

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**RÜZGAR/FV GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ İÇİN PID KONTROL
PARAMETRELERİNİN GA VE PSO İLE OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ElektrikMüh. Amir Hossein HAJİSALEM

**HAZİRAN 2013
TRABZON**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**RÜZGAR/FV GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ İÇİN PID KONTROL
PARAMETRELERİNİN GA VE PSO İLE OPTİMİZASYONU**

Elektrik Mühendisi Amir Hossein HAJİSALEM

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
" ELEKTRİK YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24.05.2013

Tezin Savunma Tarihi : 17.06.2013

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ

Trabzon 2013

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Amir Hossein HAJİSALEM tarafından hazırlanan

**RÜZGAR/FV GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ İÇİN PID KONTROL
PARAMETRELERİNİN GA VE PSO İLE OPTİMİZASYONU**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28 / 05 / 2013 gün ve 1507 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ.....

Üye : Doç.Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ.....

Üye : Yrd.Doç.Dr.Bekir DİZDAROĞLU.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır. "Rüzgar/FV Güneş Enerji Sistemleri İçin PID Kontrol Parametrelerinin GA ve PSO İle Optimizasyonu" konulu bu tez çalışmasını, bana öneren ve çalışmanın her aşamasında gerek bilgi ve tecrübelerini gerekse maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen, önerileriyle ufkumu açan, görevlerindeki yoğunluğuna rağmen değerli zamanını bana ayıran danışmanım ve saygıdeğer hocam ve bölüm başkanımız sayın Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak hayatım boyunca beni sabır ve şefkatle destekleyen anne ve babama müteşekkir olduğumu belirtir, çalışmanın faydalı olmasını dilerim.

Amir Hossein HAJİSALEM
Trabzon 2013

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Rüzgar/FV Güneş Enerji Sistemleri için PID Kontrol Parametrelerinin GA ve PSO İle Optimizasyonu” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.24.05.2013

Amir Hossein HAJİSALEM

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIII
1 GENEL BİLGİLER.....	1
1.1.1. Giriş	1
1.1.2. PSO-PID Denetleyici Konusunda Literatürde Yapılan Çalışmalar.....	2
1.1.3. GA ve PSO Yöntemlerinin Karşılaştırılması	4
1.2. Enerji ve Enerji Kaynakları	4
1.2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	5
1.2.1.1. Güneş Enerjisi	5
1.2.1.2. Rüzgar Enerjisi	6
1.3. Optimizasyon Yöntemleri.....	6
1.3.1. Giriş	6
1.3.1.1. Parçacık Sürü Optimizasyon Yöntemi (PSO)	7
1.3.1.2. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmasının Değişik Topolojileri.....	7
1.3.1.2.1. Van Neuman Topolojisi (Kare Topolojisi).....	8
1.3.1.2.2. Yerel Optimum Topolojisi (Halka Topolojisi).....	8
1.3.1.2.3. Global Optimum Topolojisi (Yıldız Topolojisi)	8
1.3.1.3. Parçacıkların Hız ve Hareket Denklemleri	8
1.3.1.4. PSO Algoritmasının Uygulama Adımları	12
1.3.2. Genetik Algoritmalar	14
1.3.2.1. Giriş	14
1.3.2.2. Genetik Algoritmaların Aşamaları [45].....	14
1.3.2.2.1. Seçim (Reproduction).....	14
1.3.2.2.2. Çaprazlama (Crossover)	15

1.3.2.2.3. Mutasyon	16
1.3.2.2.4. Genetik Algoritmasının Uygulama Adımları	16
1.3.2.2.5. Uygunluk Fonksiyonu (Objektif Fonksiyonu)	17
1.3.2.2.6. Uygunluk (Fitness) Değerleri	18
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	19
2.1. Fotovoltaik Sistemler.....	19
2.1.1. Solar Hücre	19
2.1.2. FV Modülü ve FV Paneli Modeli	19
2.1.3. FV panelinin Matlab/Simulink Modeli	23
2.1.4. FV Panelinin Karakteristikleri.....	24
2.2. Rüzgar Sisteminin Modeli	24
2.2.1. Giriş	24
2.2.2. Rüzgar Türbininin Yapısı	24
2.2.3. Rüzgar Türbini Modeli	26
2.2.4. Rüzgar Sisteminde Kullanılan Jeneratör Tipleri	27
2.2.5. Rüzgar Sisteminin Toplam Şekli.....	28
2.3. Hibrit Sistemler.....	29
2.3.1. Rüzgar /Güneş Enerji Sisteminin Performansı.....	29
2.3.2. Hibrit Rüzgar/Güneş Sistemi.....	29
2.4. Denetleyici.....	33
2.4.1. Denetleyicinin Yapısı	33
2.4.1.1. Üç Döngülü Hata ile Tahrik Edilen PID Denetleyici [1]	34
2.4.1.2. Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM).....	34
2.4.1.2.1. PWM'nin Farklı Türleri.....	34
2.4.1.2.2. Sinüsoidal Darbe Genişlik Modülasyonu (SPWM).....	34
2.4.2. Klasik PID Denetleyici Parametrelerin Belirlenmesi	35
2.4.2.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) Yöntemi	35
2.4.2.1.1. 'PSO'yu PID Denetleyici Parametrelerine Göre Programlaması.....	36
2.4.2.1.2. Fonksiyon M-dosyası	37
2.4.2.1.3. PSO-PID arama M-dosyası	38
2.4.2.2. GA'yı PID denetleyici Parametrelerine Göre Programlaması	38
3. BULGULAR	40
3.1. PSO-PID Kontrolörünün Sonuçları	40

4.	SONUÇLAR.....	49
4.1.	PSO-PID denetleyici ile GA-PID denetleyici karşılaştırması	49
4.2.	Klasik PID denetleyicisi	54
5.	ONERİLER	56
6.	KAYNAKLAR.....	57
	ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

RÜZGAR/FV GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİİÇİN PID KONTROL
PARAMETRELERİNİN GA VE PSO İLE OPTİMİZASYONU

Amir Hossein HAJİSALEM

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ
2013, 62 Sayfa

Günümüzde yaygın olarak kullanılmakta olan konvesnsiyonel enerji kaynakları yerlerini yavaş yavaş yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarına bırakmaktadırlar. Bunun birçok nedeni olmakla birlikte başlıca iki nedeni bu konvesiyonel kaynakların sınırlı miktarda olmaları ve olumsuz çevre etkileridir.

Olumlu çevre etkileri ve düşmekte olan kurulum maliyetleri nedeniyle Rüzgar ve Güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi hızla artmaktadır. Ancak bu kaynaklardan üretilen elektrik enerjisinin yüke uygulanmadan önce bir süreçten geçirilmesi ve uygun standartların sağlanması gerekmektedir. Bu standartların sağlanması kullanılacak ara elemanların tasarımı ve kontrol edilmeyle gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada Rüzgar/FV hibrit sistemlerden elde edilen elektrik enerjisinin yüke veya şebekeye aktarılabilceği standart değerin sağlanmasında kullanılacak olan dönüştürücü ve filtre kontrolü için kontrol algoritmaları geliştirilmekte ve kullanılan kontrol parametrelerinin optimizasyonu yapılmaktadır. Optimizasyon yöntemi olarak türevsiz işlem yapabilen yumuşak hesaplama yöntemlerinden PSO ve GA kullanılmaktadır. Yapılan çalışma sonunda elde edilen optimum parametrelere sahip olan kontrol algoritmalarının daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji kaynakları, Rüzgar/Güneş Hibrit sistemler, PSO-PID Kontrolör, GA-PID kontrolör

Master Thesis

SUMMARY

OPTIMIZATION OF PID CONTROLLER PARAMETERS IN WIND/PV ENERGY
SYSTEMS USING PSO AND GA

Amir Hossein HAJISALEM

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical-Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ
2013, 62 pages

Nowadays, conventional energy sources used widely has been replaced by alternative energy sources from day to day. Although this change has many reasons, negative environmental effects and limited energy reservations of the conventional energy resources are two main reasons of this change.

Due to the their environmental friendly natures and dropping installation costs, the use of wind and solar photovoltaic (PV) renewable energy systems in electricity generation has been increased rapidly. However the electricity generated by Wind/PV has to be filtered and controlled to reach the required standard values. Therefore it is required to design and control proper interfacing devices to meet the standards.

In this thesis PID based control algorithms have been developed for the interfacing devices in order to operate the Wind/PV systems in standard limits. Besides the parameters of PID controller have been tuned using novel PSO and GA soft computing methods.

It has been shown that PSO and GA optimized PID controller gives better performance.

Key Words: Renewable energy resources, Wind/PV Hybrid systems, PSO-PID Controller, GA-PID controller

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. PSO algoritmasının farklı topolojileri (a) Kare topolojisi (b) Yereloptimum topolojisi (c) Global optimum topolojisi	7
Şekil 1.2. i parçacığının 2 boyutlu arama uzayında kendi tecrübesi ve diğer parçacıkların tecrübesinin vektörel hareket şekli [46].	12
Şekil 1.3.PSO algoritmasının akış diagramı	13
Şekil 1.4. Roulett Wheel seçim yöntemi	15
Şekil 1.5. Çaprazlama (crossover) işleminin açıklaması	16
Şekil 1.6.Mutasyon işleminin açıklaması	16
Şekil 1.7.GA'nın akış diagramı	17
Şekil 2.1. PVA sisteminin karakteristikleri (a) Gerilim-Akım (V-I) karakteristiği (b) Güç-Gerilim (P-V) karakteristiği	20
Şekil 2.2. Bir PV hücrenin eşdeğeri	22
Şekil 2.3. Bir FV Paneli sisteminin modeli (a) Genel modeli	23
Şekil 2.4. Rüzgar türbinin simulink modeli.....	26
Şekil 2.5. Rüzgar türbinin karakteristikleri (a) λ -cp karakteristiği (b) Hız-Güç ($\omega r_{pu} - pm_{pu}$) karakteristiği	27
Şekil 2.6. Rüzgar sisteminin toplam şekli	28
Şekil 2.7. Hibrit sistemin toplam şekli (a) Genel model (b) Matlab/Simulink model.....	31
Şekil 2.8. Hibrit sistemin çıkışları (a) Akım (A) (b) Gerilim (V) (c) Güç (kW).....	32
Şekil 2.9. (a) Rüzgar sisteminin gerilim ve akım çıkışları (denetleyici olmadan) (b) Güneş sisteminin gerilim ve akım çıkışları (denetleyici olmadan)	33
Şekil 2.10. Tri-Loop error driven PID kontrolörü[1]	35
Şekil 3.1. Farklı generasyonlarda cost miktarı	42
Şekil 3.2. Farklı performans indekslerinde Genel Min Cost miktarları	43
Şekil 3.3. Farklı performans endeksleri için Hibrit sistemin akımı(ampere)	45
Şekil 3.4. Farklı performans endeksleri için Hibrit sistemin gerilimi(volt)	45
Şekil 3.5. Farklı performans endeksleri için Hibrit sistemin çıkış gücü(kw)	46
Şekil 3.6. Performans Endekslerinin farklı değerleri	46
Şekil 3.7. Üç döngülüdenetleyici çıkışında bulunan Hata değerleri (PSO-PID).....	47
Şekil 4.1. GA-PID için bulunan min cost miktarı	50
Şekil 4.2. Hibrit sistemin GA-PID ve PSO-PID çıkışları.....	51
Şekil 4.3. PSO-PID ve GA-PID denetleyicilerinin hata değerleri.....	52
Şekil 4.4. GA-PID ve PSO-PID'de ITAE miktarı.....	54

Şekil 4.5. Hibrit sistemin çıkış akımı (klasik PID, GA-PID ve PSO-PID için)	54
Şekil 4.6. Hibrit sistemin çıkış gerilimi (klasik PID, GA-PID ve PSO-PID için).....	55
Şekil 4.7. Hibrit sistemin çıkış gücü (klasik PID, GA-PID ve PSO-PID için).....	55

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Sincap kafesli jeneratörün parametreleri [53]	28
Tablo 2.2. Güneş ve Rüzgar sistemlerinin avantajları ve dezavantajları	30
Tablo 2.3. PSO-PID Matlab M-dosyası programının Parametreleri	38
Tablo 2.4. GA-PID Matlab M-dosyası programının parametreleri	39
Tablo 3.1. Farklı performans endeksleri için k_p, k_i, k_d ve global min cost.....	40
Tablo 4.1. GA-PID ve PSO-PID parametreleri	49

SEMBOLLER DİZİNİ

PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
GA	Genetik Algoritması
FV	Fotovoltaik
WTG	RüzgarTürbin Jeneratör
HPS	Hibrit Güç Sistemi
PID	ProportionalIntegralDerivative
e	Electron şarj (1.602×10^{-19} C).
K	Boltzmann sabiti (1.38×10^{-23} J/°K).
ρ_a	Hava yoğunluğu [kg/m^3]
β	Blade eğim açısı [deg]
λ	Uç hız oran
ω_m	Türbin mekanik dönme hızı [rad/san]

1. GENEL BİLGİLER

1.1.1. Giriş

Enerji konusu günümüz toplumunda en önemli konulardan biri olmuştur. Sanayileşmiş toplumların özellikle petrol ve doğal gaz gibi yeraltı enerji kaynaklarına bağımlılıkları ve bu kaynakların tüketim miktarının hızla artması, gelecek yıllarda bu tür enerji kaynaklarının tükenmesine yol açacaktır.

Dolayısı ile günümüzde gelişmiş ülkeler, uzun ömürlü ve büyük enerji potansiyeline sahip olan enerji kaynakları üzerinde çalışmaya ve büyük yatırımlar yapmaya başlamışlardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmenin bir başka nedeni ise fosil kaynakların tüketiminden kaynaklanan çevre kirliliği gibi olumsuz etkileridir.

Nükleer santrallerin maliyetinin yüksek olması ve nükleer enerjinin kullanılmasının çok gelişmiş bir teknoloji gerektirmesi ve ayrıca nükleer atıkların çevre için zararlı olması, bu enerjinin olumsuz etkilemektedir. Hava kirliliğinin basit bir teknoloji kullanarak önlenmesi ve çevrenin korunması ve bunlardan daha önemli olan fosil kaynakların gelecek nesiller için korunması veya petrokimya tekniklerini kullanarak onları daha değerli ürünler haline dönüştürmesi, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının gerektiğini ortaya çıkarmaktadır.

Fotovoltaik ve Rüzgar enerjisi üretim şebekeleri mikro şebeke elektrik enerjisi üretimi için en uygun ve ekonomik seçenekler olarak kabul ediliyor [1]. Fotovoltaik sisteminin elektrik üretim maliyeti hızlı bir şekilde düştüğü için bir fotovoltaik elektrik üretim sisteminin maliyeti normal fosil yakıt elektrik üretim sisteminin maliyetine yakın seviyeye inmiş durumundadır. Diğer taraftan, güneş enerjisi zamana ve çevre koşullarına (sıcaklık, radyasyon, vs) bağlıdır. Güçlü rüzgârlar, sıkbulutlu günlerde veya gece saatlerinde yaşanan bir olaydır. Dolayısı ile rüzgâr enerji dönüşüm sistemi ile fotovoltaik üretim sistemini birleştirerek sıfır güç aralıklar sorununu giderebilmek mümkün olabilir. Yani güneş enerjisinden yararlanamadığımız zamanlarda rüzgâr enerjisinden yararlanabiliriz. Bir hibrit güç sistemi (HPS), enerji dönüşüm sistemlerinin birden fazla türünü içeren bir elektrik sistemidir. Yenilenemeyen ve yenilenebilir enerji dönüşüm sistemlerinin avantajları [3]'de verilmektedir.

Bu çalışmada stand-alone doğru akım yükümüze kesintisiz güç sağlayabilmek için Rüzgar/Güneş hibrit sistemi tasarlanmış ve bu sistemin çıkışlarını denetlemek için bir PID denetleyici kullanılmıştır. PID denetleyicilerin uygulamalarında en kritik adım parametrelerinin ayarlanmasıdır. Bir tesisi uygun şekilde kontrol etmek için kullanılacak PID denetleyici parametre ayarlaması bu tesisin davranışına bağlıdır. Yıllar boyunca PID denetleyicilerin parametrelerini ayarlamak için klasik yöntemler önerilmiştir.

İlk yöntem (ZieglerveNichols) tarafından önerilen klasik parametre ayarlama kuralları ile yapılmıştır. Genel olarak birçok sanayi uygulamalarında, en iyi parametreler ve en iyi parametrelere yakın parametreleri, Ziegler-Nichols formülünün uygulaması ile bulmak çok zordur. Bu nedenlerle PID denetleyicilere yeni özellikler ekleyerek bu denetleyicileri geliştirebilmek son derece arzu edilen bir olaydır. Böylece denetleyicinin performansını artırmak için birçok yapay zekâ (AI) teknikleri uygulanmıştır [5].

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ilk olarak Kennedy ve Eberhart [27] tarafından, 1995 yılında bir modern heuristik algoritması olarak tanıtıldı. PSO algoritmasının sürekli doğrusal olmayan optimizasyon problemlerinin çözümünde güçlü olduğu tespit edilmiştir. PSO tekniği diğer yöntemlere göre daha kısa hesaplama süresine sahiptir. Ayrıca istikrarlı yakınsama özelliğine sahip olması için kaliteli bir çözüm üretebilir. Bu çalışmada en iyi PID parametreleri aramak için PSO-PID denetleyici ve GA-PID denetleyici uygulaması yapılmıştır.

1.1.2. PSO-PID Denetleyici Konusunda Literatürde Yapılan Çalışmalar

Adel M. Sharaf ve Adel A. A. El-Gammal, yaptıkları çalışmada MOPSO (Multi Objective Particle Swarm Optimization) tekniğini kullanarak, kontrol kazancını ayarlayarak hatanın mutlak değerini minimize etmeye çalışmışlar. Bu teknik, özellikle gerilimi stabilize etmenin sağlanmasında ve sistemde ani kazalar sırasında Güç/Enerji kullanımını artırma konusunda son derece etkilidir [1].

Boumediène ALLAOUA, Brahim GASBAOUI ve Brahim MEBARKI kendi çalışmalarında bir Doğru Akım Motorunun hızını PSO-PID denetleyicisi ile kontrol etmeye çalışmışlar ve buldukları sonuçları FUZZY-PSO denetleyiciden elde ettikleri sonuçlar ile karşılaştırıp, PSO-PID denetleyicinin sistemin dinamik performansını artırma konusunda FUZZY-PSO denetleyiciye göre daha iyi olduğunu göstermişler [4].

Zee-Lee Gaing ise, PSO algoritmasını bir AVR sisteminde kullanılan PID denetleyicinin parametrelerinin belirlenmesi için kullanmışlar. AVR sisteminin simulasyonu yapılmış ve sonuçlar PSO algoritmasının PID parametre arama işlemini etkin bir şekilde yaptığı göstermiştir. Ayrıca PSO algoritmasının genetik algoritmalarına göre daha hızlı ve daha kolay olduğu ispat edilmiştir [5].

Nelendran PILLAY ve Poobalan GOVENDER, yaptıkları çalışmada PSO algoritmasını UFOPDT (Unstable First-Order Plus Dead Time Processes) işlemlerinde PI veya PID denetleyicilerinin parametrelerinin belirlenmesinde kullanmışlar. Tuning formülleri PSO algoritmasını kullanarak ve ITAE'nin (Integral Time Absolute Error) minimize etmesini esas alarak elde edilmiştir. Burada PSO tabanlı tuning işlemi ve diğer tuning yöntemleri karşılaştırılmış ve PSO tabanlı tuning işleminin diğerlerine göre daha etkin olduğu ispat edilmiştir [10].

A.Soundarrajan, Dr.S. Sumathi, C.Sundar, bağımsız bir şebekenin AVR (Automatic Voltage Regulator) ve LFC (Load Frequency Control) sistemlerinde PID denetleyicisi için en iyi parametreleri PSO algoritması ile belirlemeye çalışmışlardır [48].

M. B. B. Sharifian, H. Afsharirad, S. Galvani, PSO algoritmasını bir asansörde kullanılan PMLSM'nin (Permanent Magnet Linear Synchronous Motor) PID denetleyicisi ile hız kontrolünü yapmışlar. Bu çalışmada PSO algoritmasının doğrusal olmayan problemlerin çözümündeki etkisi dikkate alınmıştır [49].

S.M.Giriraj Kumar, Deepak Jayaraj ve Anoop. R.Kishan, PID parametrelerini Ziegler-Nichols gibi klasik yöntemler ile ve PSO ile tune edip, PSO'nun tuning işleminde daha iyi olduğunu ispat etmişlerdir [50].

Akihiro Oi, Chikashi Nakazawa, Tetsuro Matsui, Hiroe Fujiwara, Kouji Matsumoto, Hideyuki Nishida, Jun Ando ve Masato Kawaura, PSO algoritmasını bir PID denetleyicinin parametre belirlemek amacı ile bir basit tesis'e uygulayıp, en iyi "birim basamak cevabı" bulmuşlar. Burada denetlenecek tesis bir transfer fonksiyonu ile temsil edilir. Bu çalışmada sayısal örnekler ve deneysel örnekler ile bu tuning yöntemi normal tuning yöntemi ile karşılaştırılmış ve PSO tuning yönteminin daha etkili olduğu ispat edilmiştir [51].

Dr. H.K. Verma ve MissCheshtaJain, kendi çalışmalarında PDPSO (Performance Dependant PSO) yöntemini bir doğru akım Motorun hız kontrolünü yapmak için kullanmışlardır [52].

1.1.3. GA ve PSO Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Chao Ou ve Weixing Lin yaptıkları çalışmada PID kontrolör parametre belirleme işlemini PSO ve GA yöntemlerini kullanarak yapıp bu iki yöntemi karşılaştırmışlar. Burada sonuçlar PSO yönteminin GA yöntemine göre erken yakınsama sorunu olmadığı ve daha kaliteli ve etkin bir yöntem olduğu gösterilmiştir. Sonuç olarak PSO yönteminin PID denetleyici parametre belirleme işlemini daha hızlı ve daha kolay yaptığı gösterilmiştir [30].

