

POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)
URL: http://dergipark.gov.tr/politeknik



PID güç sistemi kararlı kılıcısı parametrelerinin belirlenmesi için böbrek-ilhamlı algoritma

Kidney-inspired algorithm for determination of PID power system stabilizer parameters

***Yazar(lar) (Author(s))**: Serdar EKİNCİ[1], Baran HEKİMOĞLU[2], Ethem UYSAL[3]*

ORCID[1]: 0000-0002-7673-2553

ORCID[2]: 0000-0002-1839-025X

ORCID[3]: 0000-0002-0714-7481

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Ekinci S., Hekimoğlu B. ve Uysal E., "PID güç sistemi kararlı kılıcısı parametrelerinin belirlenmesi için böbrek-ilhamlı algoritma", ***Politeknik Dergisi***, 22(2): 453-460, (2019).

Erişim linki (To link to this article): http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive

DOI: **10.2339/politeknik.417765**

PID Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı Parametrelerinin Belirlenmesi için Böbrek-ilhamlı Algoritma

Araştırma Makalesi / Research Article

Serdar EKİNCİ[1*], Baran HEKİMOĞLU[2], Ethem UYSAL[2]

[1]Batman Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Müh. Bölümü, Batman, Türkiye
[2]Batman Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Batman, Türkiye
(Geliş/Received : 10.02.2018 ; Kabul/Accepted : 12.03.2018)

ÖZ

Güç sistemi kararlı kılıcısı (PSS), düşük frekanslı salınımların bastırılması için etkili bir araçtır. Bu makalede, tek makinalı sonsuz baralı (TMSB) şebeke için Oransal İntegral Türevsel (PID) PSS'nin optimal tasarımında yeni bir algoritma kullanılmıştır. Kontrolör tasarım problemi, bir optimizasyon problemine dönüştürüldü ve kontrolörün PID parametreleri, güçlü bir optimizasyon metodu olan böbrek-ilhamlı algoritma (KA) kullanılarak ayarlandı. Yeni tasarımlanmış PIDPSS'in verimliliği, diferansiyel evrim (DE) ve yapay arı kolonisi algoritması (ABC) tabanlı PIDPSS tasarım yöntemlerine kıyaslanarak büyük ve küçük arızalar altındaki TMSB'ye uygulandı. Lineer olmayan zaman domeni simülasyon sonuçları, önerilen KA tabanlı kontrolörün (KA-PIDPSS) diğer yöntemlere göre daha mükemmel bir sönümleme performansı sağladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Böbrek-ilhamlı algoritma, PID kontrolör tasarımı, güç sistemi kararlılığı, düşük frekanslı salınımlar.

Kidney-inspired Algorithm for Determination of PID Power System Stabilizer Parameters

ABSTRACT

Power system stabilizer (PSS) is an operative tool for the suppression of low frequency oscillations. In this article, a novel algorithm is used for the optimal design of Proportional Integral Derivative (PID) PSS for a single machine infinite bus (SMIB) network. The controller design problem is converted to an optimization problem and the PID parameters of controller are tuned by using kidney-inspired algorithm (KA) which is a powerful optimization method. The efficiency of the newly designed PIDPSS is applied to the SMIB under large and small disturbances in comparison with the differential evolution (DE) and artificial bee colony algorithm (ABC) based PIDPSS design methods. Nonlinear time-domain simulation results show that the proposed KA based controller (KA-PIDPSS) gives an excellent damping performance compared to other methods.

Keywords: Kidney-inspired algorithm, PID controller design, power system stability, low frequency oscillations.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Büyük enterkonnekte güç sistemlerinde 0.1−3 Hz aralığındaki düşük genlikli salınımlar, maksimum güç aktarımı ve optimum güç sistemi güvenliği hedefleri için zararlıdır [1]. Bu düşük frekanslı salınımlar, generatörün şebekeden ayrılması ve hatta önemli sistem kesintilerinin oluşması gibi ciddi sonuçlara sebep olabilir. Güç sisteminin kararlılığı, elektrik mühendisleri tarafından araştırılan en önemli sorunlardan biri olan güç sistemi güvenlik korumasının özüdür [2]. Geçici hal kararlılık sınırlarını iyileştirmek için kullanılan hızlı hareket eden statik uyarma sistemleri, düşük frekanslı salınımları sönümlemeye büyük bir katkıda bulunur. Güç sistemi kararlı kılıcıları (PSS), düşük frekanslı salınımları azaltmak ve güç sistemi kararlılığını arttırmak için yaygın şekilde kullanılmaktadır. [3] Endüstriyel uygulamalarda en çok tercih edilen PSS türü PID (oransal, integral, türevsel) tipi kontrolörlerdir.

