

Hibrit Rüzgar/FV Enerji Sistemleri İçin PID Denetleyici Parametrelerinin PSO ve GA ile Optimizasyonu

Optimization of PID Controller Parameters in Wind/PV Energy Systems Using PSO and GA

Amirhossein HAJISALM¹, İsmail H. ALTAŞ²

¹Elektrik -Elektronik Mühendisliği Bölümü
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Amirhosseinhajisalem@yahoo.com

²Elektrik -Elektronik Mühendisliği Bölümü
Karadeniz Teknik Üniversitesi
ihaltas@kyu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada bir üç döngülü (tri-loop) hata ile sürülen (error-driven) PID denetleyicinin parametrelerini optimal şekilde tuning işlemi yapılmaktadır. Çalışmada bir hibrit Rüzgar/FV (Foto Voltaik) sisteminin DC çıkışları (gerilim, akım ve güç) kontrol sistemi ile denetlenir ve böylece hata minimize edilir. Burada PID denetleyici parametrelerinin tuning işlemi PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu) yöntemi ve genetik algoritmalar (GA) ile yapılır, en iyi K_p , K_i ve K_d bulunur. Burada en önemli amacımız PSO ve GA yöntemlerini kullanarak sistemin kararlı, güçlü ve kontrollü şekilde çalışmasıdır. Daha sonra farklı performans endeksleri için (ITAE, ITSE ve IAE) PSO ile bulunan sonuçları GA ile bulunanlar ile karşılaştırılıp hangisinin daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir.

Abstract

The paper deals with optimal tuning of a tri-loop error driven Proportional-Integral-Derivative (PID) controller used in a hybrid Wind/PV system for controlling the DC outputs of the system (voltage, current and power) and hence to minimize the errors. The main objective is to obtain a stable, robust and controlled system by tuning the PID controller using Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm and GA. Then we will compare these results for different performance indexes (ITAE, ITSE and IAE) and see which one has better results.

1. Giriş

Rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostu enerji kaynakları olarak bilinmektedir. Bu kaynaklar temiz ve verimli modern teknolojiye dayanmaktadır. Bu teknoloji kirlilikten uzak bir gelecek için umut ışığı sunmaktadır. Son zamanlarda bütün dünyada, enerji talebi hızla artmaktadır dolayısı ile Güneş (FV) ve rüzgar sistemleri gibi yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanılması ülkeler için

daha fazla cazip olmaya başlamıştır [1],[2]. Aynı zamanda düşük maliyetli ve daha verimli bir sistem geliştirmek için kesintisiz çalışmalar devam etmektedir. Küçük ölçekli stand-alone güç sistemleri elektrik enerji üretimi için önemli alternatif kaynakları olarak bilinmektedir. Bu çalışmada Rüzgar/FV hibrit enerji sistemi bir DC yük için devamlı güç üretmek amacı ile sunulmuştur. PID denetleyici sanayide hareket kontrol sistemi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde kontrol sistemlerinin % 90'ından daha fazlasında hala PID denetleyici kullanılıyor. PID denetleyici uygulamasının en kritik adımı ise parametrelerinin tuning işlemidir. Günümüzde kendini ayarlayan (self-tuning) PID dijital denetleyici mühendislik uygulamalarında çok kolaylık sağlamıştır. PID denetleyicinin en iyi şekilde parametre ayarlama işlemini gerçekleştirmesi, denetlenecek plant'ın davranışına bağlıdır. 'Newton' yöntemi ve 'steepest descent' yöntemleri gibi optimizasyon algoritmaları PID denetleyicinin tuning işlemi yapmak için kullanılmaktadır. Yanlış bu yöntemler 'global optimum' bulmayı garanti etmez ve ayrıca hesaplamaları zaman alıcıdır. Bu nedenle şu yöntemler dışında son yıllarda genetik algoritmalar (GA) ve Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) gibi yöntemler PID denetleyici parametresinin tuning işleminin gerçekleştirmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır [3]. Daha önceki çalışmalarda PSO algoritmasının GA'ya göre daha yüksek performans gösterdiği bildirilmiştir PSO doğrusal olmayan fonksyonlar ve çok boyutlu fonksyonların optimizasyonu için eşsiz bir kabiliyete sahiptir [4].

2. Hibrit Rüzgar/FV Sisteminin Açıklaması

Önerilen sistem, FV dizisi (PV Array), rüzgar türbin jeneratörü, bir SPWM kontrollü kıyıcı tipi DC-DC dönüştürücü, ters akımı önleyen bir diyot, doğru akım filtreleri (R_f , L_f) ve doğru akım yükü gibi elemanlardan oluşur. Burada güneş ve rüzgar sistemleri doğru akım yük için gerilim kaynağı (DC voltaj) olarak kullanılır. Önerilen sistemin modeli Şekil 3'de gösterilmiştir.

