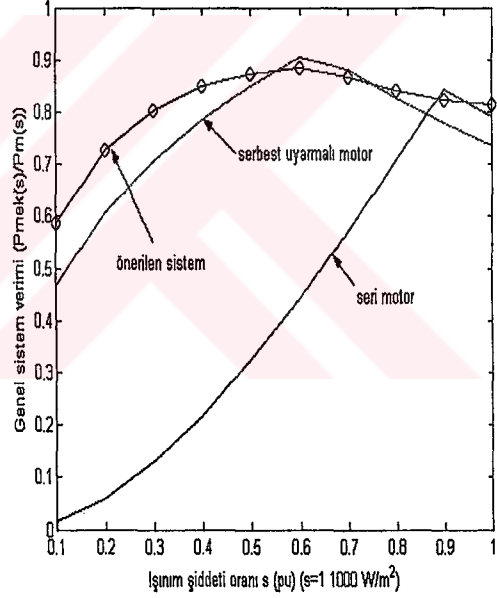
a)



b)



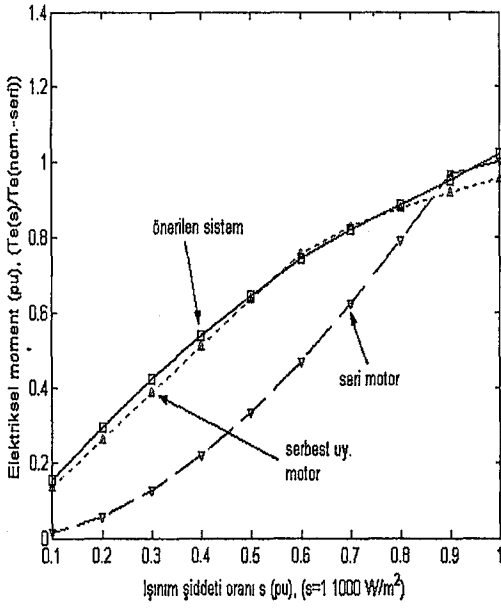
c)



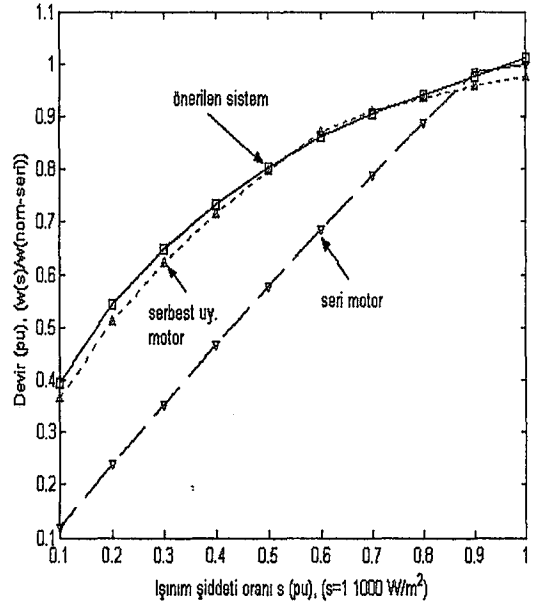
d)

Şekil 5.6. Önerilen sistem ve örnek sistem performansları

- a) Birim giriş güçleri
- b) Birim mekanik güçler
- c) PV'den faydalanma verimleri
- d) Sistem verimleri



a)

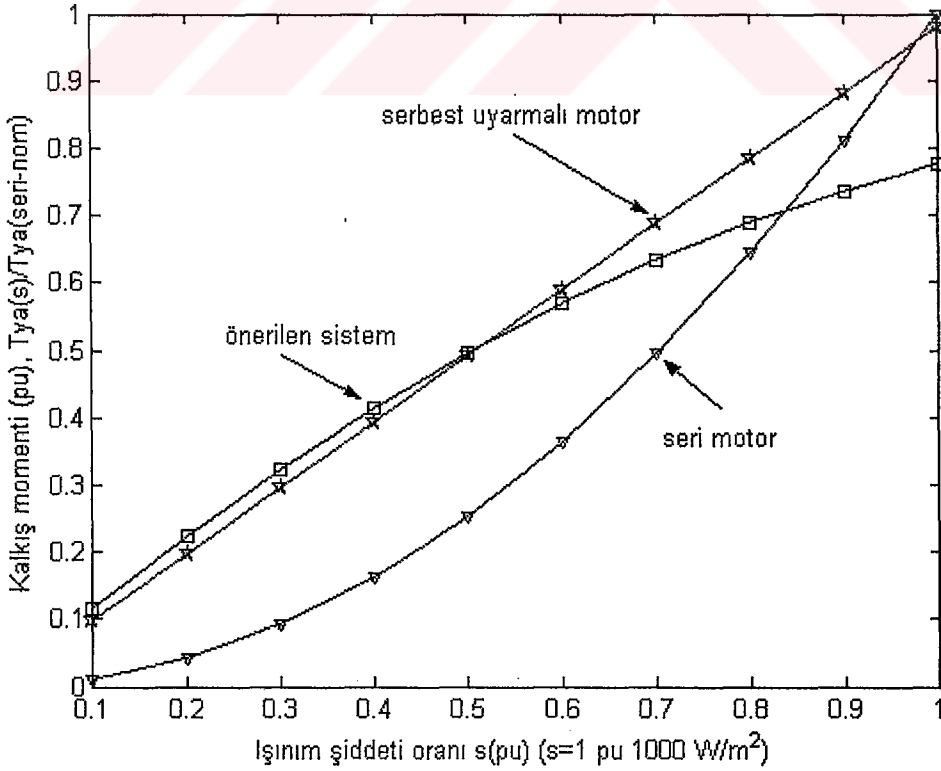


b)

Şekil 5.7. Önerilen sistem ve örnek sistem için birim moment ve hızlar

a) Birim moment değişimi

b) Birim hız değişimi



Şekil 5.8. Önerilen sistem ve örnek sistem birim kalkış momentleri

Önerilen sistemin optimize edilmiş sabit K_1 terimi tablo 5.1'e göre örnek sistemin serbest uyarmalı sabit K teriminden yüksektir. Bu, önerilen sistemin, örnek sistemin baskın olan serbest uyarmalı motor durumuna göre daha fazla moment üretmesini sağlamaktadır. Yüksek ışınım seviyelerinde önerilen sistem, PV'nin maksimum noktalarının çok yakınında çalıştığından hız artışı da sağlanmaktadır. Hız ve moment artışı, örnek sistemin seri uyarmalı tipinde ışınım seviyesi ile yükselmeye başlamaktadır. Bu durumda, önerilen sistem seri motor düzeyine yaklaşarak çalışmaktadır.