Sidhartha Panda ve Narayana Prasad Padhyise PSO ve GA tekniklerini uygulayarak bir FACT-tabanlı denetleyici tasarımı yapmışlar. Burada bu iki yöntem bir TCSC-tabanlı denetleyicinin tuning işlemini yapmaktadır. Sonuç olarak, bir güç sistemine farklı hatalar uygulayıp her iki yöntemin FACTS-tabanlı denetleyici parametre optimizasyon işleminde etkin olukları ancak PSO'nun GA'ya göre daha iyi olduğu gösterilmiştir [61].

Bu tez çalışmasında ise bir Rüzgar/Güneş hibrit sisteminin çıkışları (Gerilim, Akım, Güç) bir PID denetleyici ile denetlenmeye çalışılmıştır. Bunun için önce bir Güneş ve Rüzgâr sistemini Matlab/Simulink programında oluşturup, bu iki sistemin birleşiminden bir hibrit sistem elde edilmiştir. Daha sonra PSO ve GA optimizasyon yöntemlerini kullanarak PID denetleyici için en uygun parametreler bulunmuştur. Sonraki bölümde bu sistemin nasıl oluşturulduğu detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

1.2. Enerji ve Enerji Kaynakları

İnsanoğlunun ihtiyaçlarının karşılanmasında ve ülkesel gelişmenin sağlıklı olarak sürdürülmesinde gerekli olan enerji, özellikle sanayi, konut, ulaştırma ve tarım gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Bu sektörlerde kullanılan ve tüketilen enerji, her yönüyle incelenmeye başlanmıştır. Nüfus artışına ve sanayinin gelişmesine paralel olarak kurulan büyük ölçekli enerji üretim ve çevrim sistemleri çevre dengesini büyük oranda etkilemektedir. Günden güne artan enerji ihtiyacına cevap verebilmek için bütün kaynakları kullanmayı hedefleyen insanoğlu artık çevre faktörünü de göz önüne alarak alternatif enerji kaynaklarına doğru yönelmeye başlamıştır.

1.2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Dünyanın mevcut enerji kaynaklarının çoğu yenilenebilir kaynaklardır. Örneğin ABD’de yenilenebilir enerji kaynakları bu ülkenin toplam enerji rezervlerinin %93’ünden daha fazladır. Yeryüzündeki toprak kaynakları fizibil miktarından neredeyse %20 daha fazla kullanılmaktadır ve bu miktar her yıl artmaktadır. 2050 yılında nüfus artışı, ekonomik kalkınma ve teknolojik yeniliklere bağlı olarak, insanoğlu yeryüzünün büyüme kapasitesinin %180 ila %220’sine kadarlık kısmını tüketecektir. Bu da hükümetlerin acil ve uygun önlem almaları gerektiğini gösteriyor. Aksi takdirde, 2030 yılına kadar ortalama insan ömür beklentisi, eğitim düzeyi ve dünya ekonomisi ile temsil edilen indeks, yaşam refahının düşeceğini göstermektedir. Hükümetlerin enerji sürekliliğinin sağlanabilmesi için, yenilenebilir enerjiyi, portföylerinin önemli bir parçası gündemde tutması bekleniyor. Yenilenebilir enerji uygun politikalar ile desteklenirse, güvenli, sürdürülebilir ve ekonomik olarak rekabet edebilir, enerji kaynakları olarak enerji sektörüne büyük katkıda bulunabilir. Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları şunlardır:

- Jeotermal enerjisi
- Biyokütle enerjisi
- Güneş enerjisi
- Rüzgar enerjisi
- Deniz dalgalarından alınan enerji
- Deniz gelgitlerinde (tide) olan enerji

Bu kaynaklar her zaman mevcut olan kaynaklardır. Yenilenemeyen enerji kaynakları yenilenebilir kaynakların aksine zamanla tükenmektedirler. Yenilenebilir enerji kaynaklarından ikisi özet olarak aşağıda açıklanmaktadır.

1.2.1.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi yenilenebilir ve tükenmez enerji kaynaklarından biridir. Doğada mevcut olan bu enerji uygun bir şekilde kullanılırsa, dünyanın enerji ihtiyaçlarını önemli oranda karşılayabilir. Güneş tarafından yeryüzüne gönderilen enerji miktarı yaklaşık 1.8×10^{11} MW’dır. Bu rakam şu anki tüketim miktarının binlerce katıdır. Bu alanda daha fazla araştırma yapılması halinde gelecekte dünyanın enerji ihtiyaçlarını giderebilme imkânı

doğabilir. Fosil kaynakların fiyatları, özellikle Petrol fiyatları, hızla artmaktadır. Bu durumda güneş enerjisi kurulum maliyeti ne kadar yüksek olursa olsun, uzun vadede yararlı ve doğada her zaman mevcut olan bir kaynak olarak kabul edilebilir [7].

1.2.1.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgâr enerjisi tüm yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir rol oynar. Rüzgâr enerjisi elektrik güç üretim rekabeti açısından en umut verici kaynak olarak kabul ediliyor. Bu enerji kaynağı bin yıldan beri su pompalama, öğütme ve benzeri uygulamalarda kullanılmaktadır. Rüzgâr enerjisiyle elektrik üretimi ilk kez 1887 senesinde Amerika'nın Ohio eyaletinin Cleveland kentinde "Charles Brush" tarafından yapılmıştır. 12 KW gücündeki Doğru Akım (DC) jeneratör, pilleri şarj etmek amacıyla kullanılmıştır. Daha sonra bahsedeceğimiz asenkron makina ise 1951 yılında ilk kez kullanılmıştır. Günümüzde, bu teknoloji piyasalarda hızla artan teknolojilerden biridir [6].

1.3. Optimizasyon Yöntemleri

1.3.1. Giriş

Optimizasyon uygulamaları yaygın olarak farklı bilim alanlarında kullanılmaktadır. Bazı optimizasyon problemleri objektif fonksiyonunun karmaşık olmasından ve bazı kısıtlamalardan dolayı, daha karmaşık hale gelir. Klasik optimizasyon yöntemleri türev işlemini esas alarak yapılır. Bu yöntemlerin çoğu optimizasyon problemlerinin çözümünde etkin oldukları ispat edilmiştir. Ancak yerel minimum noktalarına düşmesi, işlemlerin zor ve karmaşık olması ve bazı objektif fonksiyonlarına uygulanamaması gibi sorunlar ile karşılaşmaktadır. Bu ve benzeri problemler yeni optimizasyon yöntemlerinin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Son yıllarda Genetik Algoritmalar, Karınca Kolonisi Algoritması, Evrimsel Stratejiler (Evolutionary Strategies), Kaos Teorisi gibi yeni optimizasyon yöntemlerinin uygulamaları yaygınlaşmıştır.

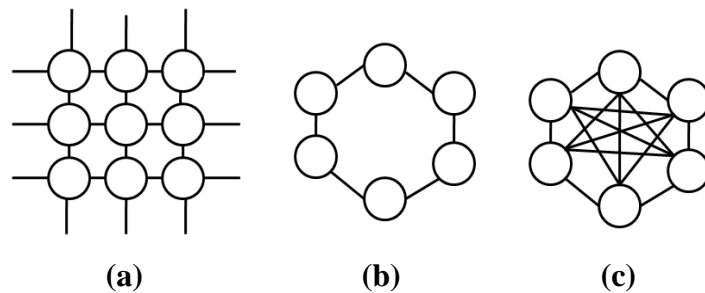
1.3.1.1. Parçacık Sürü Optimizasyon Yöntemi (PSO)

Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ilk kez Kennedy ve Eberhart [29] tarafından 1995 yılında kuşlar ve balıkların grup halinde yemek arama eyleminden ilham alınarak geliştirildi. Çalışmalar devam ederken, kuşlar ve balıkların toplumsal davranış modelinde bazı değişikliklerin yapılması karşısında, bu modelin çok iyi bir optimizasyon yöntemi olacağını fark ettiler. Bu yöntemde her parçacık bir çözümdür.

PSO'nun basit uygulaması ve hızlı olması, Genetik Algoritmalar gibi diğer evrimsel optimizasyon yöntemlerine göre onu daha avantajlı kılmaktadır. PSO algoritması, optimizasyon sorunlarının çözmesinde, sistemin parametre belirlenmesinde ve denetleyicilerin tasarımı gibi uygulamalarda kullanılmaktadır [46]. Bu bölümde önce parçacıkların farklı topolojileri tanıtılacaktır. Daha sonra PSO'nun temel denklemleri Newton Mekaniğini esas alarak formüle edilecek ve algoritmanın uygulama süreci anlatılacaktır. Daha sonraki bölümlerde ise PSO bu tezdeki sisteme uygulanacak ve sonuçlar gösterilecektir.

1.3.1.2. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmasının Değişik Topolojileri

Parçacıkların topolojisi, bir toplumdaki parçacıkların nasıl birbirleri ile ilişki kurduğunu ifade ediyor. İki komşu parçacık, aralarındaki mesafeye bakmadan birbirleri ile bilgi paylaşımı yapma imkânına sahiptir. Son yıllarda PSO için farklı topolojiler tanıtılmıştır. Bu topolojilerden bir kaç tanesi Global Optimum Topolojisi, Yerel Optimum Topolojisi ve Van Neuman Topolojisi'dir. Şekil 1.1 bir toplumdaki parçacıkların bağlarını PSO algoritmasında göstermektedir.



Şekil 1.1. PSO algoritmasının farklı topolojileri (a) Kare topolojisi (b) Yerel optimum topolojisi (c) Global optimum topolojisi

1.3.1.2.1. Van Neuman Toplojisi (Kare Toplojisi)

Neumann, kare topolojisini materyallerin moleküler yapısından esinlenerek sunmuştur [48]. Bu topolojide her bir parçacık iki boyutlu şebeke içerisinde, dört komşu parçacık ile (yukarı, aşağı, sağ, sol) ilişkisi vardır. Her bir parçacık kendisinin en iyi tecrübesi ve diğer dört komşu parçacığın en iyi tecrübelerinden faydalanarak hareket eder. Burada parçacıkların ilişkisi yıldız topolojisine göre daha sınırlıdır ancak halka topolojisine göre parçacıklar arası ilişkiler daha fazladır. Dolayısı ile yakınsama bu topolojide yıldız topolojisine göre daha yavaş ve halka topolojisine göre daha hızlıdır [48]. (Şekil 1,1.a)

1.3.1.2.2. Yerel Optimum Topolojisi (Halka Topolojisi)

Yerel Optimum Topolojisinde (Halka Topolojisi), her bir parçacık iki komşu parçacık ile ilişkisi vardır. Her parçacık komşu parçacığın bilgisini (komşu parçacıkların en iyi tecrübesi) taşır ve bu tecrübe ve kendi tecrübesinden faydalanarak bir sonraki zamanda hareketine devam eder. Bu topolojide parçacıkların ilişkisi yıldız topolojisine göre sınırlıdır. Bunun için yakınsama daha uzun sürebilir. (Şekil 1,1.b)

1.3.1.2.3. Global Optimum Topolojisi (Yıldız Topolojisi)

Global Optimum Topolojisinde (Yıldız Topolojisi), her bir parçacık toplumdaki diğer parçacıklar ile ilişkisi olabilir. Her parçacık toplumun en iyi parçacığının bilgisini taşımaktadır. Böylece kendi tecrübesi ve toplumun en iyi tecrübesinden yararlanarak bir sonraki zamanda hareket eder. (Şekil 1,1.c)

1.3.1.3. Parçacıkların Hız ve Hareket Denklemleri

PSO algoritmasında parçacıkların amacı, global optimum noktasını arama uzayında bulmaktır. Bir 'i' parçacığının, 'm' ağırlığında ve 'D' boyutlu bir arama uzayında, $\vec{x}_i(t)$ kadar hareket ettiğini farz edelim. Her parçacığın hız ve ani ivme denklemleri (1) ve (2) denklemlerinde gösterilmiştir.

$$\vec{v} = \frac{d\vec{x}}{dt} \quad (1)$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (2)$$

Ortalama hız ve ivme denklemleri ise (3) ve (4)'teki gibidir.

$$\vec{v}(t) = \frac{\vec{x}(t) - \vec{x}(t-1)}{\Delta t} \quad (3)$$

$$\frac{\vec{F}(t-1)}{m} = \frac{\vec{v}(t) - \vec{v}(t-1)}{\Delta t} \quad (4)$$

(3) ve (4) denklemlerinden faydalanarak her parçacığın 't' zamanındaki hız ve konumu bulunur.

$$\vec{F}(t-1) = c_1 (\vec{p}_{t-1} - \vec{x}_{t-1}) + \vec{v}(t)\Delta t \quad (5)$$

$$\vec{v}(t) = \vec{v}(t-1) + \frac{\vec{F}(t-1)}{m} \Delta t \quad (6)$$

(5) ve (6) denklemlerinde $m=1$ ve $\Delta t=1$ alınırsa, (7) ve (8) denklemleri elde edilir.

$$\vec{x}(t) = \vec{x}(t-1) + \vec{v}(t) \quad (7)$$

$$\vec{v}(t) = \vec{v}(t-1) + \vec{F}(t-1) \quad (8)$$

(7) nolu denklem, parçacıkların hızlarının belirlenmesinden sonra konumlarını güncellemektedir. Kuşlar yiyecek arayışında oldukları zaman, gruptaki tüm kuşların (parçacık) bilgilerinden faydalanarak, hareket edecekleri yönü seçerler. Bunun için grubun en iyi pozisyonu ve her parçacığın bireysel en iyi pozisyonu zamanın her anında hesaplanır. Yeni hareket yönü şu iki hareketin ve parçacığın önceki yönüdür [48]. 'D'

boyutlu arama uzayında ‘i’ parçacığının en iyi bireysel pozisyonu (\vec{p}_i) ve parçacıkların en iyi genel pozisyonları (\vec{g}) ve her parçacığın komşuluğundaki en iyi pozisyon (\vec{n}_i)sırası ile (9), (10) ve (11)’de gösterilmiştir.

$$\vec{p}_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD}) \quad (9)$$

$$\vec{g} = (g_1, g_2, \dots, g_D) \quad (10)$$

$$\vec{n}_i = (n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{iD}) \quad (11)$$

Daha önce söylediğimiz gibi halka topolojisinde her bir parçacığın iki komşu parçacığı ve kare topolojisinde her parçacığın dört komşu parçacığı vardır. Yıldız topolojisinde ‘i’ parçacığına uygulanan kuvvet (12), parçacığın en iyi bireysel pozisyonu ve toplumun en iyi pozisyonu vasıtasıyla ve parçacığa bağlı iki yay ile modellenir. Bu iki yaydan biri en iyi bireysel tecrübenin ve diğeri en iyi genel tecrübesinin yönündedir.

$$\vec{F}_{t-1} = c_1(\vec{p}_{t-1} - \vec{x}_{t-1}) + c_2(\vec{g}_{t-1} - \vec{x}_{t-1}) \quad (12)$$

(12)’de c_1 ve c_2 , Hook yay sabitleri veya ivme sabitleridir ve genelde 2 alınır. Halka(ring) veya kare topolojilerinde, ‘i’ parçacığına uygulanan kuvvet (13), parçacığın en iyi bireysel pozisyonu ve komşularının en iyi pozisyonu vasıtasıyla ve parçacığa bağlı iki yay ile modellenir. Bu iki yaydan biri en iyi bireysel tecrübesi ve diğeri en iyi komşu tecrübesinin yönündedir.

$$\vec{F}_{t-1} = c_1(\vec{p}_{t-1} - \vec{x}_{t-1}) + c_2(\vec{n}_{t-1} - \vec{x}_{t-1}) \quad (13)$$

Eğer (8) denkleminde, ‘ \vec{F}_{t-1} ’ yerine (12) ve (13) denklemlerini yazarsak, parçacığın ‘d’ boyutundaki hız denklemi ve bir sonraki iterasyonu aşağıdaki gibi yazılır.

$$v_{id}(t) = \omega v_{id}(t-1) + c_1 \mathbf{rand}_1(p_{id}(t-1) - x_{id}(t-1)) + c_2 \mathbf{rand}_2(n_{id}(t-1) - x_{id}(t-1)) \quad (14)$$

Veya;

$$\vec{v}_{id}(t+1) = \omega v_{id}(t) + c_1 rand_1(p_{id}(t) - x_{id}(t)) + c_2 rand_2(n_{id}(t) - x_{id}(t)) \quad (15)$$

$$\vec{v}_{id}(t+1) = \omega v_{id}(t) + c_1 rand_1(p_{id}(t) - x_{id}(t)) + c_2 rand_2(g_{id}(t) - x_{id}(t)) \quad (16)$$

(15) denklemi 'i' parçacığının halka ve kare topolojilerindeki hız denklemdir. (16) denklemi ise 'i' parçacığının yıldız topolojisindeki (Global Optimum) hız denklemdir. Burada ω sürtünme sabitidir ve parçacıkların algoritma uygulama sırasında başlangıç hızlarının azalması için, hız denkleminde başlangıç hızıyla çarpılır. ω 'nın çarpımı parçacıkların son iterasyonlarda yakınsamalarına neden olur. Genelde uygulama sırasında ω 'nın düşük miktarları, parçacıkların bir yerel Optimum noktasında yakınsamalarına neden olur. Çok büyük miktarları ise yakınsamayı önleyebilir. PSO uygulamasında genelde ω 'nın miktarı öğrenim sırasında ayarlanır ve doğrusal bir şekilde 1'den 0'a kadar azalır. Genel olarak sürtünme sabiti aşağıdaki denklem ile belirlenir.

$$\omega = \omega_{max} - \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{iter_{max}} * iter \quad (17)$$

Burada:

$iter$: Tekrarlama (iterasyon) sayısı

$iter_{max}$: Maksimum tekrarlama sayısı

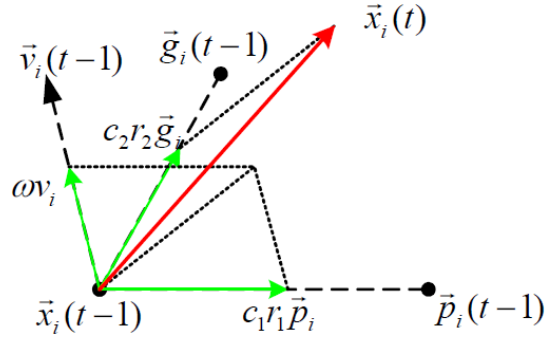
$\omega_{max}, \omega_{min}$: ω 'nın sırasıyla maksimum ve minimum miktarlarıdır.

(Genelde $\omega_{max}=0,9$ ve $\omega_{min}=0,3$)

(14), (15) ve (16) denklemlerinde hızın rasgele bir değere sahip olması için c_1 ve c_2 sayıları iki random sayıya ($rand_1$ ve $rand_2$) çarpılır. $rand_1$ ve $rand_2$ sayıları [0,1] arasında tekdüze dağılıma sahipler

(14) ve (15) denklemlerinde $c_1 rand_1(\vec{p}_{t-1} - \vec{x}_{t-1})$ bireysel tecrübe, $c_2 rand_2(n_{id}(t) - x_{id}(t))$ ve $c_2 rand_2(g_{id}(t) - x_{id}(t))$ ise parçacıkların karşılıklı toplumsal etkilerini temsil etmektedir. Yani bir toplumun farklı bireyleri (parçacıklar) bireysel tecrübelerinden vaz geçip, kendi davranışlarını komşularının başarılı tecrübelerine göre ayarlarlar. Bir parçacığın ' \vec{v}_i ' hızı 'D' boyutlu arama uzayının her hangi boyutunda $[-v_{min}, v_{max}]$ arasında sınırlıdır. Böylece parçacığın arama uzayının dışına çıkma imkânı

azalır. Genelde $v_{max} = k \times x_{max}$ ($0,1 < k < 1$ ve x : arama uzunluğu). Şekil.1,2 'i' parçacığının 2 boyutlu bir arama uzayındaki hareketini yıldız topolojisinde hız ve hareket denklemlerini kullanarak, vektörel şekilde gösterilmektedir.



Şekil 1.2. i parçacığının 2 boyutlu arama uzayında kendi tecrübesi ve diğer parçacıkların tecrübesinin vektörel hareket şekli [46].

1.3.1.4. PSO Algoritmasının Uygulama Adımları

PSO algoritmasının uygulama adımları yıldız topolojisi için kısaca şöyledir:

1) Maliyet (cost) Fonksiyonunun tanıtımı ve PSO algoritmasının parametrelerinin belirlenmesi (nüfus sayısı, D (boyut) sayısı veya maliyet Fonksiyonu değişken sayısı, c_1 ve c_2 miktarları).

2) D boyutlu arama uzayında parçacıkların pozisyon ve hızları için rasgele bir değer üretilmesi.