2.1. FV Sistemi

Güneş enerjisi daha büyük elektrik enerji elde etmek için seri ve paralel şekilde bağlanan güneş hücreleri aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Bir güneş hücresinin ideal eşdeğer devresi bir akım kaynağından ve ona paralel şekilde bağlanan bir diyottan oluşmaktadır. Devrenin çıkış terminalleri ise yüke bağlanır. Güneş hücresinin ideal gerilim akım denklemi aşağıdaki gibidir:

$$I_{PV} = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{qV_{PV}}{kT}} - 1 \right) \quad (1)$$

Burada:

I_{ph} = Foto akımı (A)

I_0 = Diyot ters doyma akımı (A)

q = Electron charge = 1.6×10^{-19} (C)

k = Boltzmann sabiti = 1.38×10^{-23} (J/K)

T = Hücre sıcaklığı (K)

Bir FV dizisi (array) modelinin genel blok diagramı şekil.1’de gösterilmiştir. Şekil ayrıca filtre ve yük modellerini içermektedir. Bir diyot (D1) ters akım akışını önlemek için yük devresine seri olarak bağlanmaktadır. Filtre ise yükten önce bağlanır ve onun görevi gerilimi sabit tutabilmektir. Önerilen filtrenin elemanları seri bağlanan ‘ R_f-L_f ’ şeklinde olur. Güneş hücresinin çıkış gücü aşağıdaki gibidir:

$$P_{PV} = V_{PV} * I_{PV} \quad (2)$$

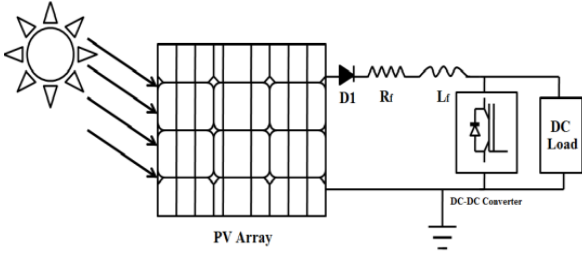
Burada:

I_{PV} = Güneş hücresinin çıkış akımı (A).

V_{PV} = Güneş hücresinin çalışma gerilimi (V).

PPV = Güneş hücresinin çıkış gücü (W).

Şekil.1 bir tipikal FV array modelin 695 W/m^2 güneş ışınımı ve 20°C sıcaklığında göstermektedir.



Şekil 1: FVA modeli

2.2. Rüzgar Sistemi

Rüzgar türbinin rüzgardan aldığı mekanik güç aşağıdaki formül ile ifade edilir:

$$P_m = 1/2 \rho_a A_s V_m^3 C_p(\beta, \lambda) \quad (3)$$

Burada:

ρ_a = Hava yoğunluğu (Kg/m³)

A_s = Taranan alan (m²)

C_p = Rüzgar türbini güç sabiti

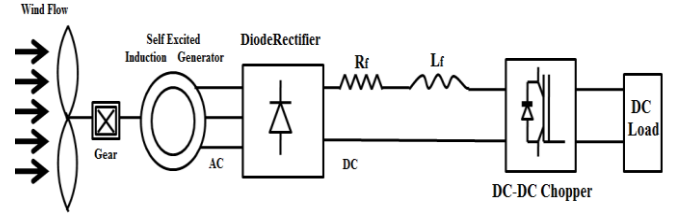
V_m = Rüzgar hızı (m/s)

Bu nedenle eğer hava yoğunluğu, taranan alan ve rüzgar hızı sabit olursa çıkış gücü, türbin güç sabitinin fonksyonu

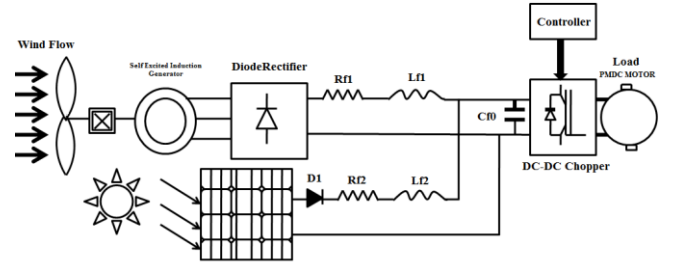
olacaktır. Buna ek olarak rüzgar türbini normal olarak $c_p-\lambda$ eğrisi ile karakterise edilir. Uç hız oranı, λ , (4)’de gösterilmiştir:

$$\lambda = \frac{\omega R}{v} \quad (4)$$

Burada, ω , R ve v sırası ile türbin rotor hızı (rad/s), türbin bıçağının yarıçapı (m) ve rüzgar hızı (m/s) olarak bilinmektedir. Bir rüzgar sisteminin modeli şekil.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2: Rüzgar sisteminin modeli



Şekil 3: Rüzgar/FV hibrit sistemi modeli

3. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)

Parçacık sürü optimizasyon yöntemi Kennedy ve Eberhart [3] tarafından geliştirilen bir evrimsel hesaplama optimizasyon tekniğidir (doğal bir sisteme dayalı bir arama yöntemidir). sistem başlangıçta rastgele seçilmiş çözüm nüfusu alır. Herbir potansiyel çözüm, parçacık olarak adlandırılır. Her parçacığa rastgele bir hız verilir ve problem uzayında uçurtulur. Parçacıklar hafızaya sahiptir ve her parçacık önceki parçacığının en iyi konumu (Pbest) ve onunla ilgili uygunluk değerini (fitness) izler. Her sürü için bir kaç sayı Pbest bulunmakadır ve en büyük uygunluk değerine sahip olan parçacık, sürünün en iyisi veya ‘global best’ olarak adlandırılır (Gbest). PSO tekniğinin temel kavramı, her parçacığının her bir zaman adımında bir rastgele hızlandırma ağırlığı ile Pbest ve Gbest konumu doğrultusunda hızlandırmasına dayanmaktadır. PSO algoritmasının önemli adımları ve seçim süreci aşağıda açıklanmıştır:

(a)D-boyutlu problem uzayında konumları ve hızları random olarak belirlenen bir parçacık nüfusu icad edilir ve arama uzayında uçurulur.