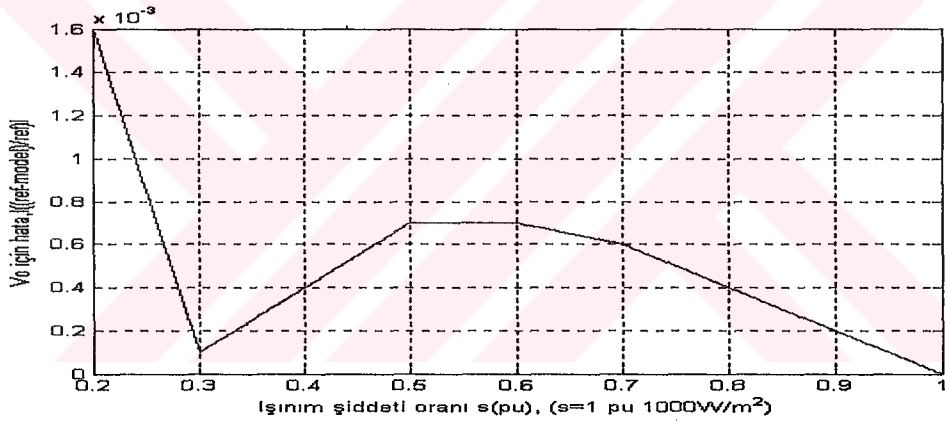
Şekil 5.8'de kalkış momentlerinin normalize değerleri verilmektedir. Düşük ışınım şiddetlerinde, önerilen sistemin moment sabiti K_{sis} , örnek sistemin serbest uyarmalı tipindeki değerine göre büyük olduğundan kalkış momenti daha yüksektir. Işınım şiddeti yükseldikçe örnek sistem durumlarına göre önerilen sistemin kalkış momentlerinde azalma görülmektedir. Çünkü, önerilen sistemin moment katsayısı K_{sis} terimi azalmaktadır. Ancak bu durum, yükselen ışınımın getirdiği akım artışı nedeniyle moment için bir problem oluşturmamaktadır. Aksi düşünüldüğünde düşük ışınım şiddetlerinde, önerilen sistemin işlev görmediği bir pompa sisteminde doğal olarak örnek sistem şekilleri de pasif olabilecektir.

Önerilen sistemde herhangi bir nedenle serbest uyarma devresinde bir problem olduğunda, sistemin çalışması devam edebilir. Çünkü, önerilen sistem seri motor durumuna geçer.

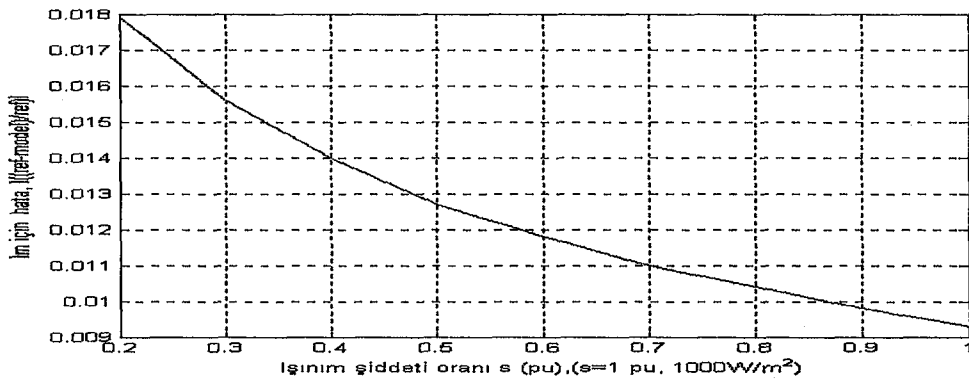
Önerilen sistem geniş bir ışınım aralığında, herhangi bir kontrol devresi kullanmadan PV'nin P_m noktalarını izleyebilmektedir. Öyle ki önerilen sistemin karakteristikleri, önceki kısımda verilen maksimum izlemeli sistemlerden V_s işletme karakteristiklerine oldukça benzemektedir. Bu benzerlikler, özellikle faydalanma ve sistem verimleri açısından Şekil 4.9 ile Şekil 5.6 arasında; kalkınma momentleri açısından Şekil 4.12 ile Şekil 5.8 arasında görülebilir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

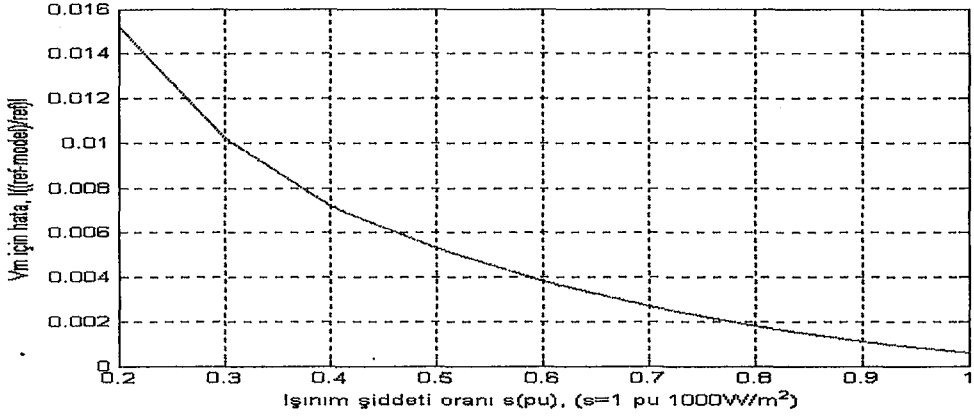
• PV çalışmalarında, yaygın olarak kullanılan ve bazı özel parametreler gerektiren tek diyot modeline alternatif bir PV modeli hazırlanmaktadır. Alternatif PV modeli sadece temel etiket değerlerini kullanarak farklı ışınımlarda performans tahmini sağlamaktadır. Bu model, sabit dolgu faktörüne (FF) dayanmaktadır. Önerilen PV modeli, referans model olarak alınan tek diyot modeliyle oldukça uyumludur. Örnek olarak, geniş bir ışınım aralığında, iki model arasındaki bağıl hatalar, açık devre gerilimi (V_o) için %0.05, maksimum güç noktalarındaki akımlar (I_m) için %1.25, gerilimler (V_m) için %0.53 ve güçler (P_m) için %1.72 gibi oldukça düşük seviyelerdedir.



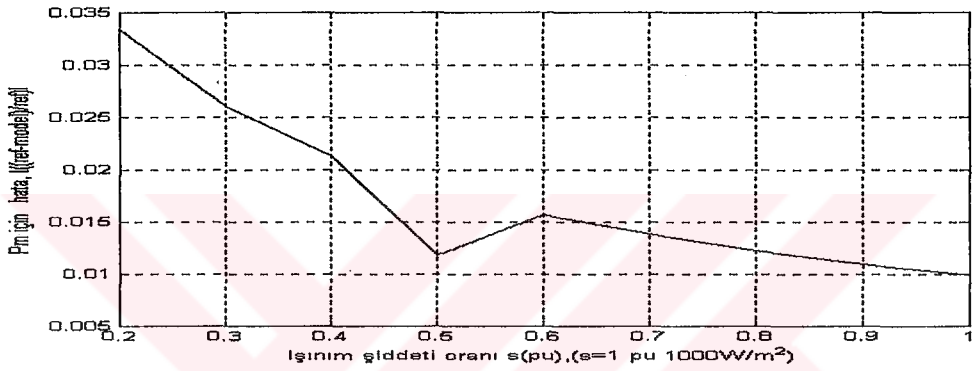
Şekil 6.1. Tek diyot modeli (referans model) ile önerilen modelin V_o tahmini için bağıl hataları