3) Popülasyonun her bir parçacığı için Maliyet Fonksiyonunun hesaplanması:

for i = 1: nüfus sayısı

$$F_i(\vec{x}_i) = cost(\vec{x}_i)$$

end

4) Her bir parçacığın en iyi bireysel tecrübesinin hesaplanması (\vec{p}_i): ilk iterasyonda parçacığın en iyi bireysel tecrübesi aslında parçacığın başlangıç pozisyonudur.

$$if F(\vec{x}_i) > F(\vec{p}_i)$$

$$\vec{p}_i = \vec{x}_i$$

$$F(\vec{p}_i) = F(\vec{x}_i)$$

end

5) Parçacıkların en iyi Genel Tecrübelerinin hesaplanması (\vec{g}_i).

for $i=1:nüfus\ sayısı$

if $F(\vec{x}_i) > F(\vec{g})$

$g = \vec{x}_i$

$F(\vec{g}) = F(\vec{x}_i)$

end

end

6) Parçacıkların hızının hesaplanması:

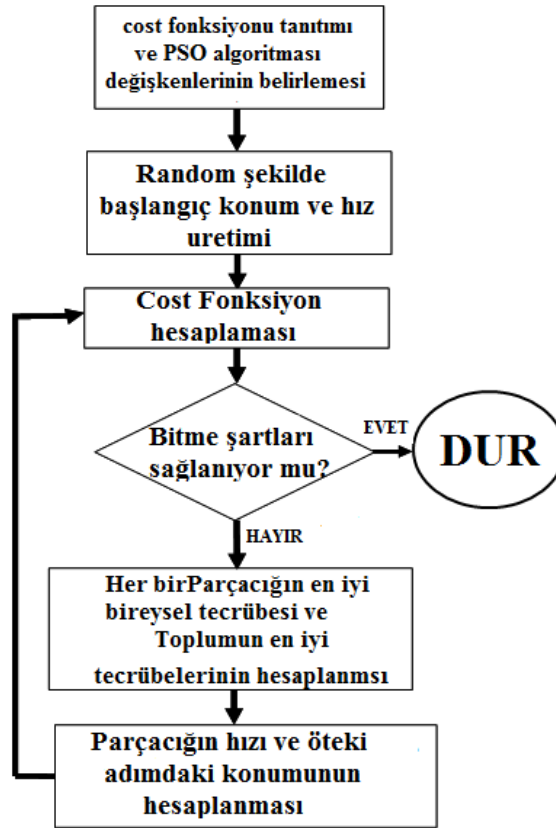
$$v_{id}(t+1) = \omega v_{id}(t) + c_1 rand_1(p_{id}(t) - x_{id}(t)) + c_2 rand_2(g_{id}(t) - x_{id}(t))$$

7) Parçacıkların pozisyonlarının güncellenmesi (hareket denklemini kullanarak)

$$\vec{x}(t) = \vec{x}(t-1) + \vec{v}(t)$$

8) Algoritmanın 3.adımının tekrarlanması

9) Algoritmanın 4. adımından itibaren yakınsamaya (convergence) varana kadar devam etmesi.



Şekil 1.3.PSO algoritmasının akış diagramı

1.3.2. Genetik Algoritmalar

1.3.2.1. Giriş

Burada PSO'yu diğer evrimsel algoritmalar ile karşılaştırma amacı ile özet bir şekilde Genetik Algoritmalarından bahsedilecektir. Sonraki bölümde ise Genetik algoritmaların PID parametre belirleme işleminde kullanımı ve sonuçları, PSO yöntemi ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılıp hangisinin daha iyi olduğu incelenecektir.

Genetik algoritmalar ilk kez Holland tarafından sunuldu [56]. GA, doğal seçim mekanizmasından esinlenen sezgisel optimizasyon tekniğidir. Bu algoritma, bir kaç sayı kromozom içeren bir başlangıç nüfusu ile başlar. Burada her bir kromozom bir potansiyel çözümdür. Yani genetik algoritma sadece bir çözüm değil çoklu çözüm üreten bir algoritmadır. Bu çözümün performansı uygunluk fonksiyonu (fitness function) ile değerlendirilir.

1.3.2.2. Genetik Algoritmaların Aşamaları [45]

Her kromozomun uygunluğuna göre seçilen bir grup kromozom üç ortak aşamayı geçirmek zorundadır. Reproduction, crossover (çaprazlama) ve mutation(mutasyon). Bu üç temel işlemin uygulaması en iyi çözüme yol açan yeni bireylerin oluşmasına ve daha sonra velilerin en iyi çözümlere doğru gitmelerine neden olur. Genetik algoritmaların PID denetleyici parametre ayarlama işlemi sonraki bölümde açıklanacaktır.

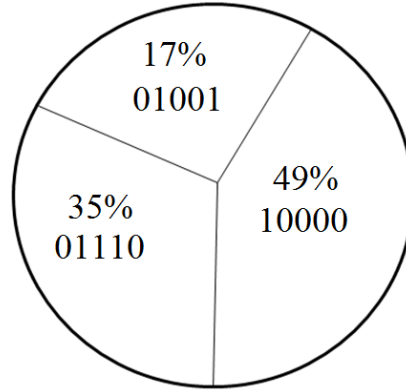
1.3.2.2.1. Seçim (Reproduction)

Seçim aşması sırasında her bir kromozomun fitness miktarı değerlendirilir. Yeni nüfusun bir kısmı hiç bir değişim yapmadan sadece mevcut nüfusun seçilen bir kısmını kopyalayarak, oluşturulabilir. Ayrıca yeni nüfus daha önce geliştirilmiş çözümler tarafından seçilme olasılığı vardır. Tüm seçim yöntemleri bir temel prensibe dayanmaktadırlar. Ne kadar kromozom uygun olursa (fitt), seçilme olasılığı okadar yüksek olur. En yaygın dört seçme yöntemi şöyledir:

1. Roulette Wheel yöntemi
2. Stochastic Universal yöntemi

3. Normalize geometrik yöntemi
4. Tournament yöntemi

Örneğin Roulette Wheel seçim yönteminde her birey için bir bölüm tahsis edilir. Bölümün büyüklüğü, bölümdeki bireyin uygunluğu (fitness) ile doğru orantılıdır.



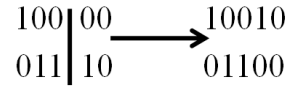
Şekil 1.4. Roulett Wheel seçim yöntemi

1.3.2.2.2. Çaprazlama (Crossover)

Seçim işlemi tamamlandıktan sonra çaprazlama (crossover) işlemi yapılır. Çaprazlama işleminde iki dizinin belirli parçaları seçilir. Bu seçimde eski dizilerin en iyi kısımları alınıp daha iyi yeni diziler oluşturulur. Genetik operatörleri Bir temel GA algoritmada tek nokta çaprazlama yöntemi (single point crossover) uygulanır. İki adet eş kromozom rasgele bir kesme noktası (cut-point) seçip, iki velinin sağ olan kısımları ile değiştirip, yavru oluşturur. Tek nokta çaprazlama yöntemi iki adım içerir;

1. Eşleşme havuzunda mevcut olan veyeni üretilen dizilerin üyeleri, random bir şekilde eşleştirilir.
2. Her çift dizi (kromozom) crossover'i şöyle geçirir; bir integer k sayısı random şekilde seçilir. Bu sayı 1 ve dizinin uzunluğunun bir eksiği arasında bir sayıdır $[1, L-1]$. Karakterlerin hepsi konumlarını $k+1$ ve L arası değiştirip iki yeni dizi oluştururlar.

Örneğin eğer 10000 ve 01110 dizileri çaprazlama işlemi için seçilirse ve k sayısını random olarak 3 alırsak, yeni oluşturulan diziler 10010 ve 01100 olur. (Şekil.1,5)



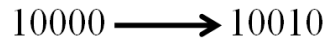
Şekil 1.5. Çaprazlama (crossover) işleminin açıklaması

1.3.2.2.3. Mutasyon

Seçim ve çaprazlama işlemini yaparak büyük ölçüde dizi elde edilir. Ancak burada iki önemli sorun ile karşılaştırılır.

1. Seçilen başlangıç nüfusuna bağlı olarak, genetik algoritmanın tüm problem uzayında arama işleminin yapılmasını sağlayan başlangıç dizilerin çeşitliliği yetersiz olabilir.
2. Başlangıç nüfusunun kötü seçilimi neticesinde genetik algoritma alt-optimum dizilerde yakınsar.

Şu problemler mutasyon operatörünün genetik algoritmaya tanıtımı ile giderilebilir. Mutasyon algoritmanın yerel minima (local minima) noktalarında tuzağa düşmesini engeller ve nüfus çeşitliliğini korur. Genellikle mutasyon oranı (mutation rate) düşük seçilmelidir. Yüksek mutasyon oranlar muhtemelen arama sürecinin rasgele aramaya dönmesine neden olur. Ne zaman bir dizi mutasyon için seçilirse, dizinin rasgele seçilen elemanı değiştirilir veya mutasyona uğrar. Örneğin eğer GA, 10000 binary dizisinde dördüncü bit konumunu seçerse sonuç olarak 10010 dizisi dördüncü bit'in değişimi ile elde edilir.(Şekil.1,6)



Şekil 1.6.Mutasyon işleminin açıklaması

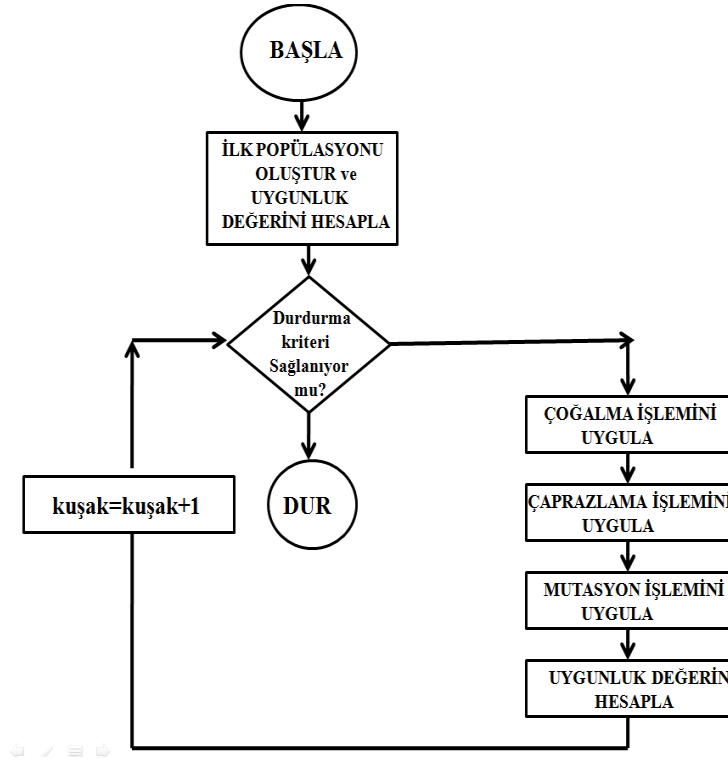
1.3.2.2.4. Genetik Algoritmasının Uygulama Adımları

Genetik Algoritmaların oluşturulması ve uygulama adımları şöyledir;

1. Bireylerden (kromozom) oluşan bir random başlangıç nüfus üretilir.
2. Bireylerin uygulduğu değerlendirilir.
3. Nüfusun en uygun (fitt) üyeleri seçilir
4. Seçim (Bu tez çalışmasında Roulett Wheel yöntemi uygulandı)

5. Çaprazlama
6. Mutasyon
7. 2. Adımın yakınsama varana kadar tekrarlanması

Genetik algoritmanın akış diagramı Şekil.1,7’de gösterilmiştir.



Şekil 1.7.GA'nın akış diagramı

1.3.2.2.5. Uygunluk Fonksiyonu(Objektif Fonksiyonu)

GA uygulamasının en önemli adımı kromozomların uygunluğunu (fitness) değerlendiren objektif fonksiyonunu seçmektir. Bazı çalışmalarda amaç fonksiyonları olarak performans endeksleri kullanılır. MSE (Mean of the Squared Error), ITAE (Integral of Time weighted Absolute Error), IAE (Integral Of Absolute magnitude of the Error) ve ISE (Integral of the Squared Error) objektif fonksiyonlarından sayılır. Bu çalışmada biz ITAE performans endeksi kullanılmıştır.(18)

$$ITAE = \int_0^{\tau} t \cdot |r(t) - y(t)| dt = \int_0^{\tau} t \cdot |e(t)| dt \quad (18)$$

1.3.2.2.6. Uygunluk (Fitness) Değerleri

PID denetleyici hata sinyallerini aza düşürmek için kullanılır. Yukarıda bahsettiğimiz performans endekslerin değerlerini minimize etmek için, hatayı daha dikkatli tanımlamalıyız. Performans endeksi değeri küçük olan kromozomlar, en uygun (fitter) kromozomlar ve tam tersi performans endeksi değeri büyük olan kromozomlar uygun olmayan kromozomlar olarak bilinir. Bu nedenle kromozomların uygunluk denklemi aşağıdaki gibidir.(37)

$$Uygunluk\ Değeri = \frac{1}{performans\ endeksi} \quad (19)$$

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

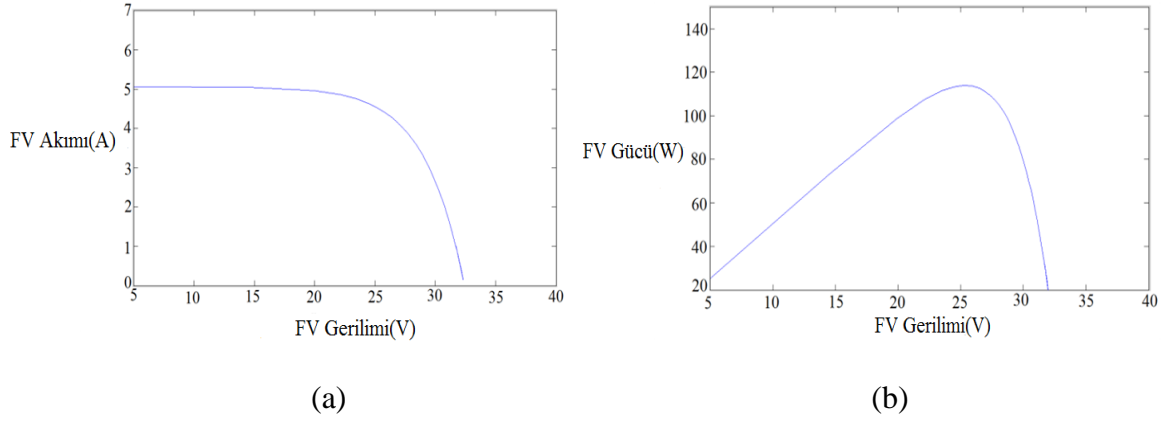
2.1. Fotovoltaik Sistemler

2.1.1. Solar Hücre

PV hücreleri silikon ve benzeri yarı iletken materyallerden imal edilir. Güneş hücresi temelde ince yarı iletken tabakasında imal edilen bir p-n birleşimidir. Güneş enerjisinin elektromanyetik radyasyonu fotovoltaik etkisi vasıtasıyla doğrudan elektriğe dönüştürülebilir. Güneş ışığına mağruz kalmasıyla band-gape enerjisinin yarı iletkene göre daha fazla olan fotonlar absorbe edilir ve irradyasyon ile orantılı bazı elektron-delik çiftleri oluşur. P-N bağlantısının elektrik alanı etkisi altında kalan bu taşıyıcılar, bir fotoakım meydana getirirler ki oda güneş ışınımı ile doğru orantılıdır. Böylece bir güneş hücresiyle elektrik üretilir ve elde edilen güneş enerjisi ile herhangi bir yük beslenebilir [54].

2.1.2. FV Modülü ve FV Paneli Modeli

Bir PV hücresi yaklaşık 0,5 volt üretir. Yüksek voltaj elde edebilmek için çok sayıda FV hücresi paralel ve seri bağlanabilir [2]. Böylece bir FV MODÜLÜ elde edilir. FV modülü bir FV jeneratör sisteminin temel güç dönüşüm birimini temsil eder. FV modülünün çıkış karakteristiği güneş ışınım miktarına ve hücrelerin sıcaklığına bağlıdır [2]. FV sistemi doğrusal olmayan V-I (Gerilim-Akım) karakterisik (Şekil.2,1.a) ve P-V (Güç-Gerilim) karakteristiğine (Şekil.2,1.b) sahiptir. Şekil.2,2'de bir FV hücresinin eşdeğer devresi görülmektedir.



Şekil 2.1. PVA sisteminin karakteristikleri (a) Gerilim-Akım (V-I) karakteristiği (b) Güç-Gerilim (P-V) karakteristiği

Şekil.2,2'de görüldüğü gibi bir FV hücresi Akım kaynağı (I_{ph}), diyot (d_0), seri direnç (R_s)'den oluşmaktadır. FV hücresinin çıkış gerilimi fotoakımın (photocurrent) fonksiyonudur. Özellikle uygulama sırasında güneş radyasyon seviyesine bağlı olan yük akımı tarafından belirlenir.

$$V_C = \frac{AKT_C}{e} \ln \left(\frac{I_{ph} + I_0 - I_C}{I_0} \right) - R_s I_C \quad (20)$$

Burada,

e : Electron şarj (1.602×10^{-19} C).

k : Boltzmann sabiti (1.38×10^{-23} J/oK).

I_C : Hücresinin çıkış akımı, A.

I_{ph} : Fotoakım, radyasyon seviyesi ve bağlantı sıcaklığının fonksiyonudur (5 A).

I_0 : diyotun ters doyma akımı (0,0002 A).

R_s : hücresinin seri direnci (0,001 Ω).

T_C : hücresinin referans uygulama sıcaklığı (20 °C).

V_C : hücresinin çıkış gerilimi, V.

K ve T çıkışı da aynı sıcaklık biriminde olmalıdır (Kelvin veya Santigrad Derece). Eğri uydurma faktörü A, Hücresinin I-V karakteristiğini ayarlamak için kullanılır. (20) tek bir güneş hücresinin voltajını göstermektedir. Daha sonra bir PV panelinin voltajını bulmak için seri bağlı hücre sayısı ile çarpılır. Dizinin (array) akımı paralel hücrelerden akan

akımların toplamıdır. Dolayısı ile I_c , yani bir hücrenin akımını (20)'de kullanılmadan önce bulmak için, dizinin akımı toplam paralel bağlı hücre sayısına bölünür. (Belirli bir hücre çalışma sıcaklığında (T_c) ve ona karşılık gelen güneş radyasyonu düzeyinde (S_c) geçerlidir).

Eğer sıcaklık ve güneş radyasyonu seviyeleri değişirse FV panelinin gerilim ve akım çıkışları bu değişiklikleri takip ederek değişir. Bundan dolayı yukarıdaki faktörler hesaba alınarak bir FV modeli oluşturulmalıdır. İ. H. Altas [2,3] ve A.M. Sharaf [1,2,3] tarafından sunulan bir modelde bu parametreler hesaba alınmıştır. Bu yöntemle göre bilinen bir sıcaklık ve güneş ışınım seviyesi için bir model elde edilip daha sonra bu model farklı sıcaklık ve güneş ışınımı durumlarında kullanılmak için modifiye edilir. Ne zaman ortam sıcaklığı ve radyasyon seviyeleri değişirse hücrenin çalışma sıcaklığında değişir. Neticede yeni bir çıkış gerilimi ve yeni bir fotoakım değeri elde edilir. Güneş pilinin çalışma sıcaklığı, güneş ışınımı seviyesi ve ortam sıcaklığının fonksiyonu olarak değişir. Değişken ortam sıcaklığı (T_a), hücre çıkış gerilimini ve hücre fotoakımını etkiler. Bu etkiler modelde hücre çıkış sıcaklık katsayıları C_{TV} ve C_{TI} sırasıyla hücre çıkış voltajı ve hücre fotoakımını temsil etmektedir [2].

$$C_{TV}=1+\beta_T(T_a - T_x) \quad (21)$$

$$C_{TI}=1+\frac{\gamma_T}{S_c}(T_x - T_a) \quad (22)$$

Yukarıdaki denklemlerde, kullanılan hücre için: $\beta_T=0.004$, $\gamma_T=0.06$ ve hücre deneyim sırasında çevre sıcaklığı $T_a=20^\circ\text{C}$. Bu yöntem ile başka ortam sıcaklığında (T_x) bir modifiye hücre modeli oluşturulabilir. Ortam sıcaklığında gündüz sırasında önemli bir değişiklik olmasa bile, güneş radyasyon seviyesi güneş ışığının miktarına ve havanın açık veya kapalı olduğuna bağlı olarak değişmektedir. Güneş ışınımı seviyesinde bir değişiklik olursa hücre fotoakımı ve çalışma sıcaklığı sonuç olarak değişir. Bu durum ise hücrenin çıkış gerilimini etkiler. Eğer güneş radyasyon S_{x1} 'den S_{x2} 'ye kadar çıkarsa, hücrenin çalışma sıcaklığı ve fotoakım sırasıyla T_{x1} 'den T_{x2} 'ye ve I_{ph1} 'den I_{ph2} 'ye kadar çıkar. Dolayısı ile solar radyasyon seviyesi değişimi nedeni ile sıcaklık ve fotoakım değişkenleri C_{SV} ve C_{SI} sabitleriyle ifade edilir. Bu sabitler sırasıyla hücrenin çıkış gerilimi (V_c) ve fotoakımının (I_{ph}) düzeltme faktörleridir.

$$C_{SV}=1+\beta_T\alpha_S(S_x - S_c) \quad (23)$$

$$C_{SI}=1+\frac{1}{S_c}(S_x - S_c) \quad (24)$$

(23) ve (24) eşitliklerinde S_c , hücrenin testi sırasında bir modifiye model elde etmek için kullanılan kriter solar radyasyon seviyesidir vesolar radyasyonun yeni seviyesi S_x 'tir. Sıcaklık değişikliği (ΔT_C) solar radyasyon seviyesindeki değişimden etkilenerek değişir ve eşitlik (25)'i kullanılarak elde edilir.

$$\Delta T_C=\alpha_S(S_x - S_c) \quad (25)$$

(25)'de α_S çalışma sıcaklığının (solar radyasyonun seviyesi değişimi nedeniyle) değişiminin eğimini temsil eder ve kullanılan güneş hücreleri için 0,2'ye eşittir. Düzeltme faktörlerini (C_{TV} , C_{SV} , C_{TI} , C_{SI}) kullanarak (26), (27), (28), (29) eşitliklerinde görüldüğü gibi hücrenin yeni çıkış voltajı (V_{CX}) ve fotoakımı (I_{phx}), elde edilir.

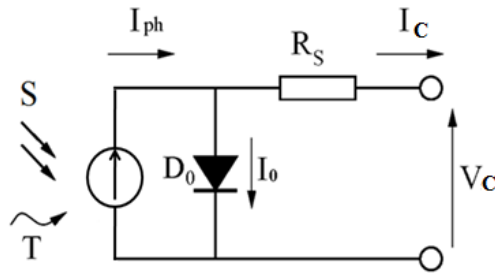
$$V_{CX}= C_{TV} C_{SV}V_C \quad (26)$$

$$\text{Veya} \quad V_{CX}= C_VV_C \quad (27)$$

$$I_{phx} = C_{TI}C_{SI}I_{ph} \quad (28)$$

$$\text{Veya} \quad I_{phx} =C_I I_{ph} \quad (29)$$

(27) ve (29) eşitliklerinde V_C ve I_{ph} sırasıyla hücre referans çıkış gerilimi ve hücre fotoakımıdır.