PSS kullanmak suretiyle güç sistemi düşük frekanslı salınımların sönümlenmesi konusu üzerine çok sayıda çalışma yapıldı. Farklı çalışma koşullarında PSS parametrelerinin tasarımı için gradyan prosedürün bir örneği olarak klasik optimizasyon yöntemleri [4] 'te önerilmiştir. Ne yazık ki, iterasyonda optimizasyon süreci için duyarlılık ve özvektörlerin hesaplanması gerekmektedir ve ağır hesaplama işlemi ile yavaş yakınsama oranı bu sürecin olumsuz yanlarıdır. Buna ek olarak, yerel minimuma yakalanma ve en uygun cevapları alamama karşılaşılan diğer problemlerdir. PSS tasarım problemi karmaşık bir multimodal optimizasyon problemidir, bu nedenle türev ve gradyan kullanan geleneksel optimizasyon teknikleri global optimumun yerini belirleyemedikleri için böyle bir problem için uygun değildir. Bunun için sezgisel yöntemler bu türden global optimizasyon problemleri için daha yararlıdır.

Literatürde genellikle evrimsel ve sürü zekası yaklaşımlarına dayanan çok sayıda akıllı teknik, küçük işaret salınımlarını bastırmak için PSS tasarımına uygulanmıştır. Bu teknikler arasında genetik algoritma (GA) [5,6], parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) [7,8], diferansiyel evrim (DE) [9], yarasa arama algoritması (BA) [10], bakteriyel yem arama algoritması (BFA) [11],

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ekinciser@yahoo.com

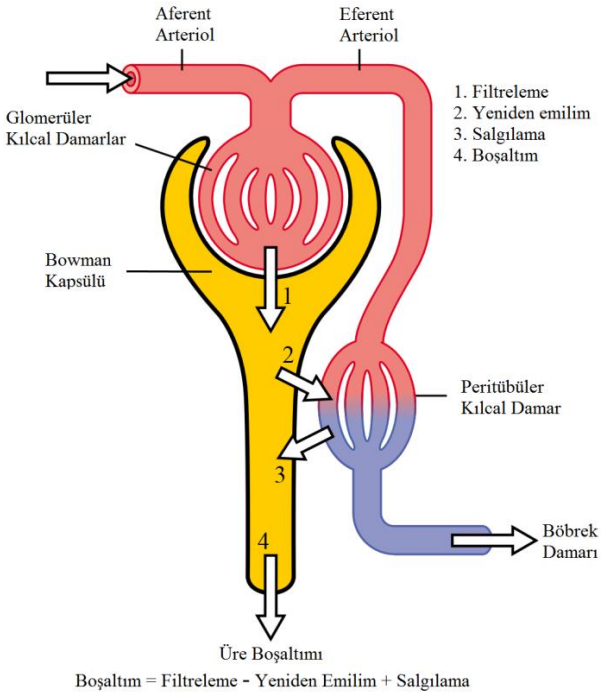
yapay arı kolonisi (ABC) [12,13], armoni arama algoritması (HSA) [14], guguk kuşu arama algoritması (CS) [15], hibrit PSO-ABC [16] ve geri izleme arama algoritması (BSA) [17] güç endüstrisinde parametrelerin ayarlanması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Nispeten daha iyi performans ve dayanıklılık için sezgisel optimizasyon teknikleri geleneksel tekniklerden çok fazla önem kazanmıştır ancak sezgisel yöntemler ayrıntılıdır ve tam olarak optimize edilmiş bir çözümü garanti etmez. Yakın geçmişte, çeşitli yayınlar, bazı sezgisel yöntemlerin bir takım dezavantajlarını ve kısıtlılıklarını ortaya koymuştur. Örneğin, GA algoritmaları, birbiriyle oldukça ilişkili parametrelerin ayarlanması durumunda çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Ayrıca, en uygun çözümü bulamama ve yavaş yakınsama gibi sorunlara sahip olduğu tespit edilmiştir [18].

Böbrek-ilhamlı algoritma (KA) etkin ve güçlü bir global optimizasyon tekniği olarak ilk kez Jaddi ve arkadaşları tarafından 2017 yılında önerildi [19]. Bu optimizasyon tekniği, böbreklerin üriner sisteminin fizyolojik yapısındaki dört işlevi (filtreleme, yeniden emilim, salgılama ve boşaltım) taklit eder [19]. Ön çalışmalar, KA'nın optimizasyon yeteneği kısıtsız optimizasyon problemlerini çözmek için literatürde mevcut olan GA, PSO, BA vb. diğer optimizasyon algoritmalarından daha üstün olduğunu göstermiştir, çünkü bu yöntemler multimodal optimizasyon problemlerinin çözümünde başarısızdırlar [19]. Keşif (exploration) ve sömürme (exploitation) arasındaki denge, bu optimizasyon tekniğinin temel avantajıdır [19]. Bu yeni algoritma birkaç uygulama dışında [20,21] mühendislik alanındaki birçok konuya henüz uygulanmamıştır.