(b)Sürünün her parçacığı için uygunluk değerlendirilmesi yapılır.

(c)Her bir iterasyon için, her bir parçacığının uygunluğunu ondan önce elde edilen en iyi uygunluk değeri (Pbest) ile karşılaştırılır. Eğer mevcut değer Pbest değerinden daha iyi olursa, Pbest değerini mevcut değere ayarlarız ve ayrıca Pbest’in konumu da d-boyutlu uzayda mevcut konuma eşit olur.

(d) Parçacıkların pbest değerlerin birbirleri ile karşılaştırıp ve sürünün en iyi konumunu en büyük uygunluk değeri ile güncelleriz (Gbest).

(e) Parçacığın hız ve konumu (5) ve (6) denklemleri ile değiştirilir.

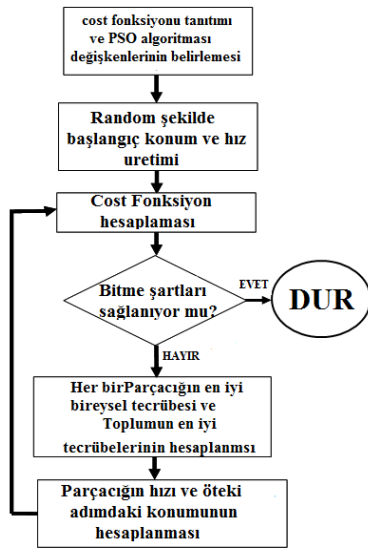
$$V_{id} = \omega \cdot V_{id} + C_1 \cdot rand_1 \cdot (P_{id} - X_{id}) + C_2 \cdot rand_2 \cdot (P_{gd} - X_{id}) \quad (5)$$

$$X_{id} = X_{id} + V_{id} \quad (6)$$

Burada V_{id} ve X_{id} d -boyutlu uzayda sırasıyla i_ıncı parçacığının hız ve konumunu temsil etmektedir. $rand_1$ ve $rand_2$ iki tekdüze fonksiyonlardır, ω eylemsizlik ağırlığıdır ve önceden seçilir.

(f) (b) ila (e) adımlarını bazı tek veya çoklu kriterleri esas alarak yakınsamaya varana kadar devam ederiz.

PSO algoritmasının akış diagramı Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4: PSO algoritmasının akış diagramı

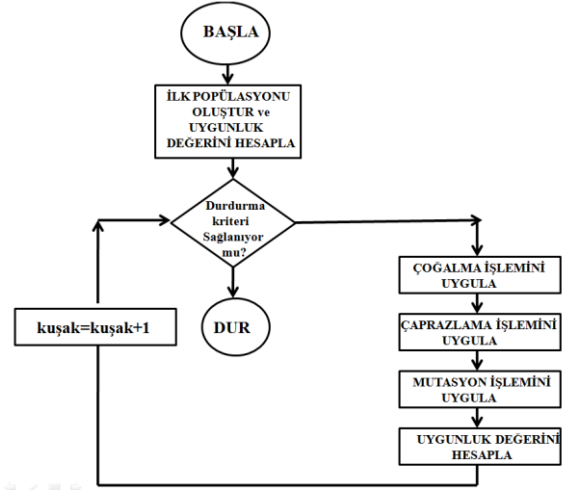
4. Genetik Algoritmalar

Burada PSO'yu diğer evrimsel algoritmalar ile karşılaştırmak amacı ile özet bir şekilde Genetik Algoritmasından bahsedeceğiz. Sonraki bölümde ise Genetik algoritmasının PID parametre belirleme işleminden elde ettiği sonuçları, PSO yöntemi ile elde ettiğimiz sonuçlar ile karşılaştırıp hangisinin daha iyi olduğunu göreceğiz. Genetik algoritması ilk kez Holland tarafından sunuldu. GA, doğal seçim mekanizmasından esinlenen sezgisel optimizasyon tekniğidir. Bu algoritma, kaç sayı kromozom içeren bir başlangıç nüfusu ile başlar. Burada her bir kromozom bir potansiyel çözümdür. Yani genetik algoritması sadece bir çözüm değil kaç çözüm üreten bir algoritmadır. Bu çözümün performansı *uygunluk fonksiyonu (fitness function)* ile değerlendirilir. 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 algoritmasının PID denetleyici parametre ayarlama işlemi sonraki bölümde

açıklanacaktır. Genetik Algoritmasının oluşturulması ve uygulama adımları şöyledir;

1. Bireylerden (kromozom) oluşan bir random başlangıç nüfus üretilir.
2. Bireylerin uygunluğu değerlendirilir.
3. Nüfusun en uygun (fitt) üyeleri seçilir
4. Seçim (Roulett Wheel)
5. Çaprazlama
6. Mutasyon
7. 2. Adımın yakınsama varana kadar tekrarlanması [17]