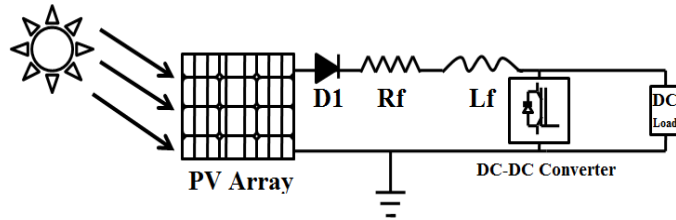


Şekil 2.2. Bir PV hücrenin eşdeğeri

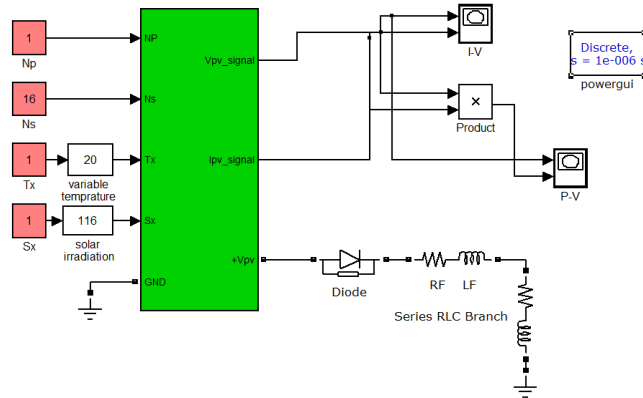
2.1.3. FV panelinin Matlab/Simulink Modeli

Bir tipik FV hücresi yaklaşık 2 Watt enerji ve 0,5 Volt üretir. Dolayısı ile yeterince yüksek güç üretmesi için hücrelerin seri-paralel olarak yapılandırılmaları gerekir. FV modülü elektriksel olarak seri-paralel devrelereşeklinde bağlanır ve böylece gerekli akım ve gerilim elde edilir.

Şekil.2,3(a)'da bir FV PANELİ modelinin genel blok diagramı ve Şekil.2,3(b)'de GUI Simulink ortamında oluşturduğumuz model gösterilmiştir [2]. Bu blok diagram bir genel model oluşturmak için kullanılan alt modellerden oluşmaktadır. Devredeki diyot ters akımı önlemek için kullanılır. Sabit bir gerilim almak için yükten önce seri resistans (R_F) ve indüktans (L_F)'den oluşan bir filtre kullanılmaktadır. FV PANELİ 16 seri bağlanan hücreden oluşur. Böylece istenen gerilimi alabiliriz. İstenenen yükün gücüne göre paralel dalların sayısını 2'ye veya daha fazla artırabiliriz. Sıcaklık ve güneş ışınımı etkileri iki değişken kazanç ile temsil edilmektedir. Bu iki blok değişken sıcaklık (variable temperature) ve değişken güneş ışınımı (variable solar irradiation) olarak şekilde gösterilmektedir. Değişimler slider gain'in ayarlarını sürükleyerek yapılır. Diğer kısımlar ise alt sistemler olarak genel sistemin altında yer almaktadır.



(a)



(b)

Şekil 2.3. Bir FV Paneli sisteminin modeli (a) Genel modeli
(b) Matlab/Simulink modeli

2.1.4. FV Panelinin Karakteristikleri

Sistemin karakteristikleri kullanılan FV modelinin (şekil.2,3) simülasyonu yapıldıktan sonra elde edilir. Böylece bu sistem ile istediğimiz DA yükü besleyebiliriz. Bu sistemde şimdilik bir kontrolör kullanmıyoruz. Kontrolör kısmını daha sonraki bölümlerde açıklanacaktır. Genel anlamda bir FV daha önce de gördüğümüz gibi (Şekil.2,1.a ve Şekil.2,1.b) iki karakteristiğe sahiptir:

1.Voltaj-Akım karakteristiği (V-I) (Şekil.2,1.a)

2.Güç-Voltaj karakteristiği (P-V) (Şekil.2,1.b)

Başlangıçta PVA'nın gerilimi açık devre olduğu için, akım sıfıra eşittir. Simülasyonun başlanmasından itibaren DA yük akım çekip, gerilim ve akım operasyon değerlerine doğru hareket etmeye başlarlar.

2.2. Rüzgar Sisteminin Modeli

2.2.1. Giriş

Rüzgar enerjisi tüm yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir rol oynar. Rüzgar enerjisi, elektrik gücü üretim rekabeti açısından en umut verici kaynak olarak kabul ediliyor. Bu enerji bin yıldan beri su pompalama, öğütme ve benzeri uygulamalarda kullanılmaktadır. rüzgar enerjisiyle elektrik üretimi ilk kez 1887 senesinde Amerikanın Ohio eyaletinin Cleveland kentinde "Charles Brush" tarafından yapılmıştır. Kullanılan Doğru Akım jeneratörün nominal gücü 12 kw olarak seçildi ve bu doğru akım jeneratör pilleri şarj etmek için tasarlanmıştır. Daha sonra bahsedeceğimiz asenkron jeneratör ise 1951 yılında ilk kez kullanılmıştı. Günümüzde, bu teknoloji piyasalarda hızla artan teknolojilerden biridir.[18]

2.2.2. Rüzgar Türbininin Yapısı

Rüzgar türbini, rüzgarda mevcut olan kinetik enerji ile moment üretip mekanik enerjiye dönüştürür. Rüzgarın içerdiği enerji kinetik enerji şeklinde olduğu için, büyüklüğü hava yoğunluğu (ρ_a) ve rüzgar hızına (V_m) bağlıdır. Türbin modeli, türbinin

güç karakteristiğinin kararlı haline dayanmaktadır. Sürücü dizisinin sertliği sonsuza alınmıştır. Sürtünme faktörü ve türbinin eylemsizliği, türbin ile birleştirilmiş jeneratörde olanlar ile kombine edilmelidir. Türbinin çıkış gücü (30)'da verilmiştir.

$$P_m = \frac{1}{2} \rho_a A_s V_m^3 C_p(\beta, \lambda) \quad (30)$$

Burada;

P_m : Türbinin mekanik çıkış gücü[watt]

ρ_a : Hava yoğunluğu [kg/m^3]

A_s : Türbinin' blade' leri tarafından taranan alan [m^2]

V_m : Rüzgarın hızı[m/s]

β : Blade eğim açısı[deg]

λ : Uç hız oranı (28)

$$\lambda = \frac{V_t}{V_m} = \frac{R_t \omega_m}{V_m} \quad (31)$$

V_t : Doğrusal blade ucu hızı[m/s]

R_t : Türbin blade'ının yarıçapı[m]

ω_m : Türbin mekanik dönme hızı[rad/san]

Denklem (30) normalize edilebilir. Birim (pu) sistemini kullanarak bu işi yapabiliriz [19]. Böylece (30)'un yeni şekli aşağıdaki gibi olur:

$$P_{m_pu} = k_p C_{p_pu} V_{m_pu}^3 \quad (32)$$

Burada:

P_{m_pu} : Nominal gücün pu değeridir (belirli ρ_a ve A_s değerleri için)

C_{p_pu} : Maksimum performans katsayısının pu değeri

V_{m_pu} : Rüzgar hızının pu değeri. (Rüzgar hızının taban hızı, beklenen rüzgar hızının ortalama değeridir)

k_p : Güç Kazanç ($C_{p_pu}=1$ ve $V_{m_pu}=1, k_p \leq 1$)

Aşağıda gösterilen denklem ise, türbinin özelliklerine göre yapılmış ($C_p(\beta, \lambda)$ için) genel bir denklem modelidir.

$$C_p(\beta, \lambda) = C_1 \left(\frac{C_2}{\lambda_i} - C_3 \beta + C_4 \right) e^{\frac{C_5}{\lambda_i}} + C_6 \lambda \quad (33)$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \quad (34)$$

(Burada C_1 ila C_6 katsayılarının : $C_1=0.5176$, $C_2=116$, $C_3=0.4$, $C_4=5$, $C_5=21$, $C_6=0.0068$)

2.2.3. Rüzgar Türbini Modeli

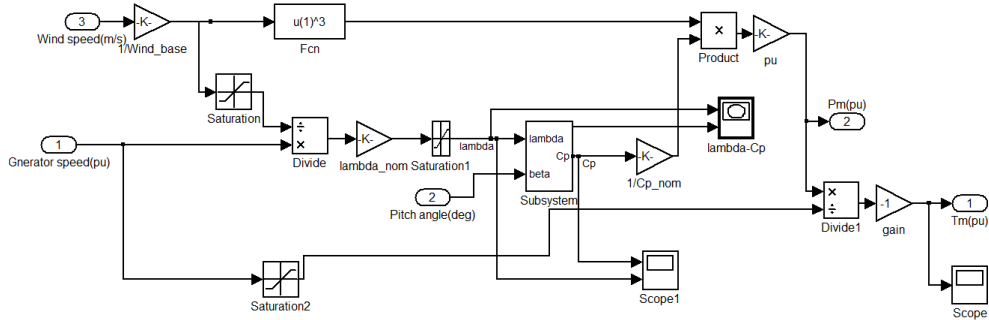
Kullanılan türbinin Simulink modeli (Şekil.2,4)'de gösterilmiştir. Bu modelde gösterilen şekilde üç girişi bulunmaktadır:

- Jeneratör hızı (ω_{r_pu}) jeneratörün pu değerindeki hızı;
- Eğim açısı (derece);
- Rüzgarın hızı (m/s).

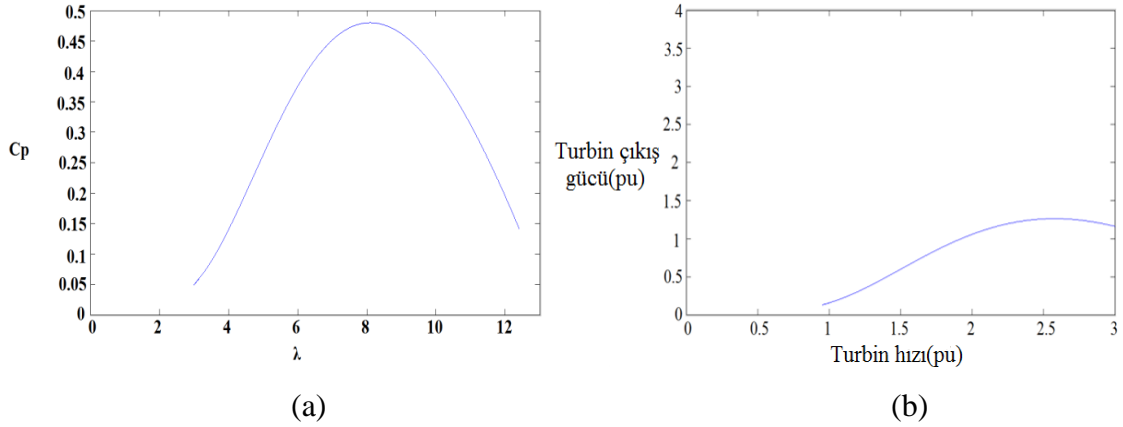
türbinin çıkışları ise:

- Jeneratörün miline uygulanan moment (T_m)
- Türbinin çıkış gücü (P_{m_pu}).

Şekil.2,5.a ve Şekil.2,5.b sırasıyla Rüzgar türbinin $C_p(\beta, \lambda)$ - λ karakteristiği ve Hız (pu)-Güç (pu) karakteristiğini gösteriyor.



Şekil 2.4. Rüzgar türbinin simulink modeli



Şekil 2.5. Rüzgar türbinin karakteristikleri (a) λ - C_p karakteristiği (b) Hız-Güç (ω_r pu - P_m pu) karakteristiği

2.2.4. Rüzgar Sisteminde Kullanılan Jeneratör Tipleri

Rotor yapısı bakımından indüksiyon jeneratörler iki türler:

- Sincap kafesli asenkron jeneratör
- Rotoru sargılı bilezikli asenkron jeneratör

Kullanılan prime mover bakımından ise:

- Sabit hız
- Değişken hız

Konumları:

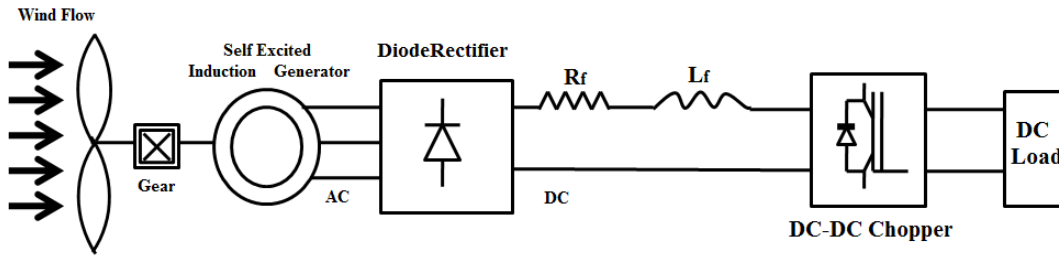
- Güç şebekesine yakın yerde
- İzole yerlerde

Bu çalışmada sincap kafesli asenkron jeneratör kullanılmıştır. Bu tür jeneratörler rüzgar sistemlerinde çok popülerdir. Onlar güvenilir, iyi gelişmiş ve esnektir. Bir şebekeye bağlı sistemde, indüksiyon jeneratörü ya şebekeden reaktif güç çıkarır ki bu durumda şebeke üzerinde büyük bir yük düşer ya da jeneratörün terminallerine bağlanan kapasitör bankası vasıtasıyla istenen reaktif güç üretilir. İzole sistemde ise jeneratör terminallerine uygun kapasitör bankı seçmeliyiz. Bu fenomen “Capacitor Self excitation” olarak bilinir. Kullanılan indüksiyon jeneratör ise SEIG (Self Excited Induction Generator) olarak adlandırılır.

2.2.5. Rüzgar Sisteminin Toplam Şekli

Bir rüzgar sisteminin genel şekli Şekil.2,6 gibidir. Bu şekilde rüzgar türbinin (Wind Turbin) ürettiği moment asenkron jeneratörünü çalıştırır. Asnkron Jeneratör 275 kva, 480 volt (line-line), özelliğine sahiptir. Jeneratörün parametreleri Tablo.2,1’de gösterilmiştir. Jeneratörün hemen çıkışında 75 kvar’lık Güç FaktörüDüzeltilme Kapasitörü kullanılmaktadır. Bu kapasitör aynı zamanda jeneratöre yol verici olarak kullanılır [55].Jeneratör ise bir 3 fazlı 50 kw’lık yükü besliyor.

Burada biz AC voltaj ürettik ancak bizim istediğimiz ve çalışmamızda kullanmak istediğimiz DC yani doğru akımdır. Bu nedenle jeneratörün AC çıkışını doğru akıma çevirmemiz gerekiyor. Dolayısı ile jeneratörün çıkışını bir doğrultucu vasıtasıyla ‘Doğru Akım’a çeviririz. Çıkış gerilimini istediğimiz seviyede tutabilmemiz için bir transformatör ile voltajı önce istediğimiz seviyeye getirip daha sonra doğru akıma çeviririz.



Şekil 2.6. Rüzgar sisteminin toplam şekli

Tablo 2.1. Sincap kafesli jeneratörün parametreleri [53]

Nominal güç(va)	275 kva
Vn(Vrms)	480
fn(Hz)	60
Statör resistansı(Rs) [pu]	0.016
Statör indüktansı(Ls)[pu]	0.06
Rotor resistansı(Rr') [pu]	0.015
Rotor indüktansı(Lr')[pu]	0.06
Karşılıklı indüktans(Lm)[pu]	3.5

2.3. Hibrit Sistemler

2.3.1. Rüzgar /Güneş Enerji Sisteminin Performansı

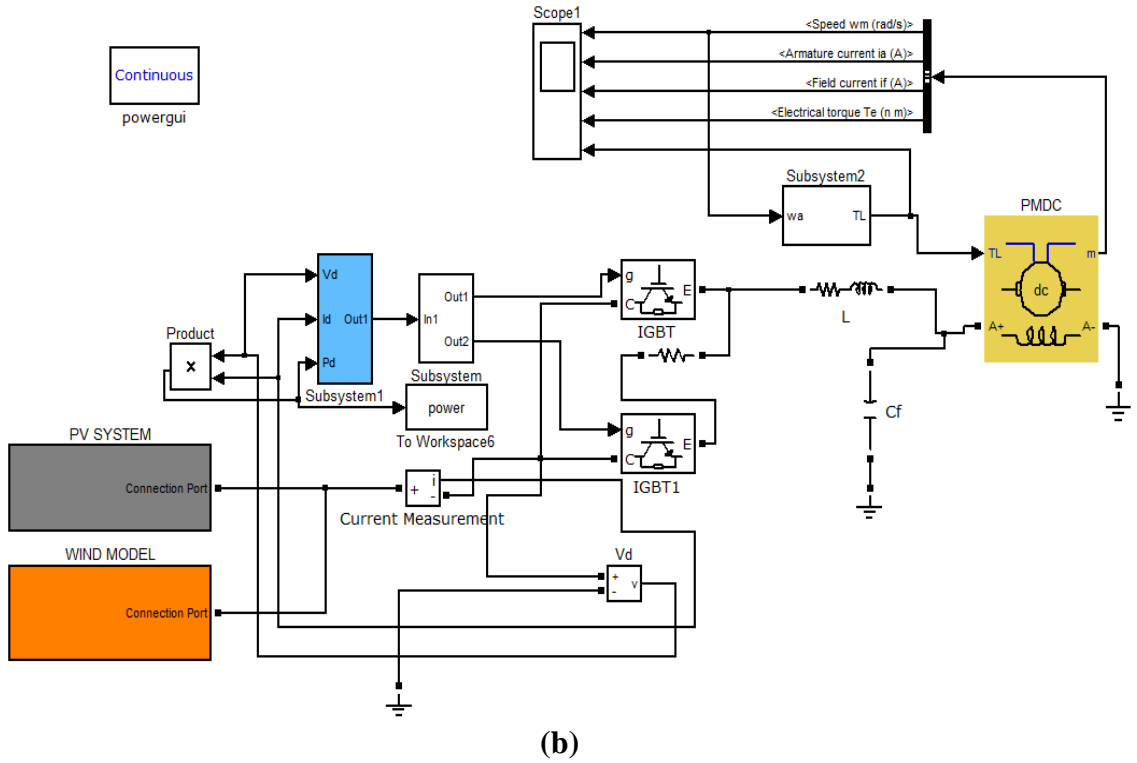
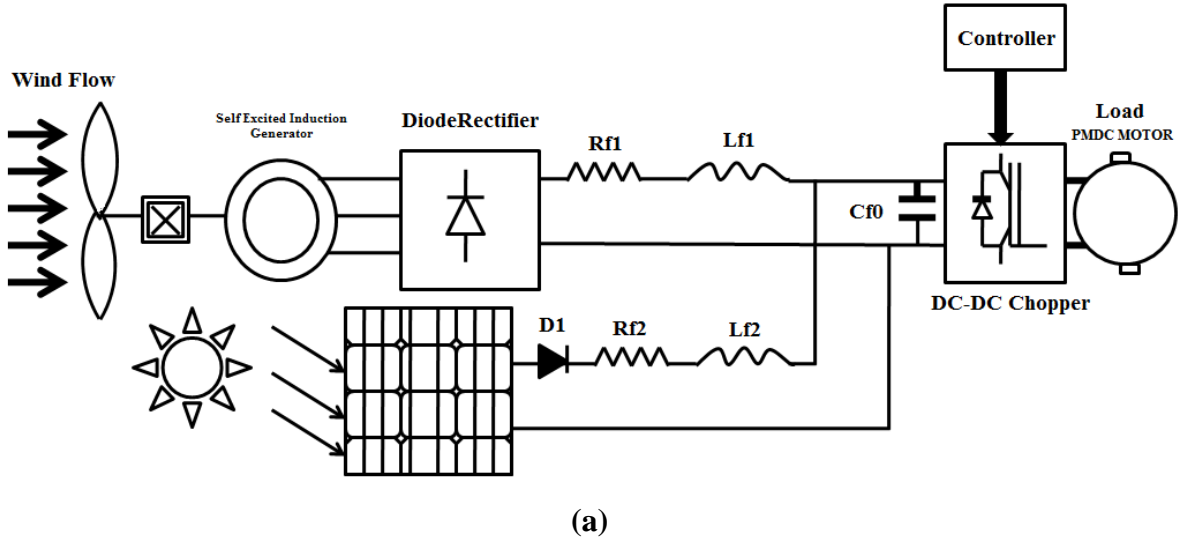
Hava kirliliğinden uzak olmaları ve hiç sera gazı yaymamalarına rağmen, her iki sisteminde birçok avantajları ve dezavantajları vardır. Bu avantajlar ve dezavantajlar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir: (tablo.2,2)

2.3.2. Hibrit Rüzgar/Güneş Sistemi

Her ikisistemin (Rüzgar ve güneş) (tablo.2,2)'de gördüğümüz gibi tek çalışması kusurları vardır. Rüzgar ve Güneş sistemlerinin elektrik üretimi, son derece hava şartlarına bağlıdır. Rüzgar hızı ve güneş ışınımı değişimi gibi doğal değişiklikler, Rüzgar ve Güneş sistemlerinin çıkışında dalgalanmalara neden olur. Bu sorunları hafifletebilmek için, Rüzgar ve FV kaynakları hibrit topolojileri kullanan diğer alternatif sistemler ile bütünleşebilir. Hibritgüç sistemi iki veya daha fazla enerji kaynakları, konvertörler ve/veya depolama cihazları birleşiminden oluşur. İki sistemin bir arada bulunduğu halde, tüketiciye Sürekli ve güvenilir güç sağlayarak birbirlerinin zaafalarını oldukça iyi şekilde kapata bilirler. Şekil.2,7.(a) bir hibrit sistemin genel şeklini ve Şekil.2,7.(b) Matlab/Simulink modelini göstermektedir.