Şekil 6.2. Tek diyot modeli ile önerilen modelin I_m tahmini için bağıl hataları



Şekil 6.3. Tek diyot modeli ile önerilen modelin V_m tahmini için bağıl hataları

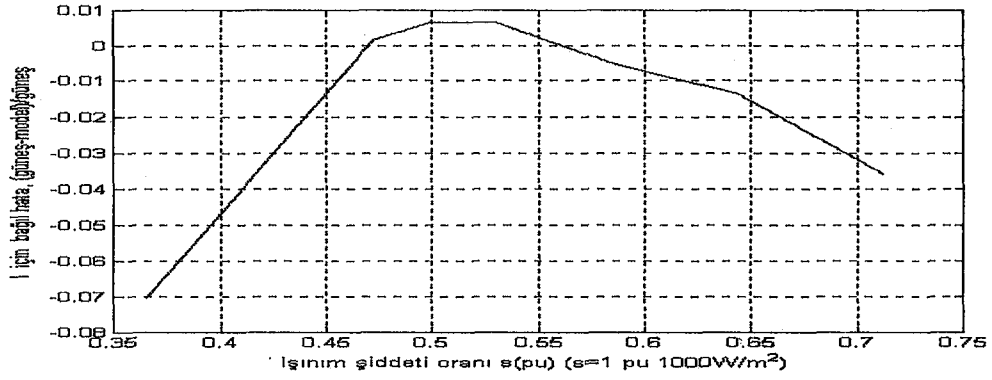


Şekil 6.4. Tek diyot modeli ile önerilen modelin P_m tahmini için bağıl hataları

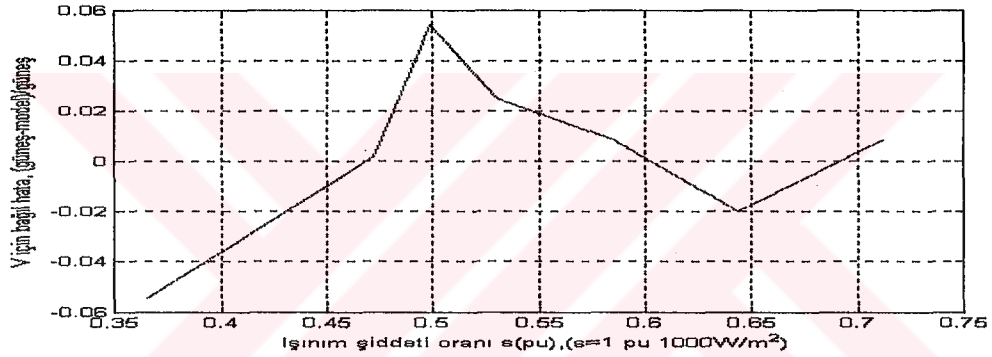
- PV pompa sistemleri için performans model tanımlamaları yapılmaktadır. Herhangi bir ışınım için model tanımlamalarıyla ön görülen sistem çalışma noktaları, PV ile motor pompa sistemi I-V cevaplarının eşitlenmesi temeline dayanmaktadır.

- Önerilen alternatif PV modeli ve motor- pompa sistemi modellerinin bir arada düşünüldüğü PV-DA motor-pompa sistemi modelinin geçerliliği, güneş altındaki örnek bir PV pompa sistemi üzerinde test edilmektedir. Test sonuçları ile model tahminleri arasında oldukça iyi bir uyum vardır. Geliştirilen model, özellikle orta ve yüksek ışınım seviyelerinde ortalama olarak örnek pompa sisteminin gerçek güneş altındaki akım (I) cevaplarını %1.1, gerilim(V) cevaplarını %1.9 ve güç(P) cevaplarını %2.6 'lık bağıl hata değerleriyle tahmin edebilmektedir. Bu hatalar, PV modelinin yanında pompa sistemi için hazırlanan modeli de içermektedir. Analizlere göre, doğrudan bağlı bir sistemin PV maksimum noktalarının sol bölgesinde çalıştığı durumda, sıcaklığın çalışma noktalarına etkisi çok düşüktür. Bu yüzden örnek test

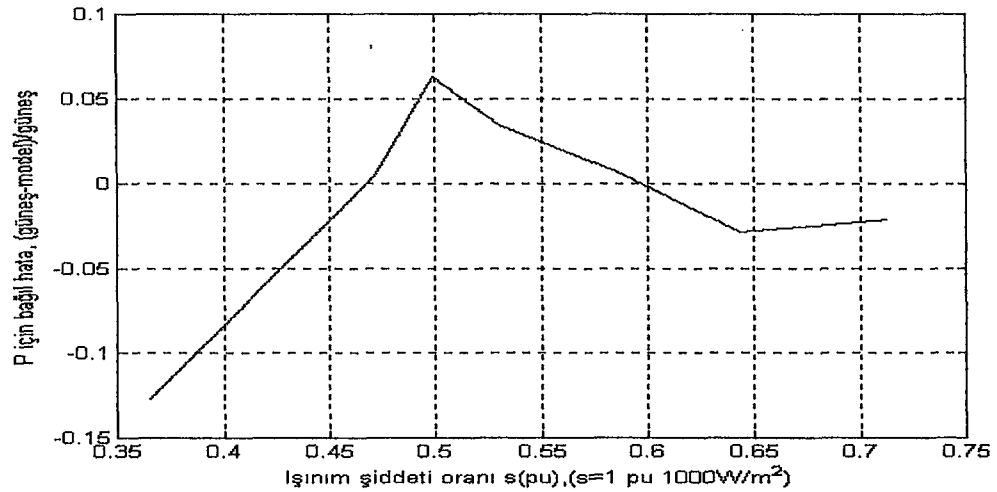
sistemi için, sıcaklık etkisi PV modeline dahil edilmemektedir. Işınım şiddeti oranı s , ölçülen PV kısa devre akımlarının STC'deki kısa devre akımına oranlarıyla tanımlanmaktadır.



Şekil 6.5. Güneş altında ve model arası I sistem akımı için bağıl hata değişimi



Şekil 6.6. Güneş altında ve model arası V sistem gerilimi için bağıl hata değişimi



Şekil 6.7. Güneş altında ve model arası P sistem giriş gücü için bağıl hata değişimi

- Tezde verilen PV modeli ve genel pompa sistemi, MATLAB-Simulink ortamında tanımlanmaktadır (Bkz. EK A). Böylece, istenilen parametre ve çalışma koşullarında analiz yapma olanağı sağlanmaktadır.

- DA motorlarının PV'ye doğrudan bağlandığı pompa sistemlerinde, geniş bir ışınım aralığında performans ve verim açısından sabit mıknatıslı DA motorları tercih edilmelidir. Çünkü nominal değerlere göre seçilen bir PV boyutu için, düşen ışınım şiddetinin neden olduğu birim performans azalması en düşük oranlarda sabit mıknatıslı DA motorda gerçekleşmektedir. PV'nin maksimum noktalarına uyum sağlayabilmesi için, azalan ışınım enerjisi ile motorun moment katsayısının (K) yükseltilmesi gerekmektedir. K terimi, motor fiziksel parametreleri yanında alan akısıyla ve bunu oluşturan akımla ilgilidir. Bu akım, paralel (şönt) uyarmalı veya seri uyarmalı DA motorlarda PV tarafından sağlanmaktadır. Bu motorlar için, ışınım şiddeti azaldığında, düşmekte olan PV akımının bir sonucu olarak alan akısı da azalır. Böylece yükselmesi istenilen motorun K'sı, aksine düşer ve birim performans azalması oldukça hızlı olur. Oysa sabit mıknatısların kullanıldığı DA motorlarda, düşük ışınımda ihtiyaç duyulan alan akısı, PV beslemesinden bağımsız olarak sağlanmış durumdadır. Böylece ışınım şiddeti azaldığında, sabit mıknatıslı DA motorlarında akı (dolayısıyla K), daha yüksek seviyelerde tutulduğundan, diğer motorlara göre daha büyük birim kalkış momentleri sağlanabilmektedir. Bu durum, motorun geniş bir ışınım aralığında aktif çalışma bölgesini genişletmektedir. Sabit mıknatıslı DA motorlarının elektronik devre komitasyonlu fırçasız tipleri, sürtünme ve bakım kolaylığı için kullanılması ek katkılar sağlamaktadır. Tezde sabit mıknatıslı motor için verilen analizler fırçasız sabit mıknatıslı motor için de geçerlidir. Zira sürekli durum performans modelleri aynen kullanılmaktadır.