Genetik algoritmasının akış diagramı Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5: Genetik algoritmanın akış diagramı

5. Denetleyicinin Yapısı

Bir Rüzgar/FV yenilenebilir güç üretim sistemi için koordine edilmiş kontrol stratejisi Şekil 5'de gösterilmiştir. Yaptığımız çalışmada kullandığımız denetleyici üç kısımdan oluşmaktadır:

- Üç döngülü hata ile sürülen (PID) denetleyicisi (Dr.sharaf [1] tarafından tasarlandı) (Şekil 3)
- Sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu (SPWM)
- DC-DC çift çevirici kıyıcı (chopper)

Şekil 6'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 denetleyici için bir giriş olarak kullanılmaktadır. denetleyicinin çıkışı ise anahtarlama frekansı üretmek amacı ile SPWM bloğunda giriş olarak kullanılır. Burada hatalar (e_1, e_2, e_3) ' V_d , I_d ve P_d 'nin referans değerlerinden sapmalarını gösteriyor. Sistemin (per-unit), üç boyutlu hata vektörü (e_V, e_I, e_P) aşağıdaki denklemler ile yönetilmektedir:

$$e_V(k) = V(k) \left(\frac{1}{1+ST1} \right) \left(\frac{1}{1+SD} \right) - V(k) \left(\frac{1}{1+ST1} \right) \quad (7)$$

$$e_I(k) = I(k) \left(\frac{1}{1+ST2} \right) \left(\frac{1}{1+SD} \right) - I(k) \left(\frac{1}{1+ST2} \right) \quad (8)$$

$$e_P(k) = I(k) * V(k) \left(\frac{1}{1+ST3} \right) \left(\frac{1}{1+SD} \right) - I(k) * V(k) \left(\frac{1}{1+ST3} \right) \quad (9)$$

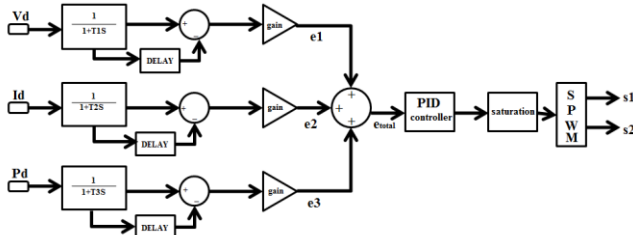
Bir zaman anında sistem için toplam hata veya global $e_t(k)$ şöyledir:

$$e_t(k) = \gamma_v e_v(k) + \gamma_i e_i(k) + \gamma_p e_p(k) \quad (10)$$

Sistem kontrol gerilimi PID denetleyici için zaman domeninde aşağıdaki biçime sahiptir:

$$V(t) = K_p e_t(t) + K_i \int_0^t e_t(t) dt + K_d \frac{de_t(t)}{dt} \quad (11)$$

PSO arama algoritması sistemin toplam hatasını en aza indirmek için (K_p, K_i, K_d) kazançlarını ayarlamak üzere uygulanmaktadır.



Şekil 6: Üç döngülü hata ile sürülen PID denetleyici

$e(t)$ değişkeni 'tracking' hatasını temsil ediyor ki oda ayarladığımız giriş değer ile gerçek çıkış değeri arasındaki farktır. Şu hata sinyali, PID denetleyiciye gönderilir ve kontrolör 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 sahip olmasına 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 [16]. ITAE, IAE, ITSE ve ISE performans kriterlerinin formülleri aşağıdaki gibidir:

$$IAE = \int_0^{\infty} |r(t) - y(t)| dt = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (12)$$

$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \quad (13)$$

$$ITAE = \int_0^{\infty} t \cdot |r(t) - y(t)| dt = \int_0^{\infty} t \cdot |e(t)| dt \quad (14)$$

$$ITSE = \int_0^{\infty} t \cdot e^2(t) dt \quad (15)$$

6. Simülasyon Sonuçları

Bu çalışmada hibrit Rüzgar/FV sistemi için referans gerilim, akım ve güç sırası ile 550(volt),120(Ampere) and 66(KW) olarak alınmıştır. Tablo.1 bu çalışmada kullanılan PSO'nun parametrelerini gösterir. Ayrıca GA parametreleri tablo.2'de gösterilmiştir. PSO ve GA uygulamaları sonucunda elde ettiğimiz optimum PID parametreleri (K_p, K_i, K_d) ve genel (Global) minimum cost ITAE performans kriteri için elde edilmiştir (Tablo 3). Simülasyon sonuçları (hibrit sistemin çıkış gerilimi, çıkış akımı ve çıkış gücü denetleyici olmadan Şekil7'de gösterilmiştir. Ayrıca sistemin çıkışları PSO-PID

denetleyici için ve GA-PID denetleyicileri için sırası ile Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir. Gerilim hatası (e_v), akım hatası (e_I), güç hatası (e_p), toplam hata (e_t) denetleyici olmadan (Şekil 10) ve PSO-PID denetleyici için (Şekil 11) ve GA-PID için (Şekil 12)'de sırası ile gösterilmiştir. Şekil 13 ise ITAE performans endeksini PSO ve GA için gösterilmiştir.