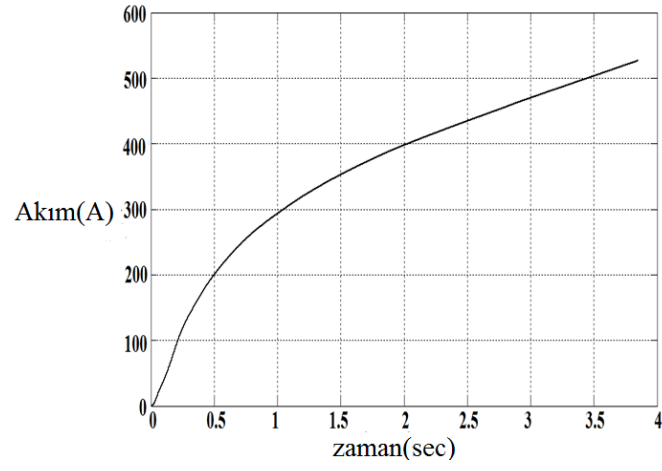
Tablo 2.2. Güneş ve Rüzgar sistemlerinin avantajları ve dezavantajları

Sistem Türü	Avantajlar	Dezavantajlar
FV Sistemi	<ul style="list-style-type: none"> • Çok fazla bakım gerektirmez • Basit kurulum • Güvenilir uzun kullanım ömrü • Gözetimsiz operasyonu • Sistemden yüksek çıkış gücü elde etmek için <i>cascade</i> şeklinde kullanılabilir • Hemen hemen her yerde kullanılabilir • Çoğu yerde tahmin edilebilir güç çıkışı • Sessiz, sade çalışma 	<ul style="list-style-type: none"> • Nispeten yüksek başlangıç maliyeti • Maksimum çıkış elde etmek için gün boyunca güçlü güneş ışınımına maruz kalmalıdır • Gece saatlerinde çıkış güç sıfırdır • Her PV paneli yaklaşık olarak sadece %40 verimliliğe sahiptir • PV panelleri hasar gördüğünde genelde değiştirilir
RüzgarSistemi	<ul style="list-style-type: none"> • Uzun ömürlü • Her bir watt saat enerji üretimi için düşük maliyetli sistemdir • Küçük sistemlerde az bakım gerektiren bir sistemdir • Bazı yerlerde güç çıkışı tahmin edilebilir • Hayvanların doğal yaşamı ve tarım için engel değildir • Yüksek güçler üretebilme kapasitesine sahiptir(Mega Watt) • Diğer yenilenebilir elektrik üretim sistemlerine mükemmel bir şekilde eklenir 	<ul style="list-style-type: none"> • Büyük sistemlerde yüksek bakım gerektiren ve pahalı tamir edilen bir sistemdir • Parçaları zor bulunur • Mevsimsel dezavantajlar • Kurması için özel malzemeler gerekir • Towering, büyük uniteler için pahalı olabilir ve ağır donanım gerektirebilir • Rüzgarın hızı tahmin edilemez • Şiddetli rüzgarlarda gürültü ortaya çıkar

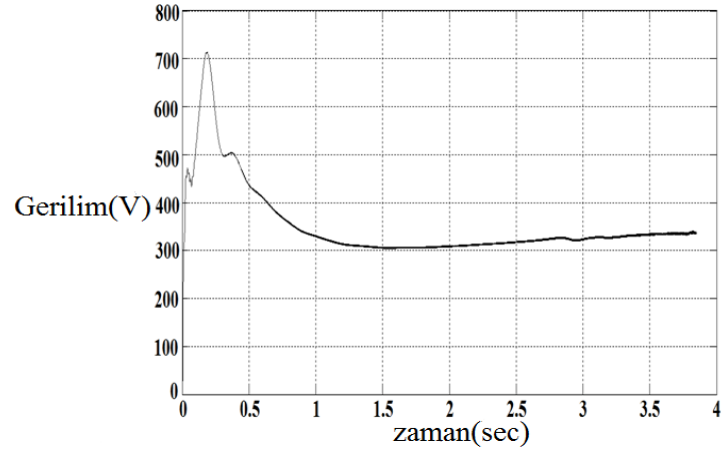


Şekil 2.7. Hibrit sistemin toplam şekli (a) Genel model (b) Matlab/Simulink model

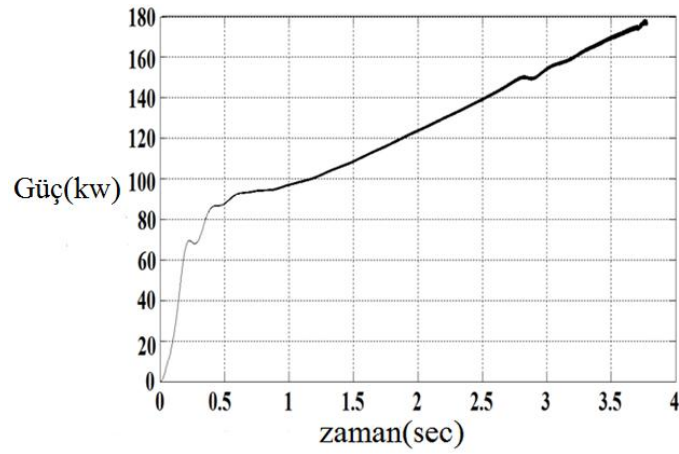
2,7.(a) ve 2,7.(b) şekillerinde bir DC-DC çift çevirici kısıyıcı chopper olarak kullınılmaktadır. ‘Chopper’i kontrol eden kısımlar, sonraki bölümde açıklanacaktır, fakat denetleyiciyi uygulamadan önce hibrit sisteminin çıkışları (akım, gerilim ve güç) (Şekil.2,8) gibidir. Ayrıca güneş sistemi ve rüzgar sisteminin akım ve gerilimleri ayrı ayrı hibrit şeklinde bağlandıktan sonra (kontrolör olmadan) elde ediliyor. (Şekil.2,9).



(a) Hibrit sistemin akımı

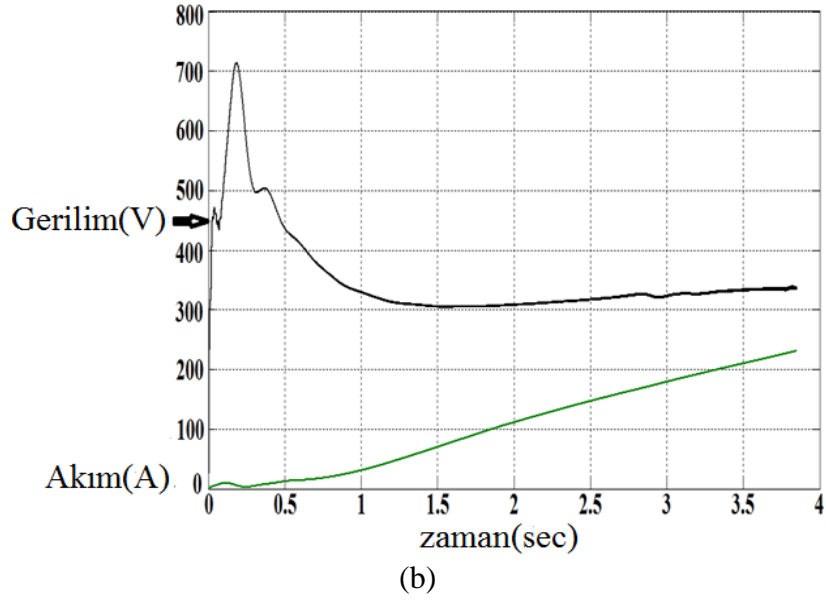
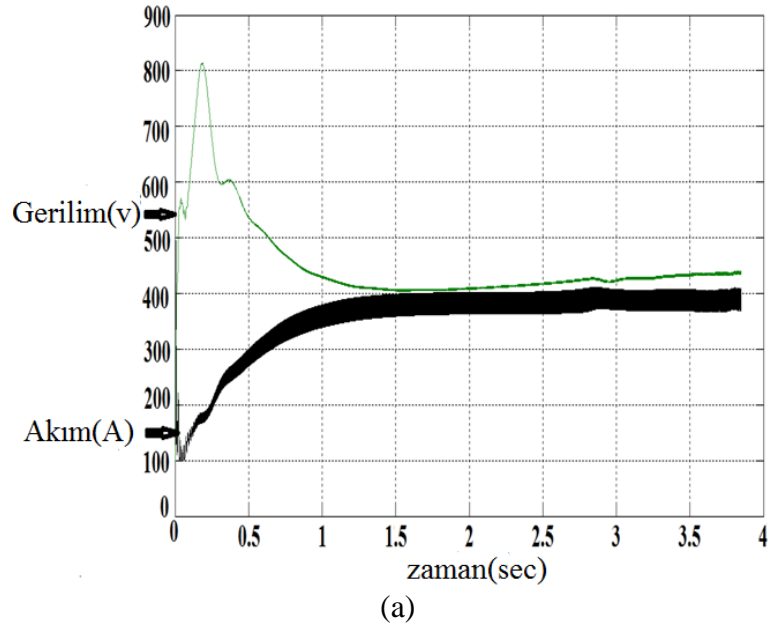


(b) Hibrit sistemin gerilimi



(c) Hibrit sistemin gücü

Şekil 2.8. Hibrit sistemin çıkışları (a) Akım (A) (b) Gerilim (V) (c) Güç (kW)



Şekil 2.9. (a) Rüzgar sisteminin gerilim ve akım çıkışları (denetleyici olmadan)
(b) Güneş sisteminin gerilim ve akım çıkışları (denetleyici olmadan)

2.4. Denetleyici

2.4.1. Denetleyicinin Yapısı

Yaptığımız çalışmada kullandığımız denetleyici üç kısımdan oluşmaktadır:

- Üç döngülü hata ile tahrik edilen (PID) denetleyicisi (Dr.sharaf [1] tarafından tasarlandı) (Şekil.2,10)

- Sinüsoidal darbe genişlik modülasyonu (SPWM)
- DC-DC çift çevirici kıyıcı (chopper)

2.4.1.1. Üç Döngülü Hata ile Tahrik Edilen PID Denetleyici [1]

(Şekil.3.10)'da gördüğümüz gibi, hibrit sistemin çıkışından alınan gerilim (V_d), akım (I_d) ve güç (P_d) hataları (e_1, e_2, e_3) toplanıp çıkışta ' e_{total} ' PID kontrolörü için bir giriş olarak kullanılmaktadır. 'PID denetleyici çıkışı ise anahtarlama frekansı üretmek için SPWM bloğunda giriş olarak kullanılmaktadır. Burada hatalar (e_1, e_2, e_3) ' V_d, I_d ve P_d 'nin referans değerlerinden sapmalarını gösterir.

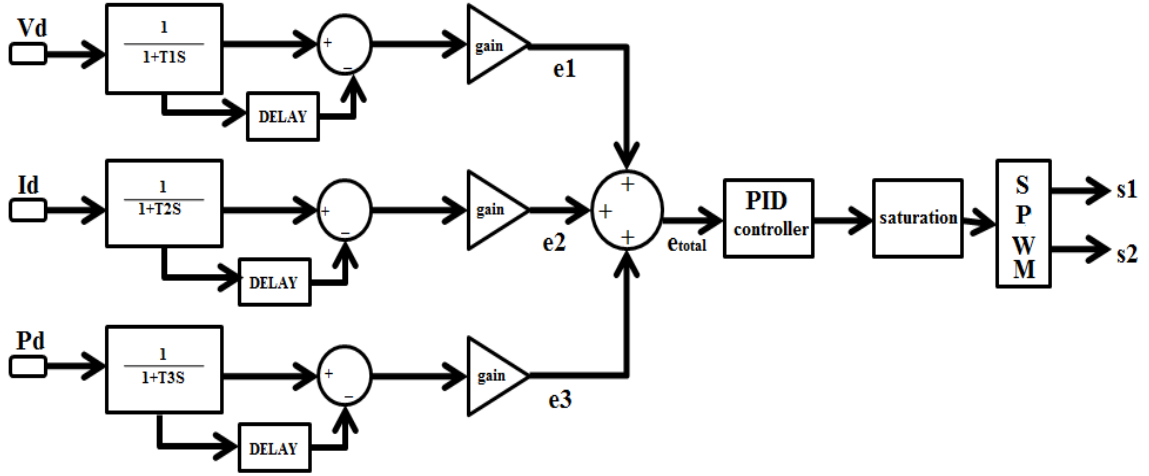
2.4.1.2. Darbe Genişlik Modülasyonu(PWM)

2.4.1.2.1. PWM'nin Farklı Türleri

Darbe genişlik modülasyonu (PWM) normalde güç dönüşümü denetiminde ve hareket kontrolörü (motion control) olarak kullanılır. 'PWM'ın sinüsoidal PWM, uzay vector (space vector) PWM, akım izleme (current tracking) PWM, harmonik eliminasyonu PWM ve bunlar gibi çeşitli modları vardır.

2.4.1.2.2. Sinüsoidal Darbe Genişlik Modülasyonu (SPWM)

Sinüsoidal darbe genişlik modülasyonu (SPWM) bir, çok bilinen dalga şekillendirme tekniğidir. Onun gerçekleştirilmesi için yüksek frekanslı üçgen taşıyıcı sinyal (W şeklinde), V_c , sinüsoidal bir referans sinyali, V_r , ile istenilen frekans olarak karşılaştırılır. Taşıyıcının frekansı ve genliği sinüsoidal referans sinyaline göre daha yüksektir. Çaprazlama (crossover) noktaları anahtarlama anlarını belirlemek için kullanılır.



Şekil 2.10. Tri-Loop error driven PID kontrolörü[1]

2.4.2. Klasik PID Denetleyici Parametrelerin Belirlenmesi

Kontrol edilecek sistemin türüne göre, oransal kazanç k_p , integral kazanç k_i , ve türevsel kazanç k_d , parametrelerinin iyi sonuç verecek şekilde ayarlanması için deneysel ve hesaba dayanan metodlar geliştirilmiştir.

2.4.2.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) Yöntemi

Bu çalışmada PID denetleyici parametrelerinin optimizasyonu için PSO yöntemi kullanıldı. Parçacık sürü optimizasyon yöntemi (PSO), 1995 yılında J.Kennedy ve R.C.Eberhart [27] tarafından, kuş sürülerinin davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş popülasyon tabanlı bir optimizasyon yöntemidir. Doğrusal olmayan problemlere, çok parametrelili ve çok değişkenli optimizasyon problemlerine çözüm bulmak için kullanılmaktadır. Diğer evrimsel algoritmalar gibi, PSO tekniği, arama işlemini bir parçacık popülasyonu kullanarak yapar. Her parçacık mevcut olan soruna bir aday çözüm olarak bilinmektedir. Bir PSO sisteminde, parçacıklar, çok boyutlu arama alanı etrafında uçarak, konumlarını sayısal sınırları aşmayana kadar değiştirmektedirler. Her parçacık bir arama alanı üzerinde en iyi mekânı bulana kadar uçar. Örneğin minimizasyon işlemi söz konusu olduğu zaman bu bölgeler daha önce görülen değerlere göre daha düşük fonksiyon değerlerine sahip olanlardır. Bu durumda her bir parçacık d-boyutlu uzayda bir nokta

olarak değerlendirilir. Şu nokta, uçuşunu kendi uçuş tecrübesi ve aynı zamanda diğer parçacıkların uçuş tecrübelerine göre ayarlar. PSO algoritması önceki bölümde anlatıldı şimdi bu algoritmayı sisteme nasıl uygulayacağımızı açıklayacağız.

2.4.2.1.1. 'PSO'yu PID Denetleyici Parametrelerine Göre Programlaması

Bu çalışmada $e(t)$ değişkeni *tracking* hatasını temsil etmektedir. Bu hata ayarladığımız giriş değer ile gerçek çıkış değeri arasındaki farktır. Hata sinyali, PID denetleyici'ye gönderilir ve denetleyici bu hata sinyalinin türev ve integralini hesaplar. PID sisteminin tasarım yöntemleri arasında en yaygın yöntemler ITAE (Integrated of Time Weightred Absolute Error), IAE (Integrated Absolute Error), ITSE (Integrated of Time weighted Square Error), ISE (Integrated Square Error) yöntemleridir. Bu dört performans kriterleri kendilerine göre avantajları ve dezavantajları vardır.

Örneğin IAE ve ISE kriterlerinin dezavantajı, minimizasyon işlemini yaparken sonucun nisbeten düşük aşmaya sahipolmasına rağmen oturma zamanı uzun süredir. Bunun nedeni bu performans kriterlerinin zamandan bağımsız olarak tüm hataların eşit olarak yüklemeleridir. Bu dezavantajı ITAE ve ITSE performans kriterlerini kullanarak giderebiliriz [4]. ITAE, IAE, ITSE ve ISE perfomans kriterinin formülleri aşağıdaki gibidir:

$$IAE = \int_0^{\infty} |r(t) - y(t)| dt = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (35)$$

$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \quad (36)$$

$$ITAE = \int_0^{\infty} t \cdot |r(t) - y(t)| dt = \int_0^{\infty} t \cdot |e(t)| dt \quad (37)$$

$$ITSE = \int_0^{\infty} t \cdot e^2(t) dt \quad (38)$$

Bu çalışmada PID denetleyicisini değerlendirmek için zaman domeni (time domain) kriteri kullanılmaktadır. Bir takım iyi kontrol parameterleri P, I ve D, zaman domeninde oturma zamanı ve kararlı hal hatasının minimize edilmesine neden olur. Eğer kontrol sisteminde, denetleyici tuning sabitleri uygun olamayan değerler alırsa sistemin

karakteristikleri bözölup sistem kararsız duruma gelebilir. Bu nedenle denetleyici parametrelerinin en iyi şekilde ayarlanması ve tuning sabitlerinin uygun seçimi bu kontrolörün düzgün performans göstermesinde önemli bir payı vardır.

Önerilen PSO MATLAB m-file programında üç parçacık (particle) mevcuttur k_p , k_i ve k_d . Buda arama uzayının üç boyutlu olduğu ve parçacıkların üç boyutlu arama uzayında (search space) uçuş yapması anlamına gelir. Amacımız 'e_t'yi (Toplam Hata) minimize etmektir. PSO programı iki bölümden oluşmaktadır:

- Fonksiyon M-dosyası
- PSO-PID arama M-dosyası

2.4.2.1.2. Fonksiyon M-dosyası

Bu bölümünde minimize edilmesi gereken fonksiyonu tanımlamamız gerekir (cost function). Daha sonra k_p , k_i , k_d ve herhangi bir performans kriterini (ITAE, IAE, ITSE, ISE) kullanmak istiyorsak 'global' komutu ile tanımladıktan sonra 'sim' komutunu kullanarak 'maliyet fonksiyonu' (cost function)' yani toplam hata (e_{toplam}) minimize edilmeye çalışılacaktır.

```
function cost = testfunction(x)
globalkp
globalki
globalkd
global (itae or itse or iae or ise)
h= 0.05;
t_end =8;
tt = (0:h:t_end);
for i=1:length(x(:,1))
kp=x(i,1);
ki=x(i,2);
kd=x(i,3);
[t,y]=sim('wind-pv',tt)
Cost(i,:) = mean(itse)
end
```

2.4.2.1.3. PSO-PID arama M-dosyası

İkinci bölümde *test function* programını ‘PSO-PID Matlab M-dosyası’ ile çağırarak hatayı minimize etmek için (ideal halde sıfır) PSO programını, Matlab/Simulink’de oluşturduğumuz sisteme uygularız. Böylece sistemin (hibrit Rüzgar/Güneş) çıkışlarını denetleyen PID kontrolörü için en iyi k_p , k_i ve k_d ve bunlarla ilgili en az ‘ e_{toplam} ’ı elde etmiş oluruz. Tabi başta parçacık, iterasyon (generasyon) ve nüfus sayılarının ayarlaması önemlidir (Parçacık sayısı bu çalışmada her zaman 3 olarak (k_p, k_i ve k_d) ayarlanır). PSO-PID programının parametreleri Tablo.2,3’de gösterilmiştir.

Tablo 2.3. PSO-PID Matlab M-dosyası programının Parametreleri

Popülasyon Sayısı	5
İterasyon Sayısı	20
Cognitive Parametresi (c_1)	1
Sosyal Parametresi (c_2)	4- c_1
Parçacık	3

2.4.2.2. GA’yı PID denetleyici Parametrelerine Göre Programlaması

Genetik algoritmasında PSO programında olduğu gibi test-fonksiyon programını, GA Matlab m-dosyası ile çağırıp, bu programı Matlab/simulink’de oluşturduğumuz sisteme uyguluyacağız. GA programı aynı PSO Gibi iki bölümden oluşmaktadır. Birincisi maliyet fonksiyonu tanıtımı ve ikincisi genetik algoritmasının kendi programıdır. Tabi Genetik algoritma programının ilk satırlarında bu programın parametrelerini belirlememiz gerekir (Tablo.2,4). Geçen bölümde GA uygulamasının en önemli adımının kromozomların uygunluğunu (fitness) değerlerndiren objektif fonksiyonunun seçilmesi olarak ifade edildi. Bu çalışmada ITAE performans endeksini objektif fonksiyonu olarak kullanıp en iyi k_p , k_i ve k_d , PID denetleyicisi için ayarlanır.

Tablo 2.4. GA-PID Matlab M-dosyası programının parametreleri

Popülasyon Sayısı	10
İterasyon sayısı	80
Var high	10
Var low	0
Mutation rate	0.2
Parçacık Sayısı	3

3. BULGULAR

3.1. PSO-PID Kontrolörünün Sonuçları

Önceki bölümde söylediğimiz gibi PSO programını oluşturduğumuz sisteme uyguladık. İterasyonlar tamamlandıktan sonra en iyi k_p , k_i , k_d ve min cost değerlerini elde etmiş oluruz. Çıkış olarak programda e_{toplam} (toplam hata), güneş ve rüzgar sistemlerinin gerilim ve akımları ve ayrıca hibrit sistemin gerilim ve akımını çizilmektedir. Kullandığımız performans endeksine göre (ITAE, IAE, ITSE) PID denetleyici parametreleri ve min cost için değişik değerler elde edilir (Tablo.3,1).