- Doğrudan bağlı sistemlerde geniş bir ışınım aralığında PV'den maksimum faydalanma problemi vardır. Maksimum güç izlemeli sistemlerden MPPT ve sabit V_s işletmeli çalışma, sistemlere performans katkısı sağlamaktadır. Bunlardan MPPT'li çalışmada yüksek performans sağlanmasına rağmen, hassas kontrol devre ve algoritması bir zorluk olarak görülmektedir. MPPT'li işletmeye çok yakın performans sağlayacak sabit V_s işletmesi, kontrol algoritma basitliği nedeniyle tercih

edilebilir. Ek kontrol ve sürücü devreleriyle desteklenen maksimum izlemeli sistemler, ek maliyet getirmekte, ara kayıplarla birlikte basit yapıyı bozmaktadır.

- En düşük PV maliyeti, performans ve emniyet için, motorun nominal değerleri STC'deki maksimum değerlere karşılık gelecek şekilde PV boyutlandırılması önerilmektedir. Böyle bir sistemin maksimum izleme devreleri ile desteklenmesi, en düşük maliyette güç artışı sağlayabilir.

- Doğrudan bağlı sistem kadar basit yapılı, maksimum izlemeli sistem kadar yüksek performanslı alternatif PV pompa sistemi yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen sistem ön görülen bir PV boyutunda DA motor optimizasyonuna dayanmaktadır. DA motoru ters kutuplu seri ve serbest uyarma sargılarını kullanmakta, yapısal özelliğiyle her hangi bir kontrol devresi kullanılmadan PV maksimum noktalarında çalışabilmektedir. Önerilen sistemin performans karakteri, maksimum güç izlemeli sistemlerden V_s işletmeli sisteme oldukça benzemektedir. Bu tip sistemler, istenilen performans doğrultusunda, PV-motor standardında hazırlanabilir.

- PV pompa sistemlerinde, PV-motor arası verim yüksek tutulsa dahi, çalışma noktaları pompa açısından verimli bölgede değilse, tatmin edici sonuçlar alınmayabilir. Bu nedenle optimize edilmiş PV-motor güçleri santrifüj pompanın verimli çalışma bölgesinde tutulmalıdır.

KAYNAKLAR

1. BACKUS, C.E., 1980. Principles of Photovoltaic Conversion. Solar Energy Technology Handbook: in W.C. Dickinson and P.N. Cheremisinoff (Editors), New York and Basel London.
2. LOFERSKÍ, J.J., 1956. Theoretical Considerations Governing the Choice of the Optimum Semiconductor for Photovoltaic Solar Energy Conversion. J. Appl. Phys.: in Solar Cells BACKUS (Editor), pp.96-103., RCA Laboratories America.
3. RAPPAPORT, P., 1959. The Photovoltaic Effect and Its Utilization. Solar Cells: in C.E. Backus (Editors) from RCA Rev., IEEE Press , pp.13,New York.
4. UYAR, T.S., 1985. Güneş Pilleri. TÜBİTAK Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü Makine ve Enerji Sistemleri Araştırma Bölümü, Gebze.
5. UYAREL, A. ve ÖZ, E.S., 1987. Güneş Enerjisi ve Uygulamaları. Birsen Yayınevi, Ankara.
6. TREBLE, F.C., 1991. Generating Electricity From The Sun. Pergamon Press, Oxford,New York, Seoul, Tokyo.
7. TKAHASHİ, K., and KONAGAI, M., 1986. Amorphous Silicon Solar Cells: in APPSF.F.R.D.(Translator) North Oxford Academic, UK.
8. KONAGAI, M., 1981. J.of Electrical Calculations, v.49,pp.5,Japanese.
9. SZE, M.S., 1969. Physics of Semiconductors Devices.By John Wiley.sons, Library of Congress Catalog Card Number:69-16132, America.
10. GOSWAMI, D.Y, KREITH, F., KREIDER J.F., 1999. Principles Of Solar Engineering, ISBN No: 1-56032-714-6,UK.
11. Solar Energy Research Institute (SERI)-U.S. Department of Energy Raports, DOE/CH10093-117-Rev.1, 1995.
12. KÜLÜNK, H., 1997. Fotovoltaik Enerji ve Uygulamaları. Kocaeli Üniversitesi- Teknik Eğitim Fakültesi- Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
13. SEN, P.C., 1989. Prenciples of Electric Machines and Power Electronics. John Wiley& Sons. Inc., Canada.
14. KRAUSE, P.C., 1987. Analysis of Electric Machinery , McGraw-Hill.Inc., Singapore.
15. ALAÇAKIR, F.B.,1989. Güneş Enerjisinin Küçük Ölçekli Zirai Sulamada

Kullanılmasının Araştırılması Projesi Ara Raporu. EİE , 89-15, Ankara.

16. ALAÇAKIR, F.B.,1991. Güneş Enerjisinin Küçük Ölçekli Zirai Sulamada Kullanılmasının Araştırılması Projesi Sonuç Raporu. EİE , 91-10, Ankara.
17. ÖZDEMİR, A., 1991. Güneş Modülleri Test Projesi Sonuç Raporu. EİE, 91-12, Ankara.
18. ALAÇAKIR, F.B. ve ERİŞTİ, O., 1994. EİE Su Pompalama Sistemi Projesi Sonuç Raporu. EİE, 94-7, Ankara.
19. ALGHUWAINEM, S.M., 1997. A Close -form Solution For The Maximum - Power Operating Point of A Solar Cell Array. . Solar Energy Meterials and Solar Cells, Vol.46, pp.249-257.
20. KIRAN, E. and INAN, D., 1999. An Approximation To Solar Cell Equation For Determination of Solar Cell Parameters. Renewable Energy, Vol.17, pp.235-241.
21. CHEGAAR, M., OUENNOUGHI, Z., HOFFMANN, A., 2001. A New Method For Evaluating Illuminated Solar Cell Parameters. Solid-State Electronics, Vol.45, pp.293-296.
22. FRAIDENRAICH, N. and VILELA, O.C., 2000. Performance of Solar Systems With Non-Linear Behavior Calculated By The Utilizability Method: Application To PV Solar Pumps. Solar Energy, Vol.69, No.2, pp.131-137.
23. BLAS, M.E., TORRES, J.L., PRIETO, E., GARCIA, A., 2002. Selecting A Suitable Model For Characterizing Photovoltaic Devices. Renewable Energy, Vol.25, pp.371-380.
24. IKEGAMI,T., MAEZONO, T., NAKANISHI, F., YAMAGATA, Y., EBIHARA, K., 2001. Estimation of Equivalent Circuit Parameters of PV Module and Its Application To Optimal Operation of PV System. Solar Energy Metarials & Solar Cells, Vol.67, pp.389-395.
25. ALZAR, C.L., 1997. Algorithm for Extraction of Solar Cell Parameters from I-V Curve Using Double Exponential Model. Renewable Energy, Vol.10, No.2/3, pp.125-128.
26. KOLHE, M., KOLHE , S., JOSHI, J.C., 2000. Determination of Daily Volume of Pumped Water As A Function of Mechanical Energy from A Photovoltaic Water-Pumping System. Proc.Instn Mech. Engrs, Vol.215, Part A.
27. KIRAN,E., 2002. Güneş Enerjisi ile Su Pompa sistemleri. Elektrik Mühendisliği,cilt 41, sayı 412.
28. Intermediate Technology Development Group Information, 2002. Solar (Photovoltaic) Water Pumping. UK.
29. SAIED, M.M., 1988. Matching Of DC Motors to Photovoltaic Generators for