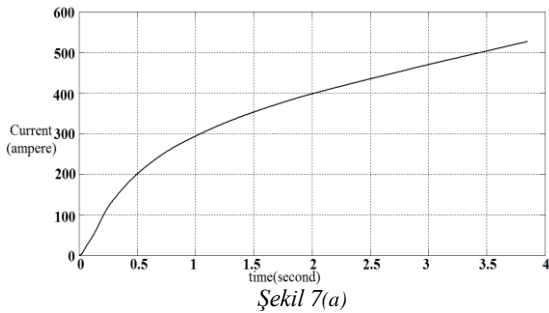
7. Sonuç

Bu makalede PSO ve GA'yı kullanarak optimum PID denetleyici parametrelerinin belirlenmesi yapılmaktadır. PSO-PID ve GA-PID denetleyicileri hibrit sisteminin voltajı, akımı ve gücünü kontrol etmektedirler. Sistemin matlab ortamında simülasyonu yapıldıktan sonra elde edilen sonuçlar önerilen PSO-PID denetleyicinin GA-PID denetleyici'ye göre daha etkin bir arama gerçekleştirdiğini göstermektedir. Ayrıca PSO-PID denetleyici arama işlemini ve tuning problemini daha basit ve hızlı şekilde yaptığını görüyoruz. Örneğin tablo.3'de ITAE performans endeksi için global min cost değerinin PSO-PID denetleyici'de GA-PID denetleyici'ye göre daha düşük değer aldığı belirlenmiştir.

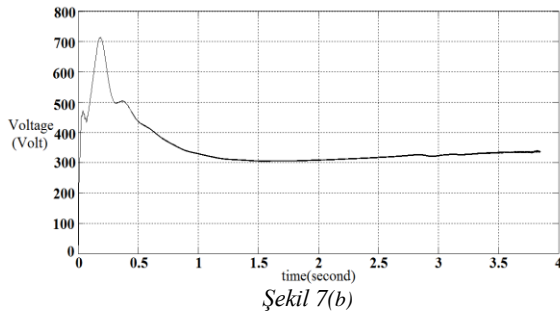
8. Kaynaklar

- [1] I. H. Altas and A.M. Sharaf "A Photovoltaic Array simulation Model for matlab-simulink GUI environment"
- [2] I. H. Altas and A.M. Sharaf and 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
- [3] Kennedy, J. and Eberhart, R., "Particle swarm optimization", Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, WA, 1942-1948 (1995).
- [4] Adel M. Sharaf, Senior Member IEEE Adel A. A. El-Gammal Centre for Energy Studies, University of Trinidad and Tobago UTT "Optimal Self Regulating PID controller for coordinated Wind-Fc-Diesel Utilization" Third UK sim European symposium on copmputer modeling and simulation (2009).
- [5] Shi, Y. and Eberhart, R. C., "A modified particle swarm optimizer", Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation, Anchorage, 69-73 (1998).
- [6] Ou, C. and 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).
- [7] Chen, J., Ren, Z. and 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).
- [8] Shi, Y. and Eberhart, R. C., "Emprical study of particle swarm optimization", Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation, Washington, 1945-1950 (1999).
- [9] 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).
- [10] Eberhart, R. C. and Shi, Y., "Tracking and optimizing dynamic systems with particle swarms", Proceedings of the

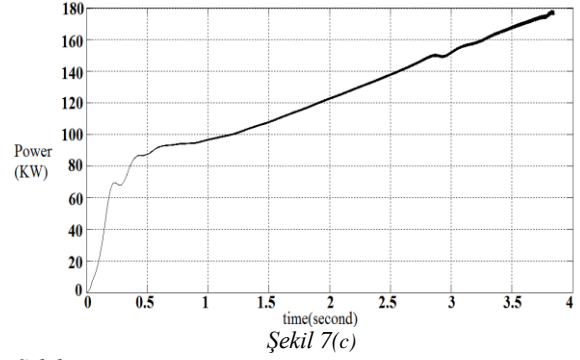
- Congress on Evolutionary Computation ,Seoul, 94-100 (2001).
- [11] Clerc, M., “The swarm and the queen: towards a deterministic and adaptive particle swarm optimization”, Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation, Washington, DC, 1951-1957 (1999).
- [12] Eberhart, R. C. and Shi, Y., “Particle swarm optimization: developments, applications and resources”, Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation, Seoul, 81-86 (2001).
- [13] Mehrabian, A. R. and Lucas C., “Automatic tuning of decentralized controllers by swarm intelligence”, 3rd International IEEE Conference on Intelligent Systems, London, 350-353 (2006).
- [14] 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).
- [15] Boumediène ALLAOUA* Brahim GASBAOUI and Brahim MEBARKI[†] Setting Up PID DC Motor Speed Control Alteration Parameters Using Particle Swarm Optimization Strategy” University, Departement of Electrical Engineering, B.P 417 BECHAR (08000) Algeria
- [16] D. E. Goldberg”Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning” 1989: Addison-Wesley Publishing Co., Inc.
- [17] MOHD S. SAAD¹, HISHAMUDDIN JAMALUDDIN², INTAN Z. M. DARUS²”PID Controller Tuning Using Evolutionary Algorithms” ¹School of Manufacturing Engineering Universiti Malaysia Perlis MALAYSIA, ²Department of System Dynamics & Control Faculty of Mechanical Engineering Universiti Teknologi Malaysia