Tablo 3.1. Farklı performans endeksleri için k_p , k_i , k_d ve global min cost
(a) ITSE performans endeksi için bulunan parametreler

iterasyon sayısı	ITSE			GenelMin Cost
	k_p	k_i	k_d	
1	0.1270	0.5469	0.9572	0.9599
2	0.0104	0	0.8712	0.9599
3	0	0	0	0.9588
4	0	0	0	0.9588
5	0	0	0	0.9588
6	0	0	0	0.9588
7	0	0	0	0.9588
8	0	0	0	0.9588
9	0	0	0	0.9588
10	0	0	0	0.9588
11	0	0	0	0.9588
12	0	0	0	0.9588
13	0	0	0	0.9588
14	0	0	0	0.9588
15	0	0	0	0.9588
16	0	0	0	0.9588
17	0	0	0	0.9588
18	0	0	0	0.9588
19	0	0	0	0.9588
20	0	0	0	0.9588

Tablo.4,1'in devamı

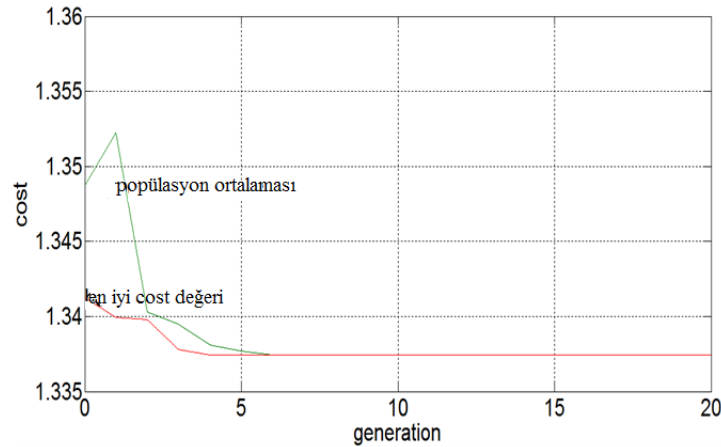
(b) IAE performans endeksi için bulunan parametreler

Iterasyonsayısı	IAE			GenelMinCost
	k_p	k_i	k_d	
1	1.1847	0	0	1.3399
2	1.2165	0	0.1677	1.3398
3	0.1441	0	0	1.3378
4	0	0	0	1.3374
5	0	0	0	1.3374
6	0	0	0	1.3374
7	0	0	0	1.3374
8	0	0	0	1.3374
9	0	0	0	1.3374
10	0	0	0	1.3374
11	0	0	0	1.3374
12	0	0	0	1.3374
13	0	0	0	1.3374
14	0	0	0	1.3374
15	0	0	0	1.3374
16	0	0	0	1.3374
17	0	0	0	1.3374
18	0	0	0	1.3374
19	0	0	0	1.3374
20	0	0	0	1.3374

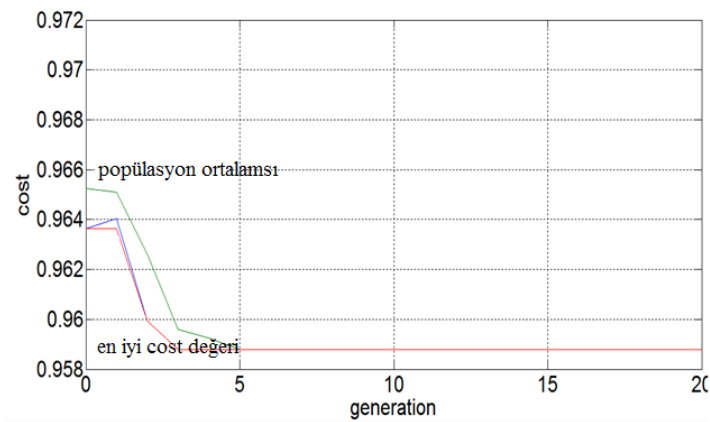
(c) ITAE performans endeksi için bulunan parametreler

Iterasyonsayısı	ITAE			Genel MinCost
	k_p	k_i	k_d	
1	0.9619	0.8644	0.9106	0.7867
2	0.6067	0	0.8944	0.7836
3	0.5155	0	0.5258	0.7835
4	0.5155	0	0.5258	0.7835
5	0.9531	0	0.0258	0.7825
6	0.9531	0	0.0258	0.7825
7	0.8275	0	0	0.7825
8	0.6366	0	0	0.7825
9	0.6366	0	0	0.7825
10	0.6746	0	0	0.7825
11	0.6746	0	0	0.7825
12	0.6659	0	0	0.7825
13	0.6659	0	0	0.7825
14	0.7297	0	0	0.7824
15	0.7297	0	0	0.7824
16	0.7297	0	0	0.7824
17	0.7297	0	0	0.7824
18	0.7297	0	0	0.7824
19	0.7297	0	0	0.7824
20	0.7297	0	0	0.7824

Burada en ideal durumda biz hatanın sıfır olmasını yani mümkün olduğu kadar, tanımladığımız referans gerilim, akım ve güç değerlerine yakın değerler elde etmek istiyoruz. Dolayısı ile performans endeksleri arasında hatayı sıfır veya sıfıra yakınyapan endeksi kullanmamız uygun olacaktır. Burada üç performans endeksi yani ITAE, ITSE ve IAE ve onları uyguladığımızda elde ettiğimiz en iyi k_p , k_i , k_d ve genel min cost (minimum maliyet) değerleri Tablo.3,1’de gösterilmiştir. Tablo.3,1’de gördüğümüz gibi 20 iterasyonun sonunda en iyi k_p , k_i ve k_d farklı performans endeksleri için bulunmuştur. Şekil.3,1(a),(b)ve(c) farklı generasyonlarda maliyet (cost) miktarlarını sırası ile IAE, ITSE ve ITAE için göstermektedir. Şekillerde farklı itersyonlarda ‘ortalama maliyet’ değerleri (Popülasyon Ortalaması) ve ‘en iyi cost değeri’ gösterilmektedir. Üç performans kriterini karşılaştırdığımızda en az genel min cost değerinin ITAE performans endeksinde olduğunu görüyoruz (Şekil.3,2).



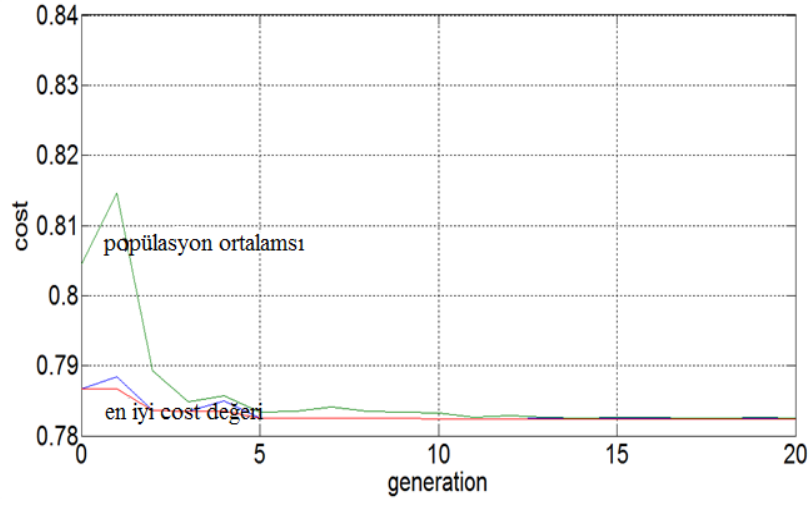
(a) IAE performans endeksi için cost miktarı



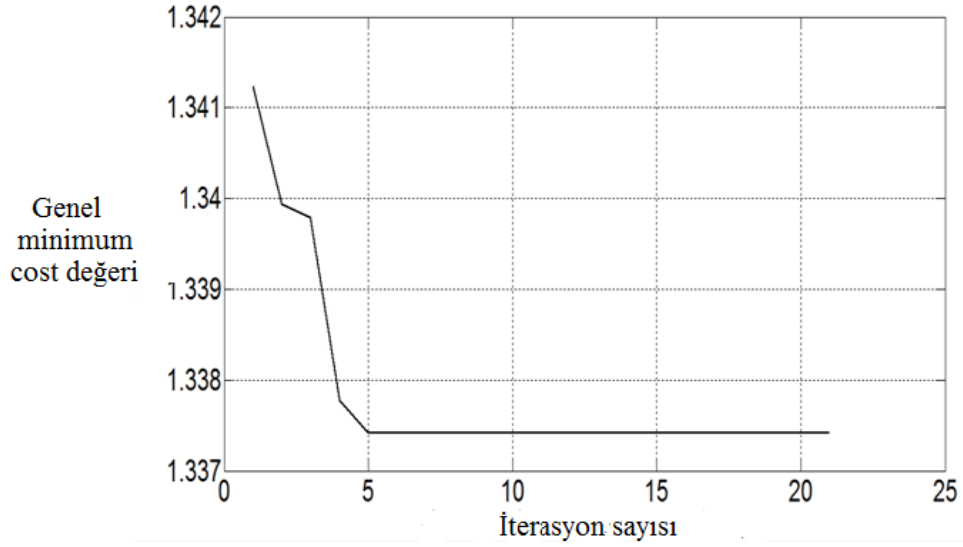
(b) ITSE performans endeksi için cost miktarı

Şekil 3.1. Farklı generasyonlarda cost miktarı

Şekil.3,1'in devamı



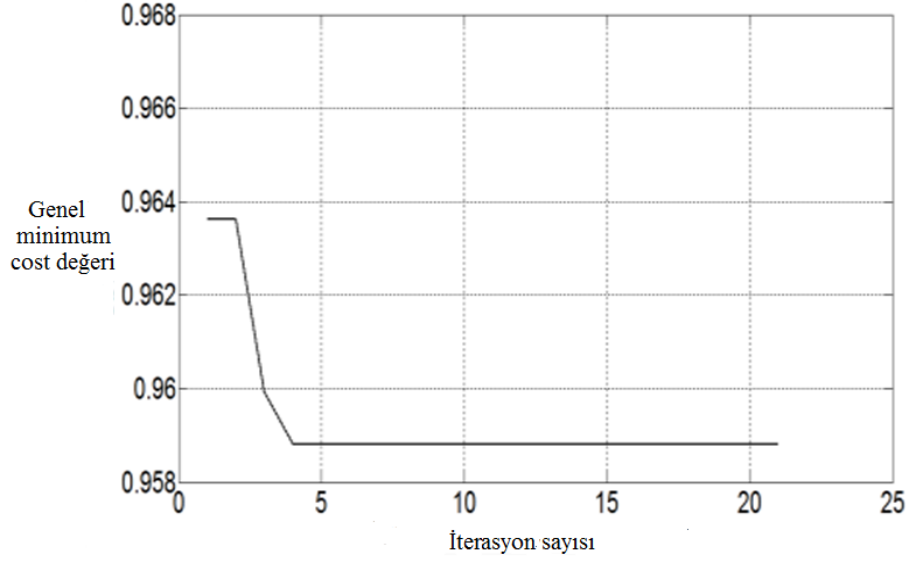
(c) ITAE performans endeksi için cost miktarı



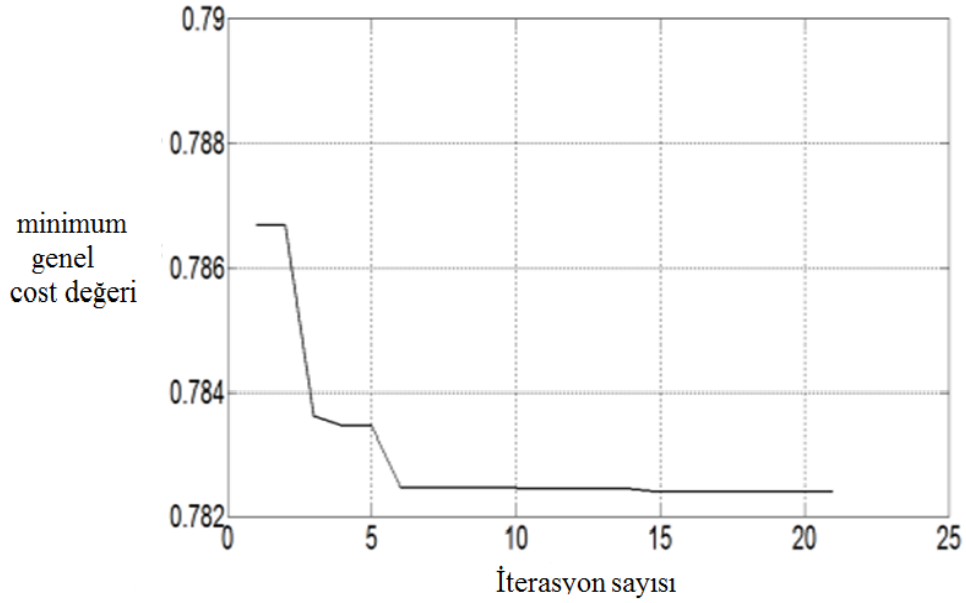
(a) IAE performans endeksi için Genel Min Cost miktarı

Şekil 3.2. Farklı performans indekslerinde Genel Min Cost miktarları

Şekil.3,2'nin devamı



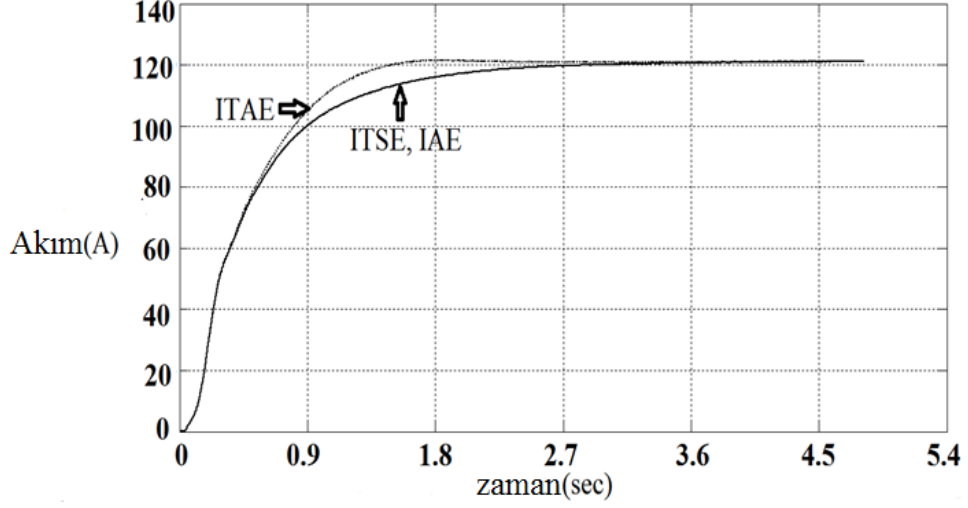
(b) ITSE performans endeksi için Genel Min Cost miktarı



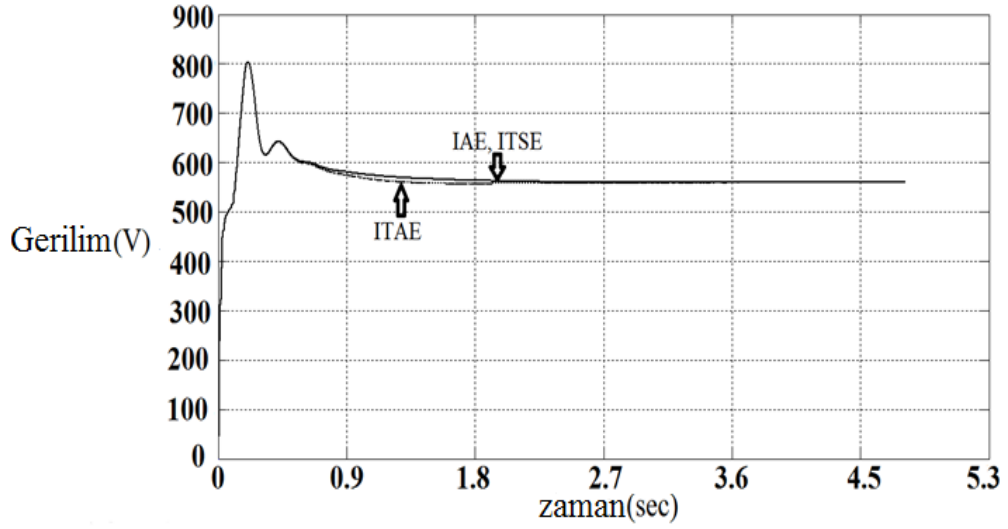
(c) ITAE performans endeksi için Genel MinCost miktarı

Hibrit sistemin akımı, gerlimesi ve gücü sırasıyla farklı performans endeksleri için (Şekil.3,3), (Şekil.3,4) ve (Şekil.3,5)'de çizilmiştir. Şekillerde gördüğümüz gibi referans değerini en iyi şekilde yakalayan performans endeksi yine ITAE olur. Burada referans

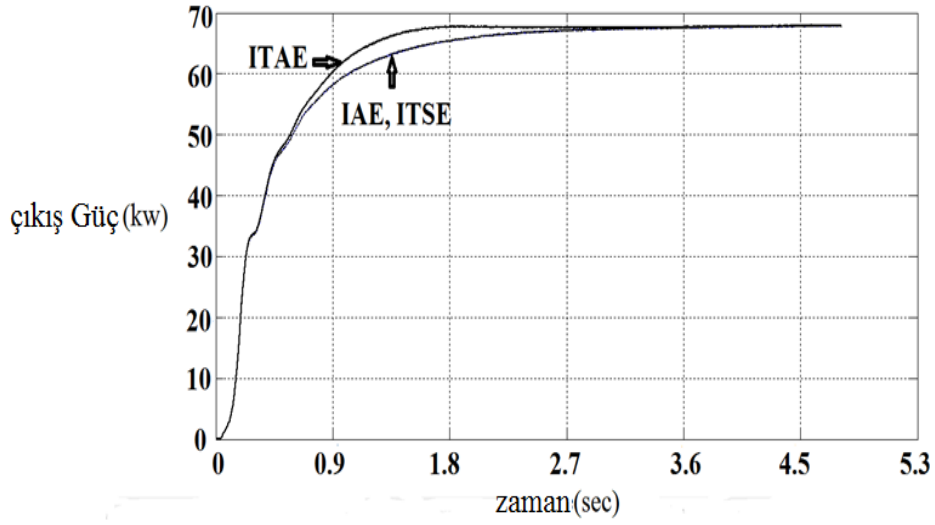
akım, 120 A, referans gerilim 550 V, referans güç ise 66 KW'dır. Tabii ITAE performans endeksinde diğerlerine göre daha fazla aşma olabilir ancak oturma zamanı daha az bir süredir.



Şekil 3.3. Farklı performans endeksleri için Hibrit sistemin akımı(ampere)

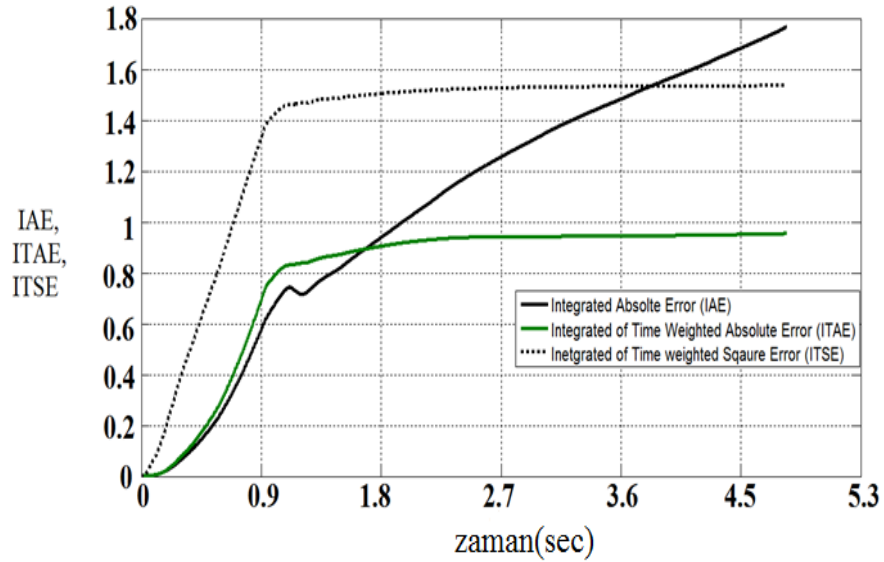


Şekil 3.4. Farklı performans endeksleri için Hibrit sistemin gerilimi(volt)



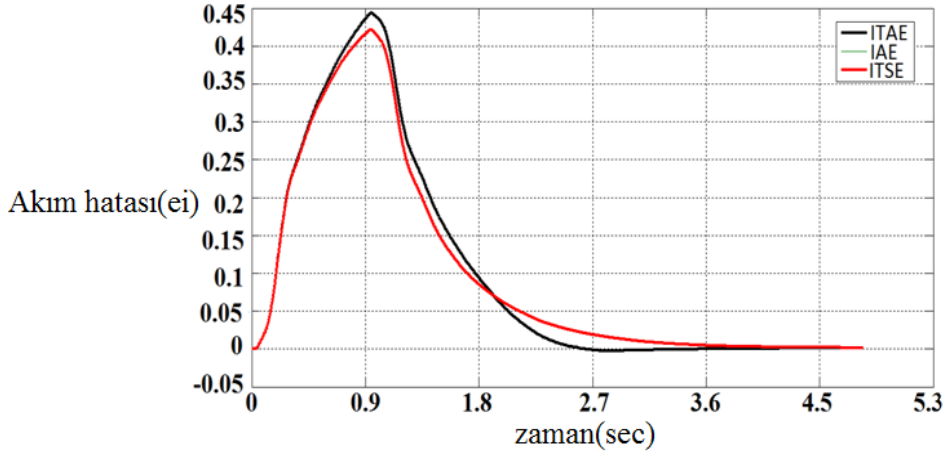
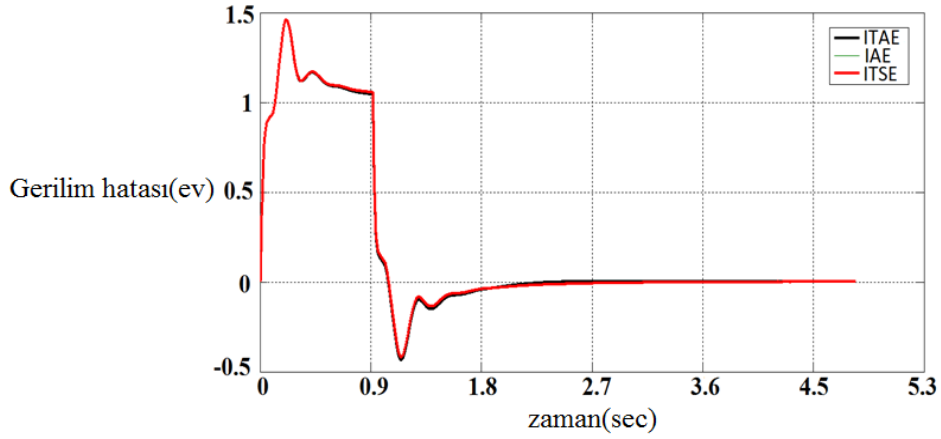
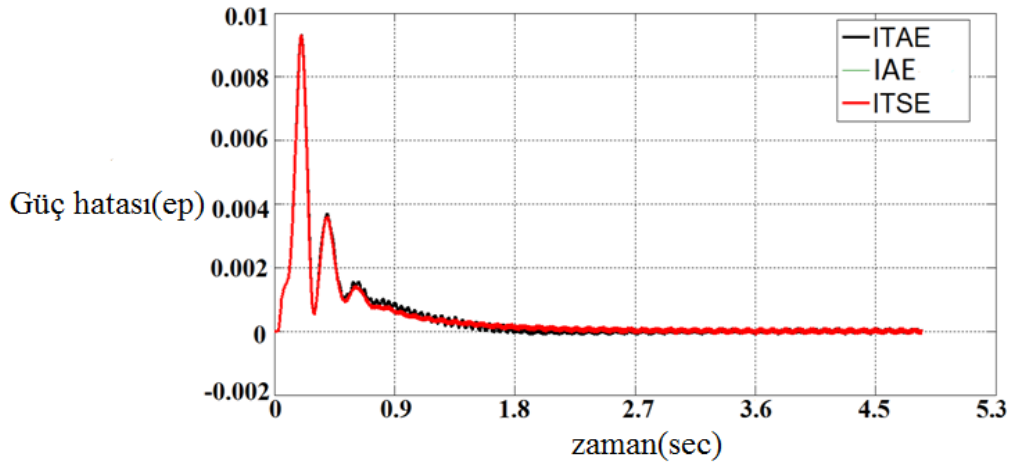
Şekil 3.5. Farklı performans endeksleri için Hibrit sistemin çıkış gücü(kw)

Performans endekslerinin sistemdeki değerleri Şekil.3,6'da çizilmiştir. Şekil'de görüldüğü gibi en az değer ITAE endeksine aittir.