- Maximum Daily Gross Mechanical Energy. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 3, No. 3, pp. 465-472.
30. SAIED, M.M. and JABOORI, M.G., 1989. Optimal Solar Array Configuration and DC Motor Field Parameters for Maximum Annual Output Mechanical Energy. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 4, No. 3, pp. 459-465.
 31. SAIED, M.M., HANAFY, A.A, GABALY, M.A., SHARAF, A.M., SAFAR, T.A., JABOORI, M.G., YAMIN, K.A., 1991. Optimal Design Parameters for a PV Array Coupled To A DC Motor via a DC-DC Transformer. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 6, No. 4, pp. 593-598.
 32. MUMMADI, V. C., 2000. Steady –state and Dynamic performance Analysis of PV Supplied DC Motors Fed from Intermediate Power Converter. Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol.61, pp.365-381.
 33. APPELBAUM, J., 1989. The Operation of Loads Powered By Separate Sources Or By A Common Source of Solar Cells. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 4, No.3, pp. 351-357.
 34. APPELBAUM, J. And SARMA, M.S., 1989. The operation of Permanent Magnet DC Motors Powered By A Common Source of Solar Cells. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 4, No. 4, pp. 635-642.
 35. SINGER, S. And APPELBAUM, J., 1993. Starting Characteristic of Direct Current Motors Powered By Solar Cells. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 8, No. 1, pp. 47-52.
 36. KOLHE, M., KOLHE , S., JOSHI, J.C., 2000. Determination of Magnetic Field Constant of DC Permanent Magnet Motor Powered By Photovoltaic For Maximum Mechanical Energy Output. Renewable Energy, Vol. 21, pp.563-571.
 37. SUEHRCKE, H., APPELBAUM, J., RESHEF, B., 1997. Modelling A Permanent Magnet DC Motor /Centrifugal Pump Assembly in A Photovoltaic Energy System. Solar Energy, Vol.59, No.1-3, pp. 37-42.
 38. AKBABA, M., QAMBER I., KEMAL, A., 1998. Matching of Separately Excited DC Motors To Photovoltaic Generators For Maximum Power Output. Solar Energy, Vol. 63, No.6, 375-385.
 39. HAMID, M., METWALLY, B., ANIS, W.R., 1997. Performance Analysis of PV Pumping Systems Using Switched Reluctance Motor Drives. Energy Convers.Mgmt, Vol. 38, No.1, pp.1-11.
 40. ESKANDER, M.N. and ZAKI, A.M., 1997. A Maximum Efficiency Photovoltaic- Induction Motor Pump System. Renewable Energy, Vol.10, No.1, pp.53-60.
 41. MARTINS, D.C., MEZARоба, M., BARBI, I., 2001. Treatment of The Solar Energy For A Water Pumping System Using A Current- Fed Parallel

Resonant Push-Pull Inverter. Power Electronics Institute-INEP, Brasil.

42. MIMOUNI, M.F., MANSOURI, M.N., BENGHANEM, B., ANNABI, M., 2004. Vectorial Command of An Asynchronous Motor Fed By A Photovoltaic Generator. *Renewable Energy*, Vol.29, No.3, pp.433-442.
43. MAHESHAPPA, H.D., NAGARAJU, J., MURTHY, M.V., 1998. An Improved Maximum Power Point Tracker Using A Step-Up Converter With Current Locked Loop. *Renewable Energy*, Vol.13, No.2, pp.195-201.
44. CHACKO, R.V., SREEKUMARI, B., FATHIMA, K.A., LAKAPARAMPIL, Z.V. 2000. High Performance AC Drive for Solar Pumps. Power Electronics Group Electronics Research and Development Centre, India.
45. DOMINGUEZ, J.A., LORENZO, S., PABLO S., CACERES, S., 2000. Global Control for Two Photovoltaic Applications: Pumping and Connecting to The Grid Systems. Universal de Valladolid, Spain.
46. SINGH, B., SWAMY, C.L., SINGH, B.P., 1998. Analysis and Development of a Low-Cost Permanent Magnet Brushless DC Motor Drive for PV-array Fed Water Pumping System. *Solar Energy and Solar Cells*, Vol.51, pp.55-67.
47. LANGRIDGE, D., LAWRENCE, W., WICHERT, B., 1996. Development of A Photo-voltaic Pumping System Using A Brushless DC Motor and Helical Rotor Pump. *Solar Energy*, Vol.56, No.2, pp.151-160.
48. LAWRENCE, W. and TROSTER, R., 1992. Dynamic Simulation of A Solar Pumping System. *Renewable Energy*, Vol.2, No.6, pp.591-596.
49. BLOOS, H., 2000. Analytical and Experimental Investigation of Photovoltaic Pumping Systems. Doctor Thesis, University of Oldenburg.
50. MOROZONO, M., KITA, Y., HAMAKAWA, Y., 1987. A Study of Optimum Operation By Voltage Mode Control for Solar Photovoltaic Systems. *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.26, No.5.
51. HOTOOP, R., 1989. Photovoltaikspezifische Eigenschaften Von Wechselrichtern-erste Mebergegebnisse von der Photovoltaikanlage Kobern-Gondorf Bundesrepublik Deutschland. Proceedings of The 9th EC Photovoltaic Solar Energy Conference.
52. DUSCHL, G., 1993. Experimentelle und Theoretische Untersuchungen an Solarelektrischen Systemen mit MPP- Reglern. Dissertation Technische Hochschule Aachen.
53. KISLOWSKI, A.S., 1993. Power Tracking Methods in Photovoltaic Applications. Proceedings of The Power Conversion Conference, Nürnberg.
54. BACHTIRI, R., 2000. Pumping Station With Photovoltaic Panels Operating At

Optimal Point. Ecole Supérieure de Technologie Fes, Maroc.