Şekil 7(a)



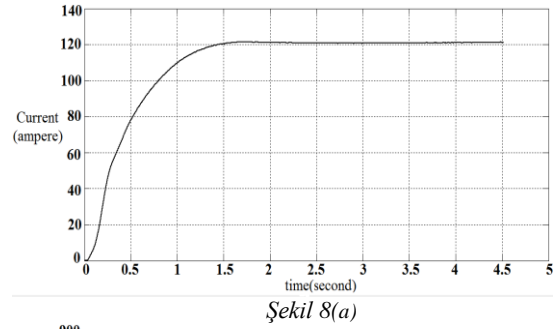
Şekil 7(b)



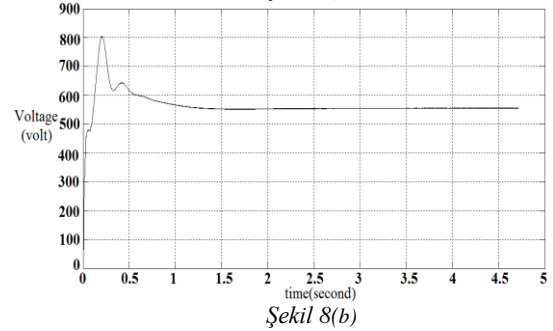
Şekil 7(c)

Şekil 7: Hibrit Rüzgar/FV sistemi çıkış değerleri(denetleyici olmadan)

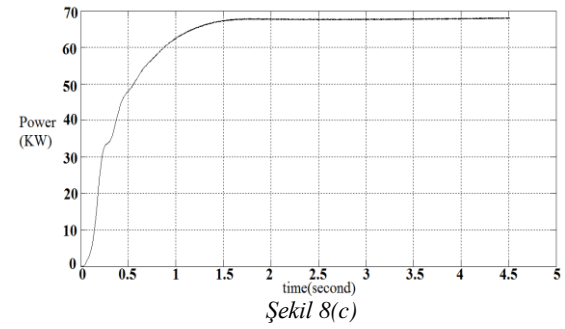
(a) Akım, (b) Gerilim, (c) Güç



Şekil 8(a)

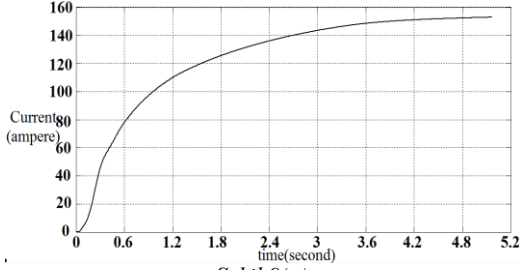


Şekil 8(b)

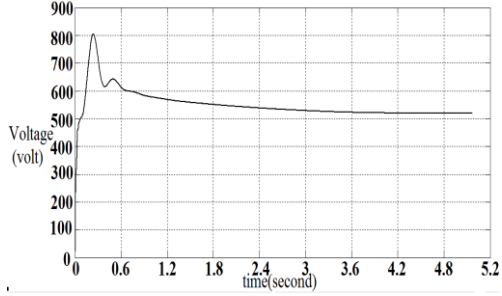


Şekil 8(c)

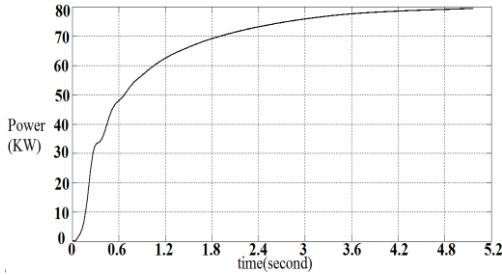
Şekil 8: Hibrit Rüzgar/FV sistemi çıkış değerleri PSO-PID denetleyici uygulanırken(ITAE)(a) Akım, (b) Gerilim, (c) Güç



Şekil 9(a)

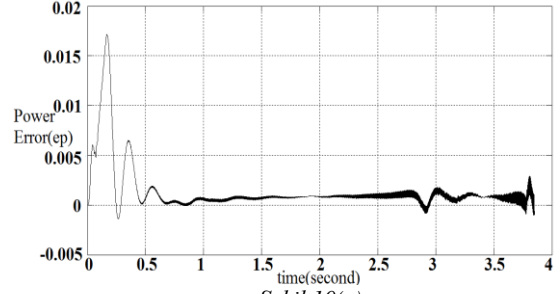


Şekil 9(b)

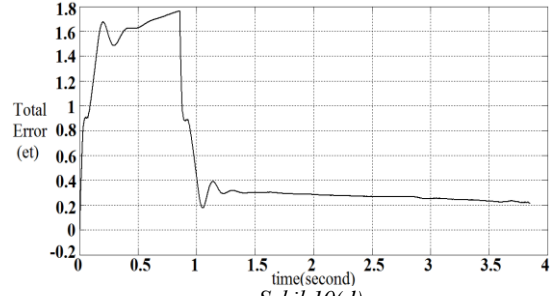


Şekil 9(c)