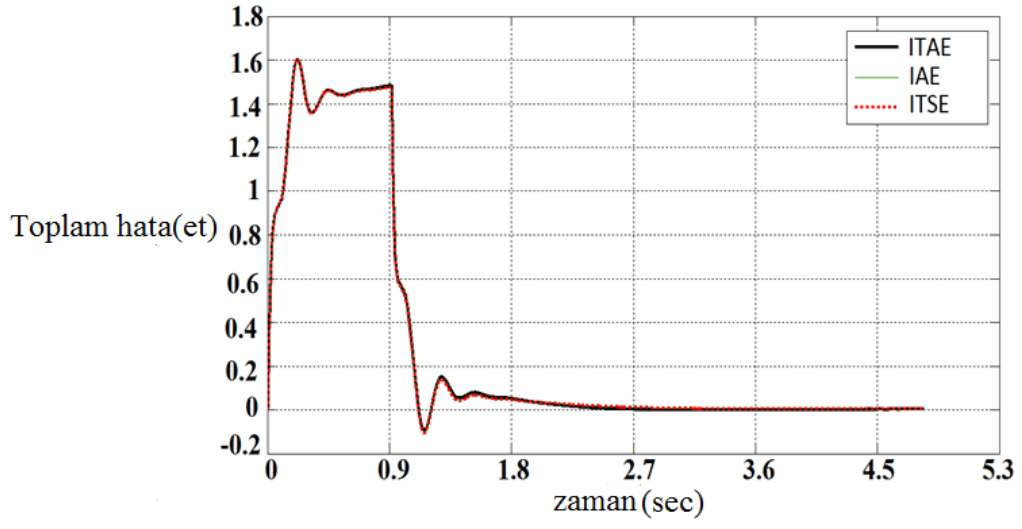
Şekil 3.6. Performans Endekslerinin farklı değerleri

Şekil.3,7.(a),(b),(c) ve (d)'de sırasıyla akım hatası (e_i), gerilim hatası (e_v), güç hatası (e_p), ve bunların toplamı yani (e_{total}) gösterilmiştir. Şekilde hatanın hemen hemen sıfır olduğu gözükmemektedir.

(a) Akım hatası (e_i)(b) Gerilim hatası (e_v)(c) Güç hatası (e_p)

Şekil 3.7. Üç döngülüdenetleyici çıkışında bulunan Hata değerleri (PSO-PID)

Şekil.3,7'nin devamı



(d) Toplam hata(e_t)

4. SONUÇLAR

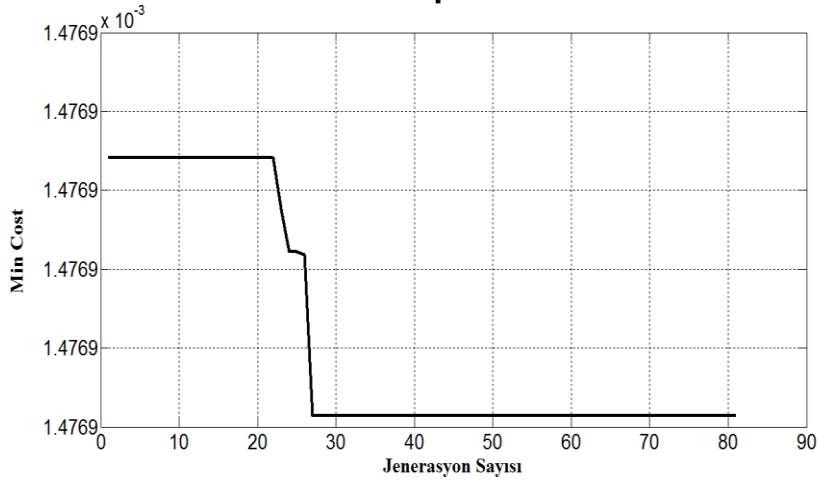
4.1. PSO-PID denetleyici ile GA-PID denetleyici karşılaştırması

Tablo.4,1 Genetik Algoritmayı PID denetleyici'ye uyguladığımızda elde ettiğimiz k_p , k_i , k_d ve min cost değerlerini ITAE objektif fonksiyonu için son 20 iterasyon için ve daha önce Tablo.3,1(c)'de gördüğümüz PSO-PID parametrelerini (ITAE için) göstermektedir. Burada genel min cost değerlerini PSO-PID denetleyicisinde ve min cost değerlerini GA-PID denetleyicisinde görüyoruz. Burada min cost değerlerinin PSO-PID denetleyicisine göre daha düşük miktarlar alır.

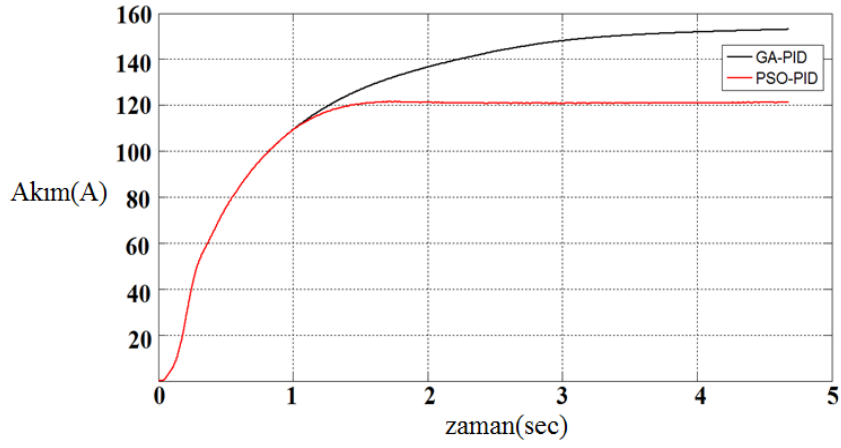
Tablo 4.1. GA-PID ve PSO-PID parametreleri

İterasyon sayısı		GA-PID (ITAE)				PSO-PID (ITAE)			
GA-PID	PSO-PID	K_p	K_i	K_d	min cost	K_p	K_i	K_d	genel min cost
61	1	6.4370	8.0464	0.8332	0.0015	0.9619	0.8644	0.9106	0.7867
62	2	4.2433	7.4255	7.4913	0.0015	0.6067	0	0.8944	0.7836
63	3	4.2433	7.4451	7.4913	0.0015	0.5155	0	0.5258	0.7835
64	4	3.3683	5.1111	7.4913	0.0015	0.5155	0	0.5258	0.7835
65	5	7.3948	7.4255	5.2474	0.0015	0.9531	0	0.0258	0.7825
66	6	4.2433	7.4451	7.4913	0.0015	0.9531	0	0.0258	0.7825
67	7	4.2433	7.4451	7.4913	0.0015	0.8275	0	0	0.7825
68	8	4.2433	8.0452	7.4913	0.0015	0.6366	0	0	0.7825
69	9	4.2433	7.4451	7.4913	0.0015	0.6366	0	0	0.7825
70	10	4.2433	7.4451	7.4913	0.0015	0.6746	0	0	0.7825
71	11	6.4370	7.4469	7.3377	0.0015	0.6746	0	0	0.7825
72	12	4.2433	7.4451	7.4913	0.0015	0.6659	0	0	0.7825
73	13	4.3717	7.4451	7.4913	0.0015	0.6659	0	0	0.7825
74	14	3.7984	7.4255	9.7966	0.0015	0.7297	0	0	0.7824
75	15	4.2433	7.4451	7.4913	0.0015	0.7297	0	0	0.7824
76	16	4.2433	7.4451	7.4913	0.0015	0.7297	0	0	0.7824
77	17	3.3899	7.4255	7.4913	0.0015	0.7297	0	0	0.7824
78	18	4.2433	7.4255	4.4019	0.0015	0.7297	0	0	0.7824
79	19	4.2433	7.4255	7.4913	0.0015	0.7297	0	0	0.7824
80	20	4.2433	7.4255	7.4913	0.0015	0.7297	0	0	0.7824

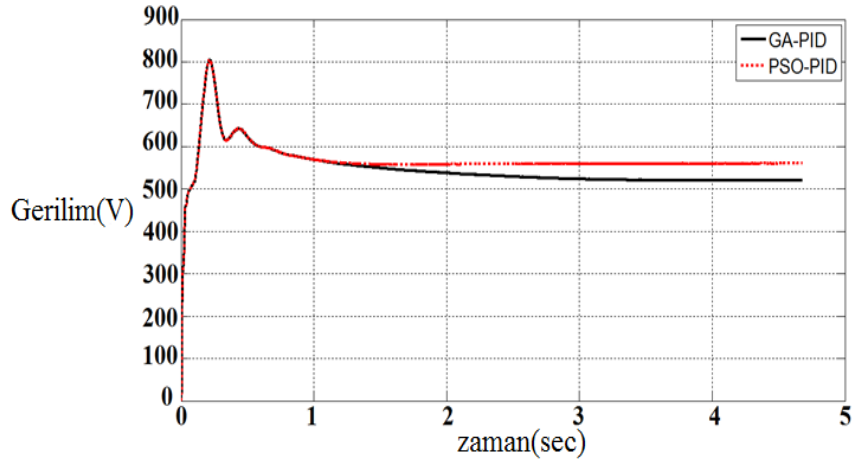
Şekil.4,1 GA-PID denetleyicisi için jenerasyon değişimi ile bulunan min cost değerlerini göstermektedir. Fakat Genetik algoritmanın belirlediği k_p , k_i ve k_d değerlerini PID denetleyicisinde uyguladığımız zaman, elde ettiğimiz hibrit sistemin akım, gerilim ve güç çıkışlarını PSO'nun belirlediği parametreleri sisteme uyguladığımız zaman elde ettiğimiz sonuçlar ile karşılaştırdığımızda Şekil.4,2'de görüldüğü gibi PSO-PID denetleyicisi GA-PID denetleyicisine göre belirlediğimiz referans değerlerini daha iyi yakalamaktadır. Burada ayrıca akım hatası (e_i), gerilim hatası (e_v), güç hatası (e_p), toplam hata (e_{total}) ITAE performans endeksi için ve ayrıca ITAE miktarı GA-PID denetleyicisi ve PSO-PID denetleyicisi için sırası ile Şekil.4,3.(a), (b), (c), (d) ve Şekil.4,4'de çizilmiştir. Şu şekillerde PSO'yu GA ile karşılaştırdık. Burada PSO'nun sonuçlarının daha iyi olduğunu görüyoruz.



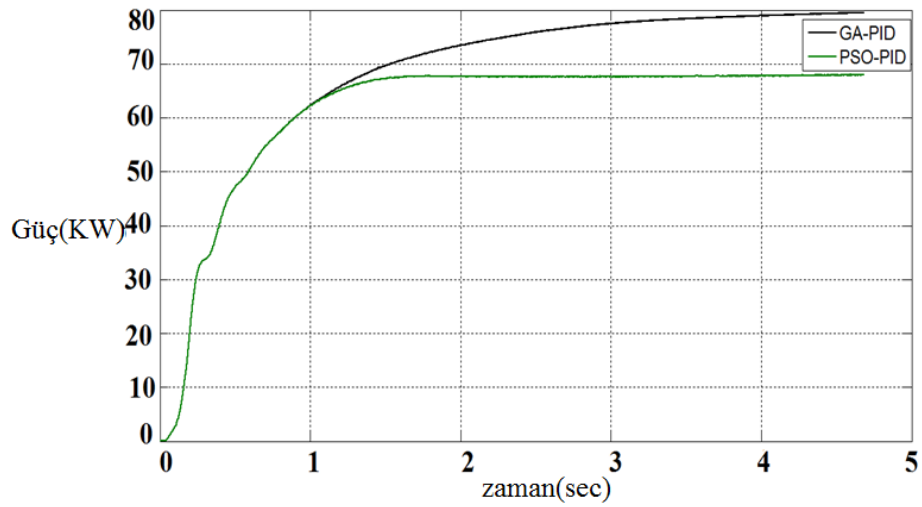
Şekil 4.1. GA-PID için bulunan min cost miktarı



(a) Hibrit sistemin çıkış akımı (PSO-PID, GA-PID)

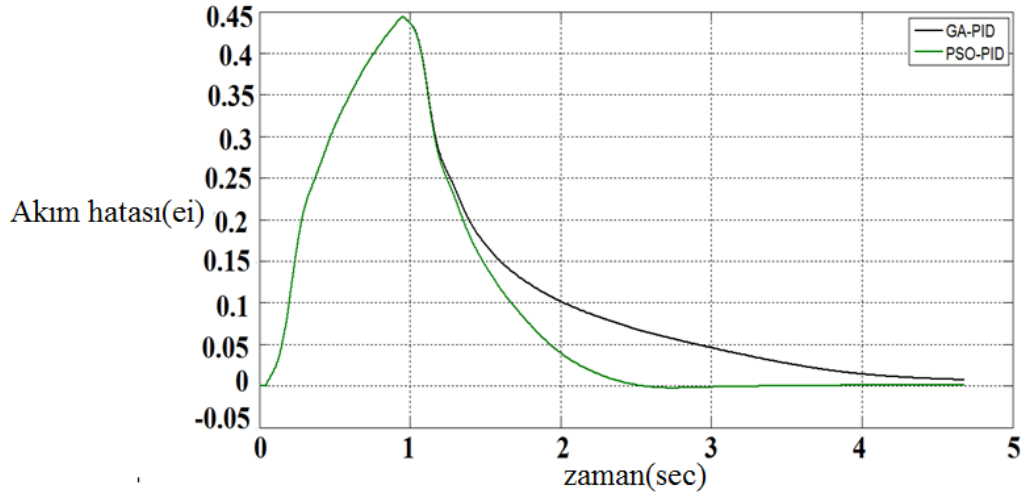


(b) Hibrit sistemin çıkış gerilimi (PSO-PID, GA-PID)

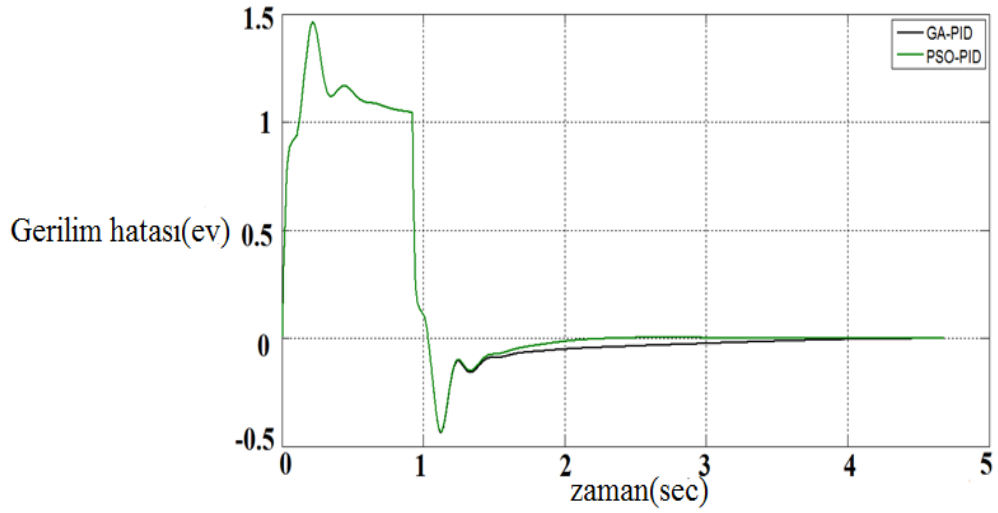


(c) Hibrit sistemin çıkış gücü (PSO-PID, GA-PID)

Şekil 4.2. Hibrit sistemin GA-PID ve PSO-PID çıkışları



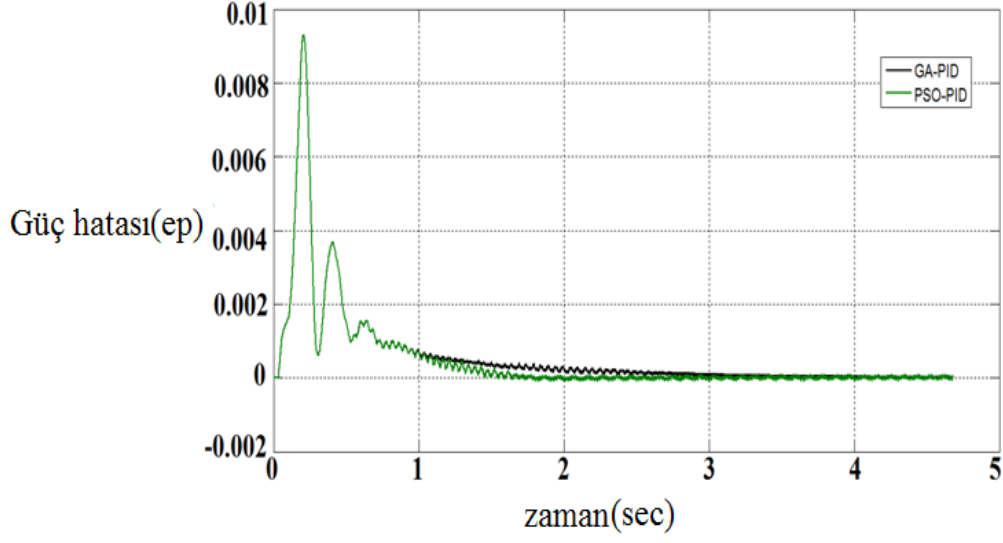
(a) Akım hatası (e_i) GA-PID ve PSO-PID (ITAE performans endeksi)



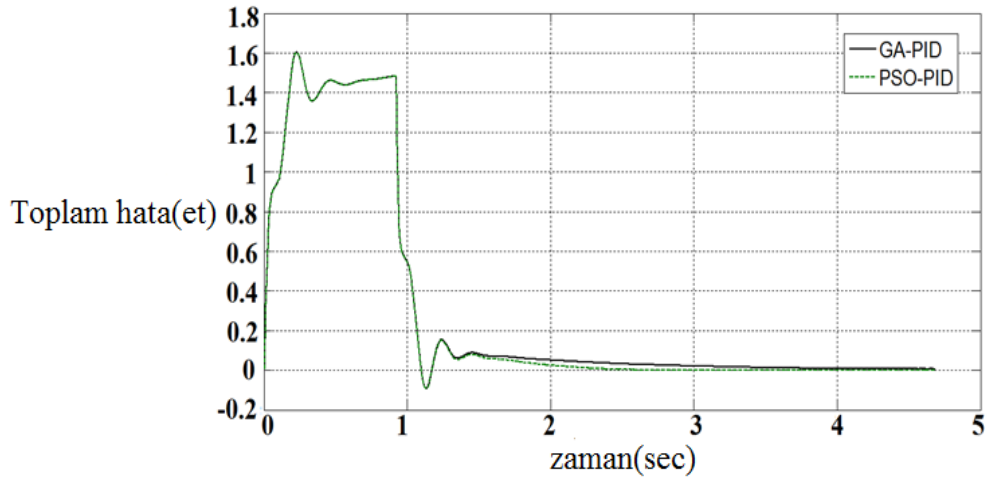
(b) Gerilim hatası (e_v) GA-PID ve PSO-PID (ITAE performans endeksi)