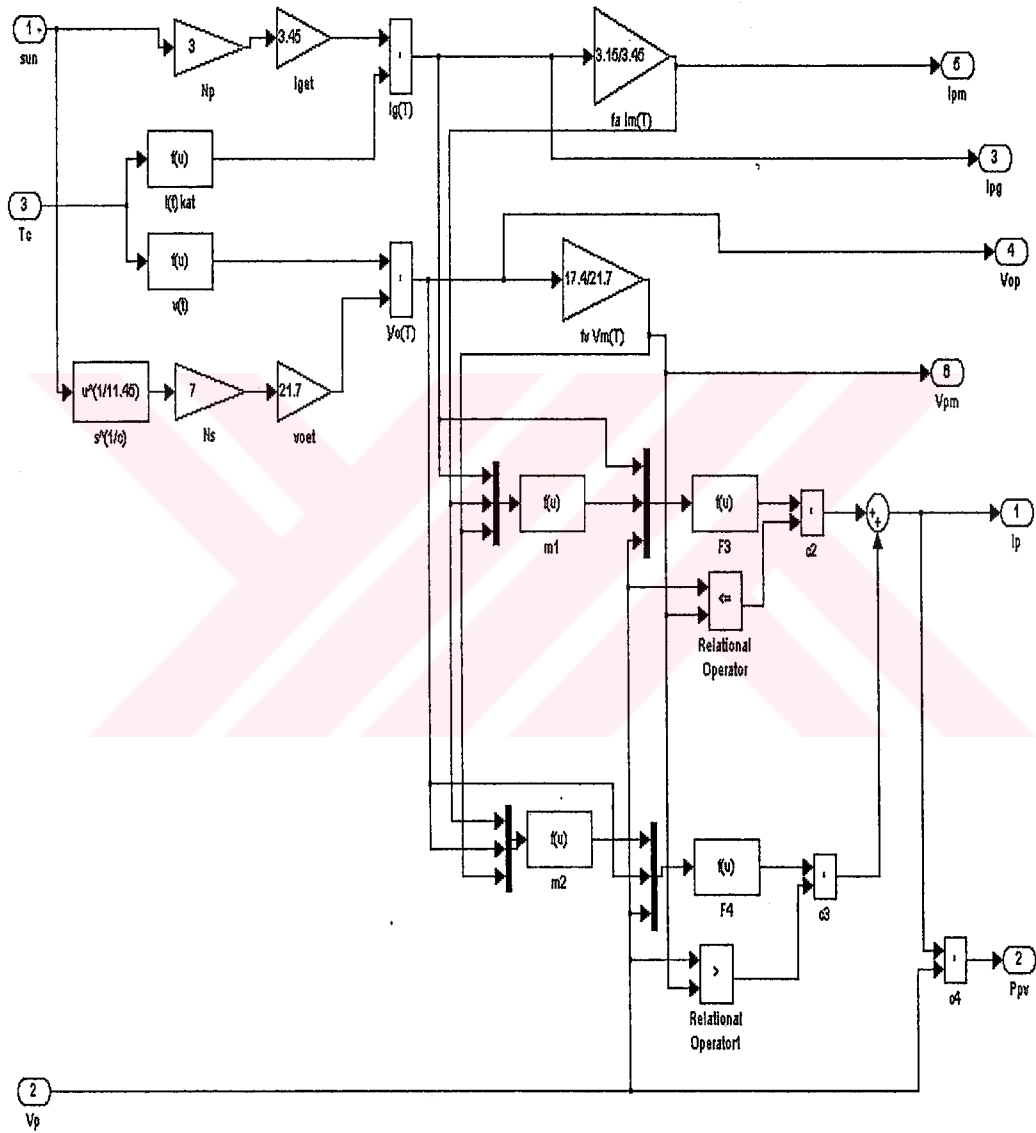
55. FIRATOGLU, Z.A. and YESILATA, B., 2003. The Optimization of Directly-Coupled Photovoltaic Water-Pumping Systems. IEEEES-1 Proceedings of the First International Exergy, Energy and Environment Symposium 13-17 July, pp.841-848, Izmir.
56. JAFAR, M., 2000. A Model for Small-scale Photovoltaic Solar Water Pumping. Renewable Energy, Vol.19, pp. 85-90.
57. GUPTA, S. and CHANDRASHEKAR, M., 1995. A Unified Approach To Modelling Photovoltaic Powered Systems. Renewable Energy, Vol.55, No.4, pp. 267-285.
58. BOROWY, B.S. and SALAMEH, Z.M., 1994. Optimum Photovoltaic Array Size for A Hybrid Wind/PV System. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 9, No.3, pp. 482-488.
59. KUNLUN, C., ZHENGMIN, Z., LIQIANG, Y., 2002. Implementation of A Stand-alone Photovoltaic Pumping System with Maximum Power Point Tracking. Tsinghua University, pp.612-615, Beijing- China.
60. CHERIF, A. and JRAIDI, M., 2001. Modelling and Simulation of PV-Inverter-Asynchronous Motor Association in Photovoltaic Pumping System. ENIT-Laboratoire Energetique-BP 37, Tunis-Tunisia.
61. BIGGER, J., 1993. PV-Powered Water Pumping As A Utility Service: A Utility – Costumer-Industry Demonstration. Electric Power Research Institute. NEOS Corporation.
62. BADESCU, V., 2003. Time Dependent Model of A Complex PV Water Pumping System. Renewable Energy, Vol. 28, pp.543-560.
63. JOYCE, A., RODRIGUES, C., MANSO, R., 2001. Modelling A PV System. Renewable Energy, Vol. 22, pp.275-280.
64. AL-KARAGHOULI, A. and AL-SABOUNCHI, A.M., 2000. A PV Pumping System. Applied Energy Vol.65, pp.145-151.
65. AL-ALI, A.R., REHMAN, S., AL-AGILI, S., AL-OMARI, M.H., FAYEZI, M., 2001. Usage of Photovoltaics in An Automated Irrigation System. Renewable Energy, Vol. 23, pp.17-26.
66. ALTAS, I.H. and SHARAF, A.M., 1996. A Novel On-Line MPP Search Algorithm For PV Arrays. . IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 11, No. 4, pp 748-754.
67. HADI, H., TOKUDA, S., RAHARDJO, S., 2003. Evaluation of Performance of Photovoltaic System With Maximum Power Point (MPP). Solar Energy

Materials & Solar Cells, Vol.75, pp.673-678.

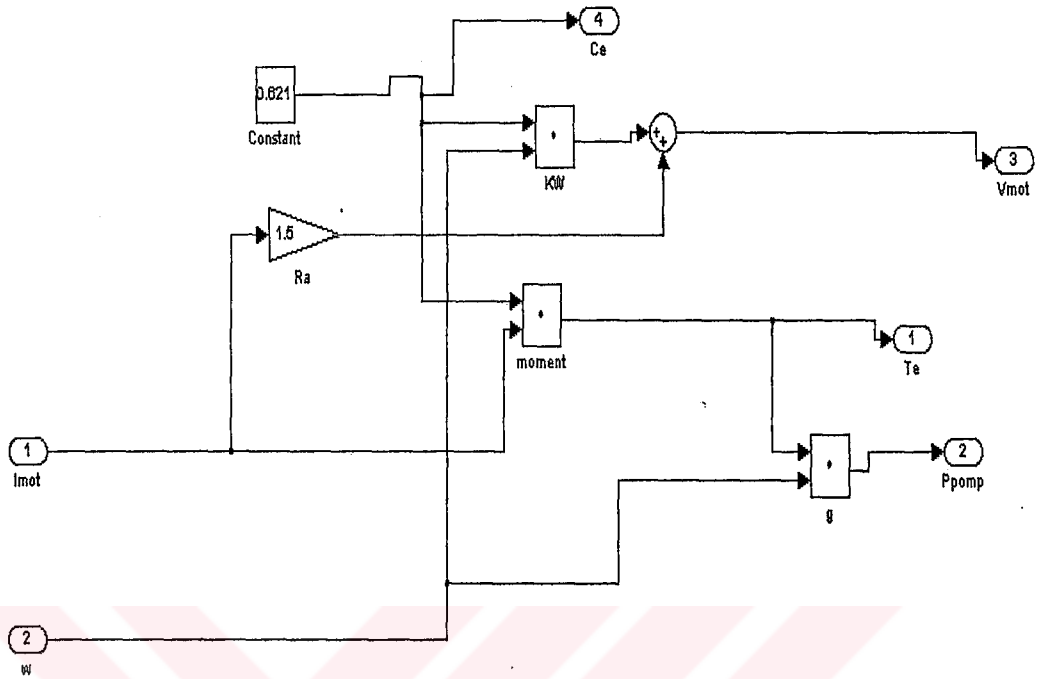
68. KUO, Y.C. and LIANG, T.J., 2001. Novel Maximum-Power –Point-Tracking Controller for Photovoltaic Energy Conversion System. . IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 48, No. 4, pp. 594-601.
69. TSE, K.K., CHUNG, S.H., HUI, S.Y.R., HO, M.T., 2001. A Novel Maximum Power Point Tracking Technique for PV Panels. 2001. Dept. Of Electronic Engineering City University of Hong Kong, pp. 1970-1975, China.
70. HUA, C. and LIN, J., 2003. An On-line MPPT Algorithm for Rapidly Changing Illuminations of Solar Arrays. Renewable Energy, Vol. 28, pp.1129-1142.
71. SHORT, T.D. and BURTON, J.D., 2003. The Benefits of Induced Flow Solar Powered Water Pumps. Solar Energy, Vol.74, pp.77-84.
72. 10th Edition- Solar Electric Products Catalog, 2003. Water Pumping. U.S.
73. PECEN, R., SALIM, M.D., TIMMERMAN, M., 2000. A Hybrid Solar-wind Power Generation System as an Instructional Resource for Industrial Technology Students. Journal of Industrial Technology, Vol. 16, No:3.
74. Siemens SM55 Katalogları, 2000.
75. Grundfos Catalog, 2000.