Şekil 9: Hibrit Rüzgar/FV sistemi çıkış değerleri GA-PID denetleyici uygulanırken(ITAE) (a)Akım, (b) Gerilim,(c)Güç

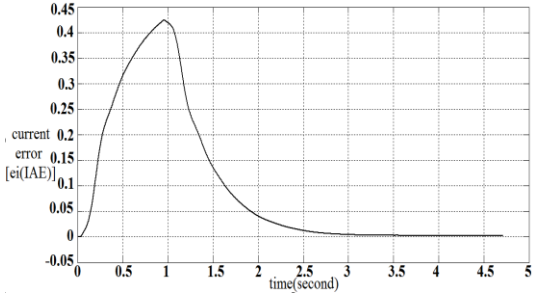


Şekil 10(c)

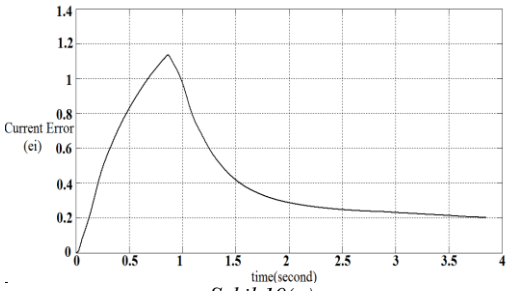


Şekil 10(d)

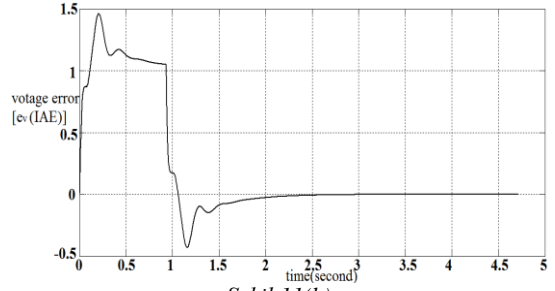
Şekil 10: Hibrit Rüzgar/FV sisteminin hata değerleri (denetleyici olmadan) (a)Akım hatası(e_i), (b) Gerilim hatası(e_v), (c)Güç hatası(e_p), (d)toplam hata(e_t)



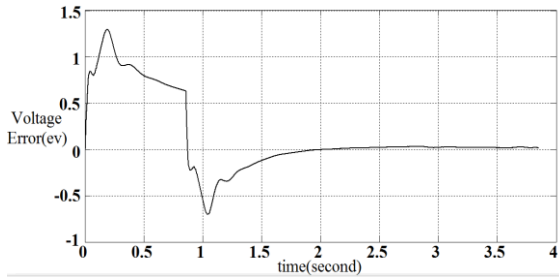
Şekil 11(a)



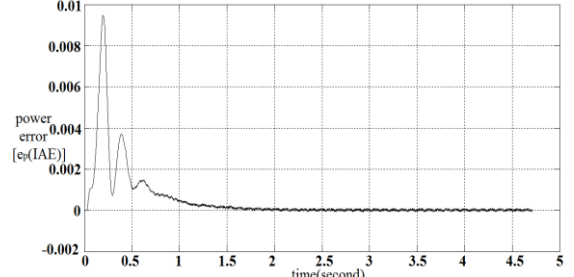
Şekil 10(a)



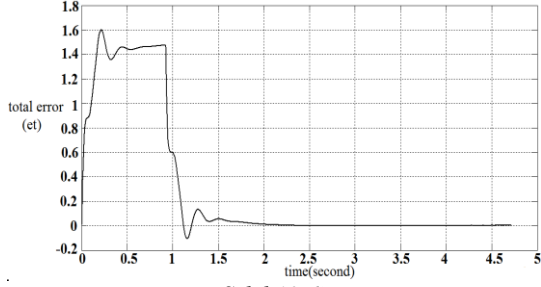
Şekil 11(b)



Şekil 10(b)

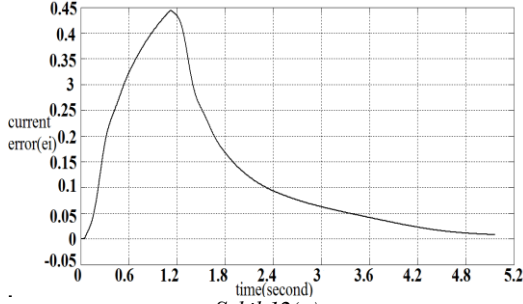


Şekil 11(c)

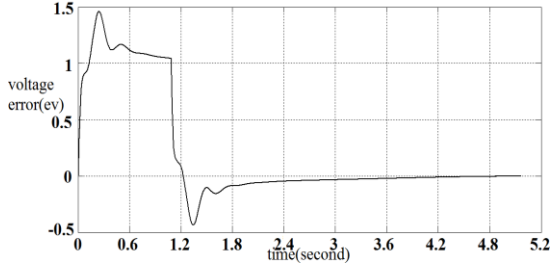


Şekil 10(d)