Şekil 4.3. PSO-PID ve GA-PID denetleyicilerinin hata değerleri

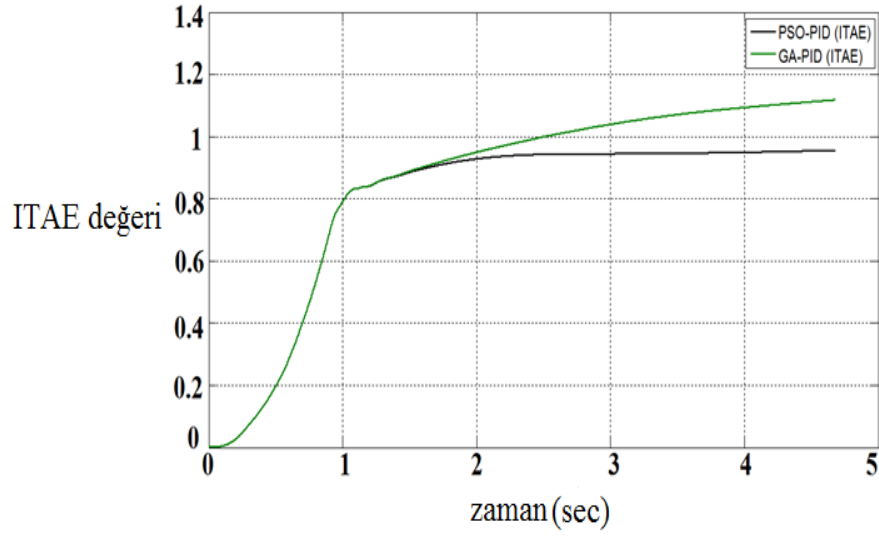
Şekil.4,3'ün devamı



(c) Güç hatası (e_p) GA-PID ve PSO-PID (ITAE performans endeksi)



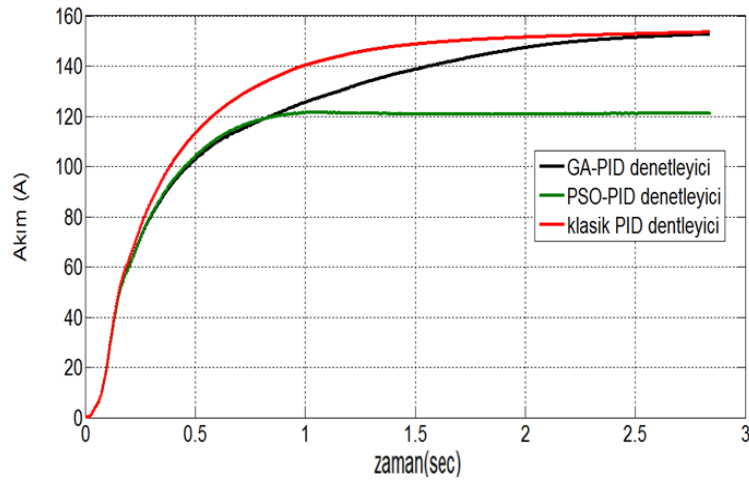
(d) Toplam hata (e_t) GA-PID ve PSO-PID (ITAE performans endeksi)



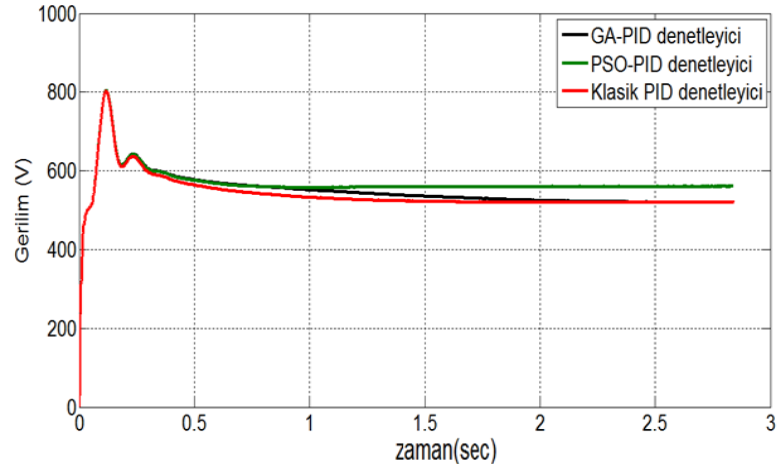
Şekil 4.4. GA-PID ve PSO-PID'de ITAE miktarı

4.2. Klasik PID denetleyicisi

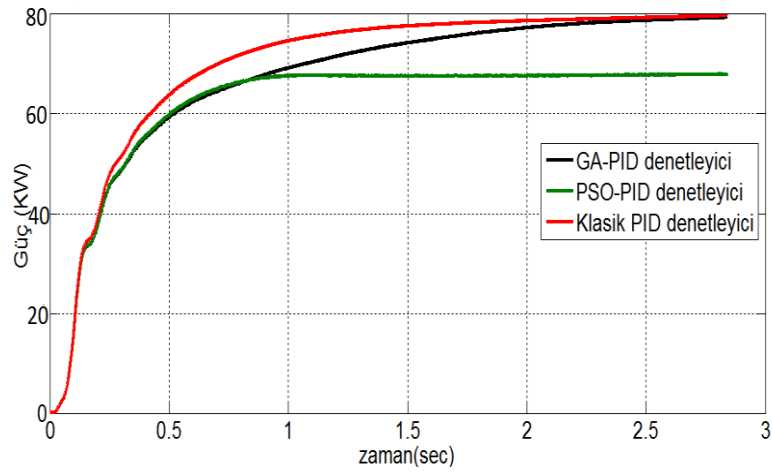
Aşağıdaki şekiilerde bir klasik PID denetleyiciden elde ettiğimiz sonuçları PSO-PID denetleyici ve GA-PID denetleyici sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Şekillerde sırası ile hibrit sistemin akımı, gerilimi ve gücü klasik PID denetleyici için ve PSO-PID ve GA-PID denetleyici için gösterilmiştir. Klasik PID denetleyicisinde GA-PID denetleyicisine göre aşma daha fazla ve tam tersine oturma zamanının daha kısa süre olduğu. Tabi referans değerlerini en iyi şekilde yakalayan denetleici PSO-PID denetleyici olur. Klasik PID denetleyici parametreleri $k_p=10$, $k_i=25$, $k_d=15$ alınmıştır.



Şekil 4.5. Hibrit sistemin çıkış akımı (klasik PID, GA-PID ve PSO-PID için)



Şekil 4.6. Hibrit sistemin çıkış gerilimi (klasik PID, GA-PID ve PSO-PID için)



Şekil 4.7. Hibrit sistemin çıkış gücü (klasik PID, GA-PID ve PSO-PID için)

5. ONERİLER

Bu çalışmada bir FV/RÜZGAR sistemlerinin birleşiminden oluşan hibrit sistemi kullanıldı. FV sistemini Yakıt Hücresi ve benzeri sistemler ile hibrit sistem oluşturmak için birleştirebiliriz. Aynı şekilde Rüzgar sistemini diğer sistemler ile hibrit olarak birleştirip sonucun nasıl olduğunu inceleyebiliriz.

Burada PID denetleyici parametre optimizasyon işlemi PSO ve GA algoritmalarını kullanarak yapılmaya çalışıldı. Daha önce söylediğimiz gibi PID denetleyici parametrelerinin optimize edilmesi için karınca kolonisi, kaos teorisi vb çeşitli yöntemler uygulanabilir.

Klasik PID denetleyici yerine FUZZY gibi diğer yeni denetleyiciler kullanılabilir.

6. KAYNAKLAR

1. Adel M. Sharaf, senior member IEEE ve Adel A. A. El-Gammal, Member IEE Centre for Energy Systems, University of Trinidad and Tobago, A Novel Efficient PSO-Self Regulating PID Controller for Hybrid PV-FC-Diesel-Battery Micro Grid Scheme for Village/Resort Electricity Utilization, UTT2010 IEEE Electrical Power & Energy Conference
2. I. H. Altas ve A.M. Sharaf, A Photovoltaic Array Simulation Model for Matlab-Simulink GUI Environment, Dept. Of Electrical and Electronics Engineering, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey, Dept. Of Electrical and Computer Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, Canada
3. I. H. Altas, A.M. Sharaf ve E. Ozkop, A Novel Multi-loop Fuzzy Logic Dynamic Controller for Wind/Photovoltaic-Grid Interface DC Energy Utilization Farm, International conference on Renewable energies and Power Quality, Spain, April 2009
4. Boumediène ALLAOUA, Brahim GASBAOUI ve Brahim MEBARKI, Setting Up PIDDC Motor Speed Control Alteration Parameters Using Particle Swarm Optimization Strategy, Bechar University, Department of Electrical Engineering, B.P 417 BECHAR (08000) Algeria
5. Zhe-Lee GAING, Member, IEEE, A Particle Swarm Optimization Approach for Optimum Design of PID Controller in AVR System, IEEE Transactions On Energy Conversion, VOL. 19, NO. 2, JUNE 2004
6. B.Chitti BABU, Member, IEEE, K.B.Mohanty Member, IEEE, Analysis of Wind Turbine Driven Double-Output Induction Generator under Abnormal Condition of the Grid' International Power electronics and Motion Control Conference 17-20 May 2009
7. Kinal KACHHIYA, Makarand LOKHANDE ve Mukesh PATEL, MATLAB/Simulink Model of solar PV Module and MPPT Algorithm, National Conference on Recent Trends in Engineering & Technology
8. C.L. Putta SWAMY, Bhim SINGH, B.P. Singh ve S.S.MURTHY, Experimental Investigations On A Permanent Magnet Brushless DC MOTOR Fed BY PV Array For Water Pumping System, Department of Electrical Engineering, IIT Delhi
9. Mehmet AKBABA ve Mustafa C. AKBABA, DYNAMIC PERFORMANCE OF A PHOTOVOLTAIC-BOOST CONVERTER POWERED DC MOTOR-PUMP SYSTEM, College of Engineering, University of Bahrain, P.O.Box 33547 Isa Town, Bahrain

10. Nelendran PILLAY¹ ve Poobalan GOVENDER² Optimization Studies Unit, Dept. Of Electronic Engineering, Durban University of Technology, Kwa Zulu-Natal, Republic of South Africa, PSO Tuned PI/PID Controller for Open-Loop Unstable Processes with Time Delay, EPIA'2011
11. Noriyuki KIMURA, Mitsuhiro HIRAO, Toshimitsu MORIZANE ve Katsunori TANIGUCHI, Wind Power Generation System with Induction Machine and Diode Rectifier, Osaka Institute of Technology Faculty of Engineering, Electrical and Electronic Systems Eng. Dept. Ohmiya 5-16-1, Asahi-ku, Osaka, Japan 535-8585
12. M. Sasikumar, R. Madhusudhanan ve S. Chentur Pandian, Modeling and Analysis of Cascaded H-Bridge Inverter for Wind Driven Isolated Squirrel Cage Induction Generators, 978-1-4244-9182-7/10/\$26.00 ©2010 IEEE
13. Eduard Muljadi, Jesus Sallan, Mariano Sam ve Charles P. Butterfield, Investigation of Self-Excited Induction Generators for Wind Turbine Applications, 0-7803-5589-X/99/\$10.00 © 1999 IEEE
14. Djohra Saheb-Koussa ^{a,*}, Mourad Haddadi ^b, Maiouf Belhamel ^a ve Seddik Hadji ^c, Said Nouredine ^a, Modeling and simulation of the fixed-speed WECS (wind energy conversion system): Application to the Algerian Sahara area, Elsevier 2010
15. Ulas Eminoglu, Modeling and application of wind turbine generating system (WTGS) to distribution systems, Nigde University, Department of Electrical and Electronics Engineering, 51245 Nigde, Turkey
16. Hong-Woo Kim ^a, Sung-Soo Kim ^b ve Hee-Sang Koa, ^{*}, Modeling and control of PMSG-based variable-speed wind turbine, a Wind Energy Research Center, Korea Institute of Energy Research, Yuseong-gu Jang-Dong 71-2, 305-343 Daejeon, Republic of Korea ^b Chungbuk National University, Republic of Korea
17. Atul S. Kini ve Udaykumar R. Y, Modelling And Performance Analysis of A Wind/Diesel Hybrid Power System, Dept. Of Electrical & Electronics Eng. National Institute of Technology Karnataka, Surathkal
18. Kim Johnsen^{*,#} ve Bo Eliasson, SIMULINK® Implementation of Wind Farm Model for use in Power System Studies, Ørsted-DTU, Section of Elec. Pow. Eng. Tech. Univ. Of Denmark, DK-2800 Kgs. Lyngby, [#]Malmö University, Technology and Society, SE-205 06 Malmö
19. Luciano De Tommasia, Madeleine Gibescu^b ve Arno J. Branda, A dynamic wind farm aggregate model for the simulation of power fluctuations due to wind turbulence, a Energy Research Center of the Netherlands, Efficiency and Infrastructure Unit, 1755ZG Petten, The Netherlands ^b Department of Electrical Sustainable Energy, Delft University of Technology, The Netherlands
20. Kim Johnsen ve Bo Eliasson, SIMULINK® Implementation of Wind Farm Model for use in Power System Studies, NORDIC WIND POWER CONFERENCE, 1-2 MARCH, 2004, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

21. HU Jia-bing, HE Yi-kang (IEEE Senior Member) ve ZHU Jian Guo (IEEE Senior Member) ,The Internal Model Current Control for Wind Turbine Driven Doubly-Fed Induction Generator, Department of Electrical Engineering Zhejiang University, Hangzhou 310027, CHINA, Faculty of Engineering, University of Technology, Sydney
22. A.L. Elshafei ve M.A. Azzouz, Adaptive fuzzy regulation of the DC-bus capacitor voltage in a wind energy conversion system (WECS), Electric Power and Machines Department, Faculty of Engineering, Cairo University, Gama Street, Giza, Egypt
23. Nicholas P. W. Strachan, Student Member IEEE ve Dragan Jovcic, Senior Member IEEE, Dynamic Modelling, Simulation and Analysis of an Offshore Variable-Speed Directly-Driven Permanent-Magnet Wind Energy Conversion and Storage System (WECS), University of Aberdeen, Engineering Department, College of Physical Sciences, King's College, Aberdeen
24. Weihao Hu¹, Yue Wang¹, Xianwen Song^{1,2} ve Zhaoan Wang¹ ¹ Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710049, P.R.China ² Xi'an, Development of Wind Turbine Simulator for Wind Energy Conversion Systems based on Permanent Magnet Synchronous Motor, University of Science and Technology, Xi'an, 710054, P.R.China
25. Florin Iov, Frede Blaabjerg, Zhe Chen, Anca Daniela Hansen ve Pod Sarrensen, A New Simulation Platform to Model, Optimize and Design Wind Turbines, Aalborg University, Institute of Energy Technology, IUSO National Laboratory Frederiksborgvej 399, P049, DK-4000 Roskilde, Denmark
26. Debosmita Das^{1,2}, Reza Esmaili^{1,2}, Longya Xu¹ ve Dave Nichols², An Optimal Design of a Grid Connected Hybrid Wind/Photovoltaic/Fuel Cell System for Distributed Energy Production, 1.Department of Electrical and Computer Engineering 2.American Electric Power The Ohio State University 4001 Bixby Road Columbus, OH 43210, USA Groveport, OH 43125, USA
27. Kennedy, J. ve Eberhart, R. "Particle swarm optimization", Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, WA, 1942-1948 (1995).
28. Gözde H, Taplamacıoğlu M. C, Kocaarslan ve Çam E, Particle swarm optimization based load frequency control in a single area power system, University of Pitesti-Electronics and Computers Science, Scientific Bulletin, 2 (8): 106-110 (2008).
29. Shi, Y. ve Eberhart, R. C, A modified particle swarm optimizer, Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation, Anchorage, 69-73 (1998).
30. Ou, C. ve Lin, W. ,Comparison between PSO and GA for parameters optimization of PID controller, , Proceedings Of the IEEE International Conference On Mechatronics And Automation, Luoyang, 2471-2475 (2006).

31. Chen, J, Ren, Z. ve Fan, X, Particle swarm optimization with adaptive mutation and its application research in tuning of PID parameters, 1 st International Symposium on Systems and Control in Aerospace and Astronautics, Harbin, 990-994 (2006).
32. Shi, Y. ve Eberhart, R. C, Empirical study of particle swarm optimization, Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation, Washington, 1945-1950 (1999).
33. Gaing, Z-L. A particle swarm optimization approach for optimum design of PID controller in AVR system, IEEE Transactions On Energy Conversion, 19 (2): 384-391 (2004).
34. Eberhart, R. C. ve Shi, Y., Tracking and optimizing dynamic systems with particle swarms, Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation, Seoul, 94-100 (2001).
35. Clerc, M, The swarm and the queen: towards a deterministic and adaptive particle swarm optimization, Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation, Washington, DC, 1951-1957 (1999).
36. Eberhart, R. C. ve Shi, Y, Particle swarm optimization: developments, applications and resources, Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation, Seoul, 81-86 (2001).
37. Mehrabian, A. R. ve Lucas C, Automatic tuning of decentralized controllers by swarm intelligence, 3rd International IEEE Conference on Intelligent Systems, London, 350- 353 (2006).
38. Gaing, Z-L, A particle swarm optimization approach for optimum design of PID controller in AVR system, IEEE Transactions On Energy Conversion, 19 (2): 384-391 (2004).
39. http://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic_system
40. Nielsen, R. 2005, Solar Radiation, <http://home.iprimus.com.au/nielsens/>
41. B.Chitti Babu, Member, IEEE, K.B.Mohanty Member, IEEE , Analysis of Wind Turbine Driven Double-Output Induction Generator under Abnormal Condition of the Grid, 978-1-4244-3557 (2009)
42. Siegfried Heier, Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems, John Wiley & Sons Ltd, 1998, ISBN 0-471-97143-X
43. Gül Gökay EMEL ve Çağatan TAŞKIN, Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları, Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi Cilt XXI, Sayı 1, 2002, s. 129-152
44. Sang-Gun NA, Jin-Sung KIM, Sung-Man PARK ve Yong-Hee LEE, Hoon HEO, „Auto Tuning PID Controller based on Improved GA for the Membrane of RO

Process, Control and Instrumentation Engineering, Korea University Anam-dong, Seongbuk-gu, Seoul 136-713, South Korea, Control and Instrumentation Engineering, Korea University Anam-dong, Seongbuk-gu, Seoul 136-713, South Korea

45. Mohd S. SAAD1, Hisham UDDIN, Jamal UDDIN2 ve Intan Z. M. DARUS, PID Controller Tuning Using Evolutionary Algorithms, WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS and CONTROL October 2012
46. Aidin sakhavati, PSO Algorithm an overview,
47. O.C. Onara a,b, M. Uzunoglu a,b ve M.S. Alam a, Modeling, control and simulation of an autonomous wind turbine/photovoltaic/fuel cell/ultra-capacitor hybrid power system, Department of Electrical and Computer Engineering, University of South Alabama, Mobile, AL 36688, USA by Yildiz Technical University, Istanbul 34349, Turkey
48. A.Soundarrajan, Member, IAENG, Dr.S. Sumathi ve C.Sundar, Particle Swarm Optimization Based LFC and AVR of Autonomous Power Generating System, IAENG International Journal of Computer Science, 37,1, IJCS_37_1_10
49. M. B. B. Sharifian, H. Afsharirad ve S. Galvani, A Particle Swarm Optimization Approach for Optimum Design of PID Controller in Linear Elevator, Faculty of Electrical and Computer Engineering University of Tabriz, Iran
50. S.M.Giriraj Kumar, Deepak Jayaraj ve Anoop. R.Kishan, PSO based Tuning of a PID Controller for a High Performance Drilling Machine International Journal of Computer Applications (0975 - 8887) Volume 1 – No. 19, 2010
51. Akihiro Oi, Chikashi Nakazawa, Tetsuro Matsui, Hiroe Fujiwara, Kouji Matsumoto, Hideyuki Nishida, Jun Ando ve Masato Kawaura, Development of PSO-based PID Tuning Method, International Conference on Control, Automation and Systems 2008 Oct. 14-17, 2008 in COEX, Seoul, Korea
52. Dr. H.K. Verma ve Miss Cheshta Jain, A Performance-Dependent PSO based Optimization of PID Controller for DC Motor, 978-1-61284-379-7/11\$26.00 c 2011 IEEE
53. Kashif Ishaque, Zainal Salam, Hamed Taheri ve Amir Shamsudin, Maximum Power Point Tracking for PV System under Partial Shading Condition via Particle Swarm Optimization, Faculty of Electrical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, UTM 81310, Skudai, Johor Bahru Malaysia 2011
54. D. Das, R. Esmaili, L. Xu ve D. Nichols, An optimal design of a grid connected hybrid wind/photovoltaic/fuel cell system for distributed energy production, 31st Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society, IECON 2005, November, pp. 2499-2504, 2005

55. R. Sebastián ve R. Peñna Alzola, Simulation of an isolated Wind Diesel System with battery energy storage, 2010 Elsevier
56. D. E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, 1989: Addison-Wesley Publishing Co. Inc
57. H. H. El-Tamaly et. Al., Design and Control Strategy of Utility Interfaced PV/WTG Hybrid System, The Ninth International MiddleEast Power System Conference, MEPCON'2003, Minoufiya University, Faculty of Eng., Shebin El-Kom, Vol. 2, Dec. 16-18, 2003, pp. 699-674
58. International Energy agency report, „Key Issues in Developing Renewables, 1997.
59. D. Hansen et. Al., Models for a Stand-alone PV System, Ris National Laboratory, Roskilde, Norway, Dec. 2000.
60. I. H. Altas ve A. M. Sharaf, A Novel Photovoltaic On-Line Search Algorithm For Maximum Energy Utilization, the International Conference on Communication, Computer and Power (ICCCP'07), Oman, February 19-21, 2007.
61. Siddhartha Panda ve Narayana Prasad Padhy, Comparison of particle swarm optimization and genetic algorithm for FACTS-based controller design, 2007 Elsevier

ÖZGEÇMİŞ

26.05.1982 tarihinde IRAN'ın Urmiye şehrinde doğdu. İlk, ortaokul ve lise öğrenimini Urmie'de tamamladı. Üniversite eğitimine 2006 Bojnourd şehrinin azad islami universitesinde Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Yabancı dil olarak İngilizce, Farsca, Arapça ve Azerice bilmektedir.