EK A

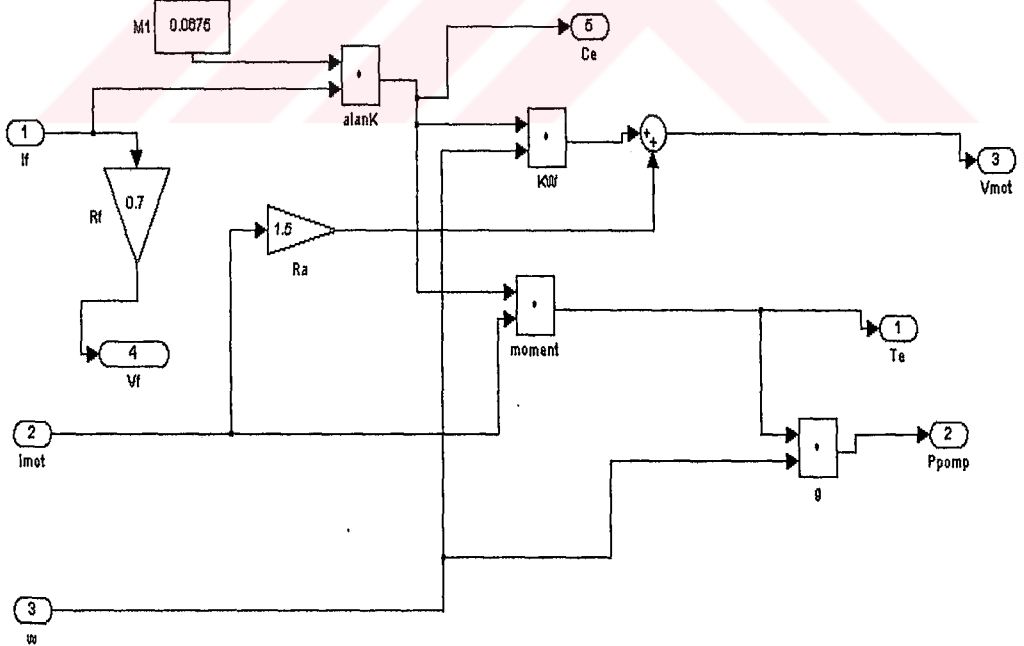
MATLAB-SİMULİNK'DEKİ SİSTEM TANIMLAMALARI



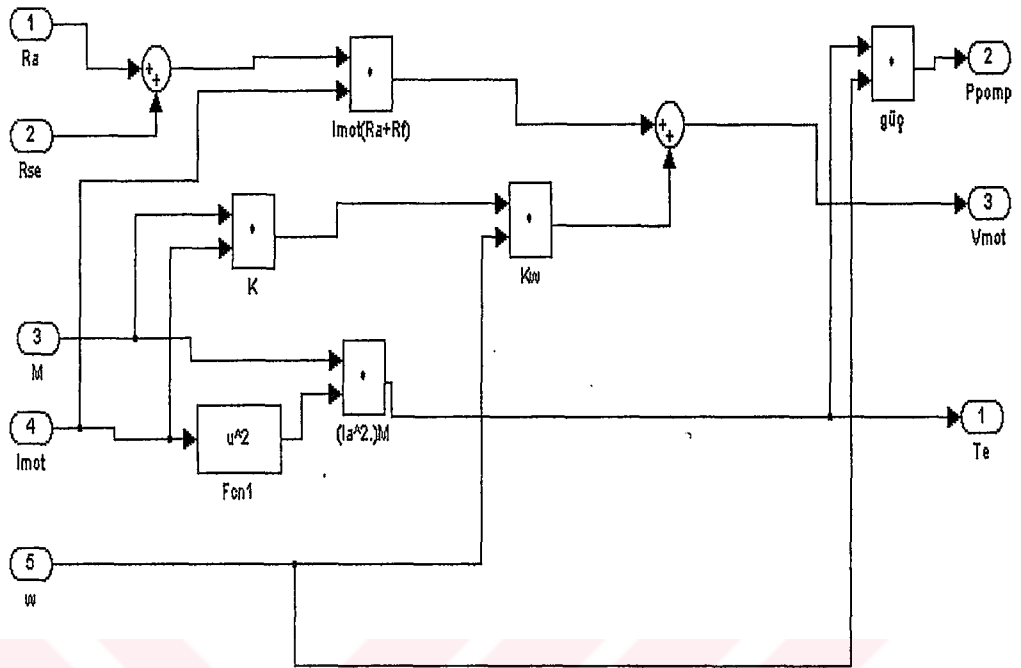
Şekil A.1. Tezdeki PV modelinin MATLAB-Simulink'deki modeli



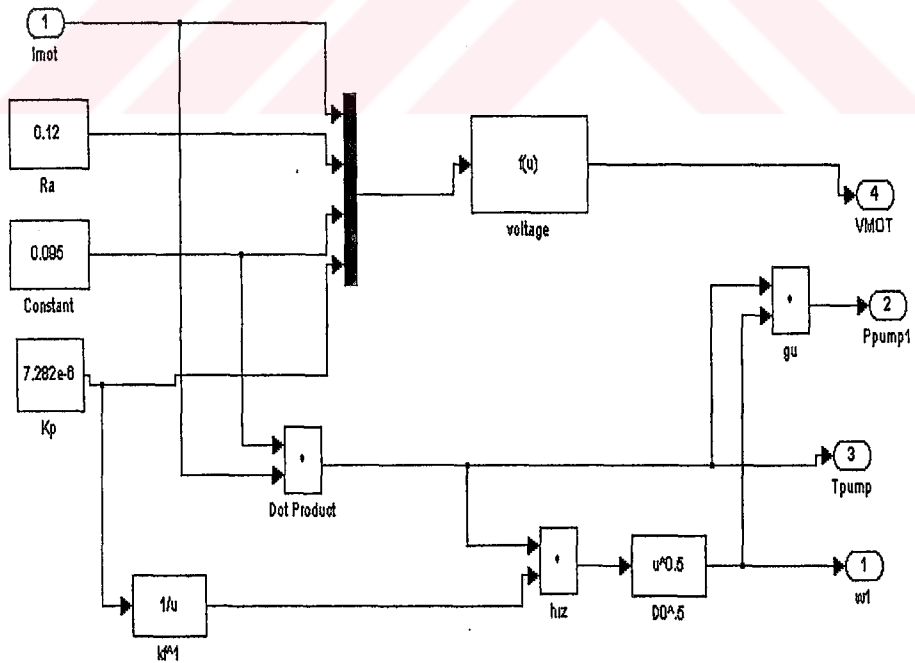
Şekil A.2. MATLAB-Simulink'deki sabit mıknatıslı DA motor