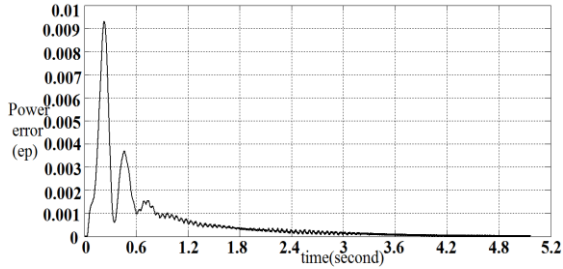
Şekil 11: Hibrit Rüzgar/FV sisteminin hata değerleri (PSO-PID denetleyici uygulanırken) (a) Akım hatası(ei), (b) Gerilim hatası(ev), (c)Güç hatası(ep), (d)toplam hata(et)



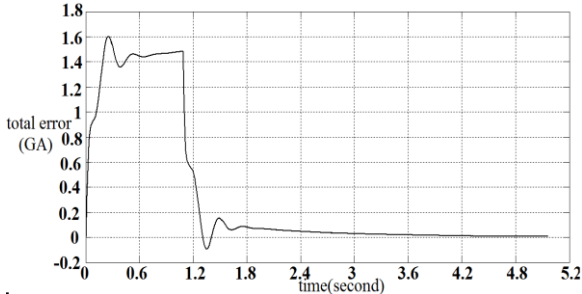
Şekil 12(a)



Şekil 12(b)

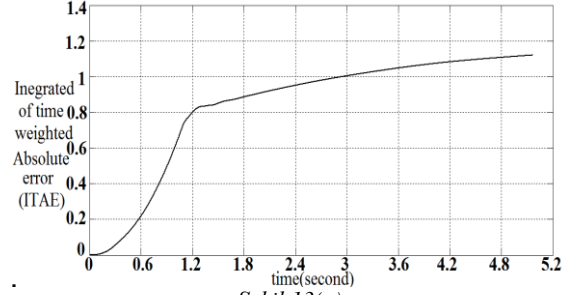


Şekil 12(c)

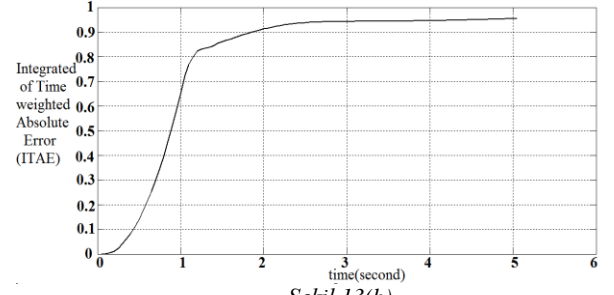


Şekil 12(d)

Şekil 12: Hibrit Rüzgar/FV sisteminin hata değerleri (GA-PID denetleyici uygulanırken) (a) Akım hatası(ei), (b) Gerilim hatası(ev), (c)Güç hatası(ep), (d)toplam hata(et)



Şekil 13(a)



Şekil 13(b)

Şekil 13: (a) Integrated OF Time weighted Absolute Error (ITAE) GA'yı uyguladığımız zaman
(b) Integrated OF Time weighted Absolute Error (ITAE) PSO'yu uyguladığımız zaman

Tablo 1: PSO algoritması parametreleri

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

Tablo 2: GA parametreleri

Popülasyon Sayısı	60
İterasyon sayısı	20
Var high	10
Var low	0
Mutasyon oranı	0.2

Tablo 3: GA-PID ve PSO-PID optimum K_p , K_i ve K_D parametreleri ve genel minimum maliyet değeri

İterasyon	GA-PID				PSO- PID			
	K_p	K_i	K_d	Genel Minimum Maliyet	K_p	K_i	K_d	Genel Minimum Maliyet
1	0.9754	9.5929	8.6869	0.8056	0.9619	0.8644	0.9106	0.7867
2	9.7059	2.5428	9.1065	0.8056	0.6067	0	0.8944	0.7836
3	9.1574	2.5108	5.7970	0.8056	0.5155	0	0.5258	0.7835
4	9.3399	5.4972	5.1325	0.8056	0.5155	0	0.5258	0.7835
5	1.7119	5.7682	2.3995	0.8055	0.9531	0	0.0258	0.7825
6	8.2346	1.2991	4.8925	0.8055	0.9531	0	0.0258	0.7825
7	3.8156	7.9428	3.8974	0.8055	0.8275	0	0	0.7825
8	6.4631	6.5408	9.5613	0.8053	0.6366	0	0	0.7825
9	1.6261	9.1334	0.1540	0.8053	0.6366	0	0	0.7825
10	2.2381	4.4268	4.5092	0.8053	0.6746	0	0	0.7825
11	8.2346	1.2991	4.8925	0.8053	0.6746	0	0	0.7825
12	1.8687	1.6565	0.9645	0.8053	0.6659	0	0	0.7825
13	8.1472	7.5127	1.0665	0.8053	0.6659	0	0	0.7825
14	9.0579	2.5510	9.6190	0.8053	0.7297	0	0	0.7824
15	4.1680	3.8045	1.8391	0.8053	0.7297	0	0	0.7824
16	4.3165	2.1584	2.5987	0.8050	0.7297	0	0	0.7824
17	6.1392	1.0622	8.2119	0.8050	0.7297	0	0	0.7824
18	4.7459	9.5163	2.5987	0.8050	0.7297	0	0	0.7824
19	4.9836	8.2582	0.5268	0.8050	0.7297	0	0	0.7824
20	4.2176	9.4274	8.2407	0.8050	0.7297	0	0	0.7824