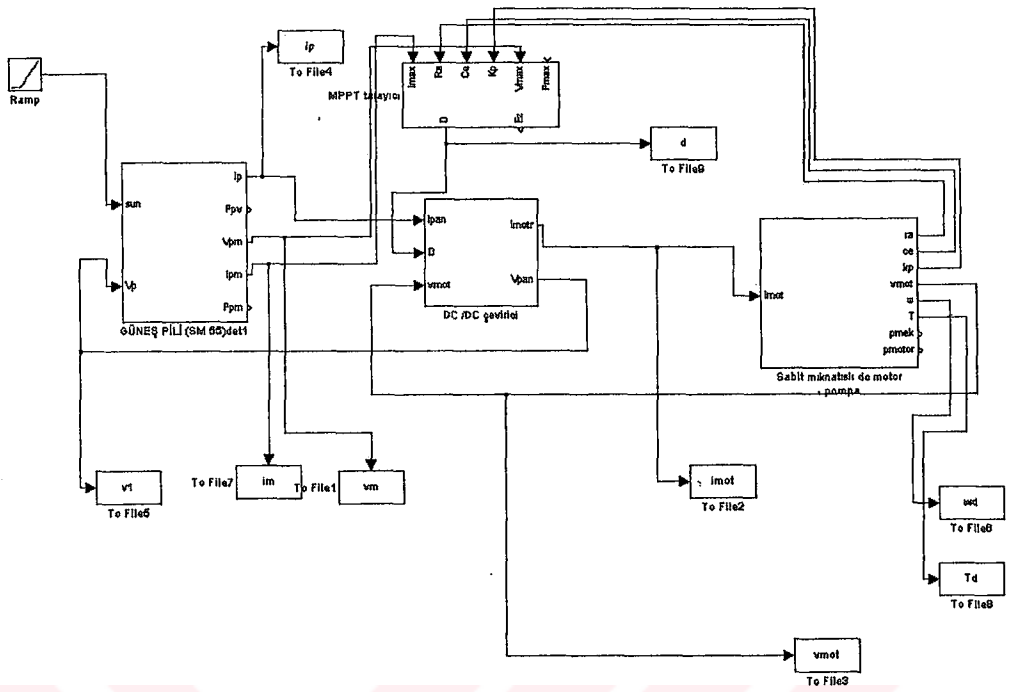
Şekil A.3. MATLAB-Simulink'de serbest uyarımlı DA motor



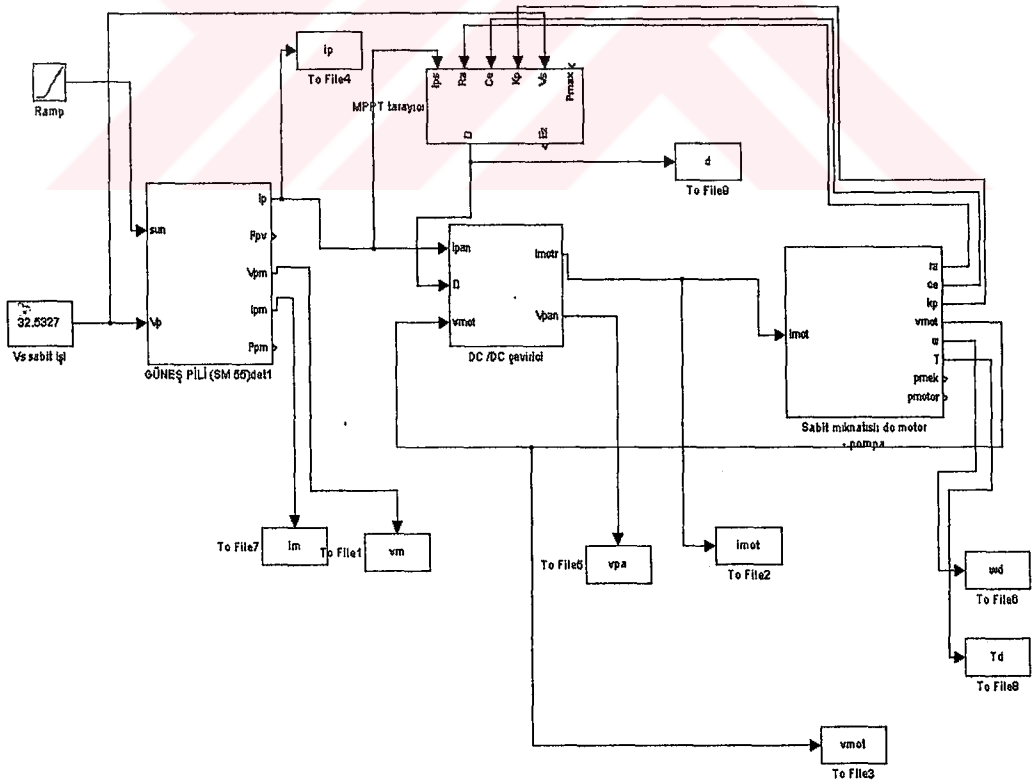
Şekil A.4. MATLAB-Simulink'deki seri uyarmalı DA motor



Şekil A.5. MATLAB-Simulink'deki tipik bir motor-pompa modeli



Şekil A.6. MATLAB-Simulink'deki MPPT'li sistem



Şekil A.7. MATLAB-Simulink'deki sabit V_s işletmeli sistem

KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER

- Özcan ATLAM, Murat KALE, Feriha ERFAN KUYUMCU, Güneş Pili (PV)-DC Motorlu Su Pompa Sisteminde Optimum İşletme Geriliminin Genetik Algoritma Destekli Tespiti Ve Sistem Performansına Olan Katkısı, ELEKTRİK – ELEKTRONİK-BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ SEMPOZYUMU, ELECO'2002, pp.40-44,18-22 Aralık 2002- Bursa.
- Özcan ATLAM, Mehmet YILDIRIM, Feriha ERFAN KUYUMCU, “ Application Of Genetic Algorithms On Photovoltaic Panel (PV)- Pump Motor Matching To Natural Tracking Of PV Maximum Power Points”, International XII Turkish Symposium On Artificial Intelligence and Neural Networks- TAINN2003, 02-04 July 2003- Çanakkale.
- Özcan ATLAM, Feriha ERFAN KUYUMCU, “ A New Approach For Estimating The Performance Of Solar Panels”, IEEEES-1 Proceedings Of The First International Exergy , Energy and Environment Symposium” 13-17 July 2003-İzmir.
- Özcan ATLAM, Feriha ERFAN KUYUMCU, ”The Operation Of A DC Motor In Photovoltaic Pumping System Within defined Irradiance Intervals With Two Different Connection Types And Performance Improvement”, 3rd International Advanced Technologies Symposium, August 18-20, 2003- Gazi University Ankara.
- Özcan ATLAM, Feriha ERFAN KUYUMCU, “ Fotovoltaik Pompa Sisteminde Maksimum Güç noktasının İzlenmesi”, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. ULUSAL KONGRESİ VE FUARI, 17-21 Eylül 2003-İstanbul.
- Özcan ATLAM, Feriha ERFAN KUYUMCU, “ Investigation Of Performance Improvement In A Solar Pumping System With Maximum Power Point Tracker (MPPT), ELECO 2003 3rd International Conference On Electrical and Electronics Engineering, 03-07 December 2003- Bursa.

ÖZGEÇMİŞ

1972'de Hatipköy-İZMİT'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İZMİT'de tamamladı. 1990 yılında İstanbul Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümünde lisans eğitimine başladı ve 1994 yılında mezun oldu. Kars Gazi Ahmet Muhtar Paşa Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi'nde bir yıl Elektrik öğretmenliği yaptı. Ekim 1995 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Eğitimi Bölümünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Ocak 1996'da Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi -Elektrik Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. Şubat 1999'da, Yüksek Lisansını bitirerek yine aynı enstitüde doktora eğitimine başladı. Halen Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi -Elektrik Bölümünde görevine devam etmektedir.