Bu çalışmada, KA metodu güç sistemi kararlı kılıcısı için PID kontrolör parametrelerinin optimal ayarlanmasında ilk kez önerilmiştir. Lineer olmayan optimizasyon problemi olan PID tipi PSS tasarımında KA çalıştırılarak hatanın mutlak değerinin integrali (*IAE*) olan amaç fonksiyonu optimize edilmiştir. KA ile parametreleri belirlenen PID kontrolörün etkinliği DE ve ABC tabanlı PID kontrolörle karşılaştırılarak büyük ve küçük bozunumlara maruz kalan tek makinalı sonsuz baralı bir güç sisteminde test edildi. Simülasyon sonuçları, önerilen KA tabanlı kontrolörün başarılı sönümleme performansına sahip olduğunu göstermiştir.

2. BÖBREK İLHAMLI ALGORİTMA (KIDNEY-INSPIRED ALGORITHM)

Nispeten yeni bir optimizasyon tekniği olan böbrek-ilhamlı algoritma (KA) ilk olarak Jaddi vd. tarafından 2017 yılında önerilmiştir ve insan vücudundaki böbreklerin işlevine dayalıdır [19]. Şekil 1'de böbreğin temel fizyolojik mekanizması gösterilmektedir. İnsan üre sistemindeki ana biyolojik yapı olan böbrekler, kandaki iyon miktarını idare edebilmek için kanı filtrelemekte ve ayrıca fazla suyu ve atıkları üre yoluyla atarak gidermektedir. Böbreklerdeki filtreleme işlemi, çözünmüş maddelerin tüplere taşındığı ve yeniden emilimin gerçekleştirildiği glomerüler kılcal damarlardan başlar. Yeniden emilim ile tüplerden çıkan çözünmüş maddeler kan dolaşımına geri gönderilir. Çözünen maddelerin renal tüpe doğru hareketi ise fazlalıkların üre yoluyla atılmasından dolayı bir salgılama işlemi olarak düşünülür. Böylece, böbreklerin işlevsel süreci dört aşamada özetlenebilir: filtreleme (filtration), yeniden emilim (reabsorption), salgılama (secretion) ve boşaltım (excretion) [19].



Şekil 1. Böbreğin temel fizyolojik mekanizması [22] (Main physiologic mechanism of the kidney [22])

Diğer popülasyon tabanlı algoritmalarda olduğu gibi KA'nın başlangıç aşamasında da rasgele bir çözüm popülasyonu oluşturulur ve bunlara ait amaç fonksiyonları hesaplanır. Her iterasyonda, tüm çözümler için şimdiye kadar bulunan en iyi çözüm yönünde ilerleyen yeni bir çözüm oluşturulur. Bu algoritmada, yeni bir çözümün hareketi aşağıdaki gibi formüle edilir [23]:

$$Sol_{i+1} = Sol_i + rand(Sol_{best} - Sol_i) \quad (1)$$

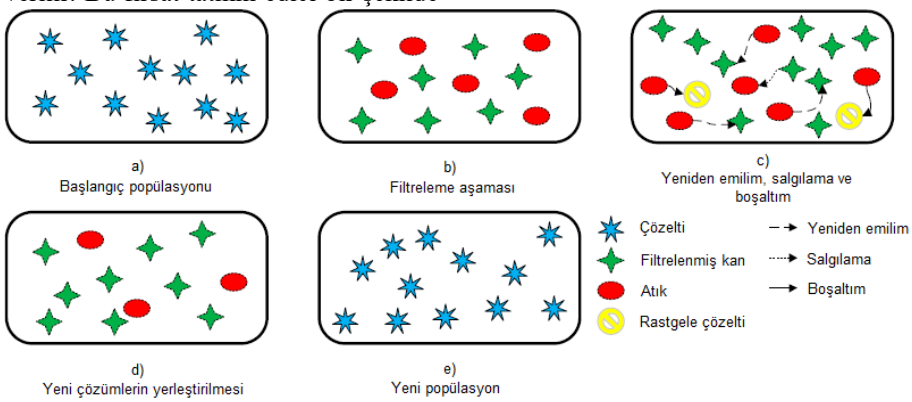
Burada *Sol* KA popülasyonu içindeki bir çözümü, Sol_i *i*.nci iterasyondaki bir çözümü, *rand* rastgele bir sayıyı ve Sol_{best} şimdiye kadar bulunan en iyi çözümü temsil etmektedir. Popülasyondaki daha kaliteli çözümler filtreleme operatörü uygulanarak filtrelenmiş kan (*FB*) içine süzülürken kalan çözümler de atık çöpüne (*W*) taşınır. KA'da filtreleme, her iterasyonda hesaplanıp güncellenen bir filtreleme oranı kullanılarak gerçekleştirilir. Filtreleme oranı aşağıdaki gibi hesaplanır [23]:

$$f_r = \alpha \times \frac{\sum_{i=1}^{p} f(x_i)}{p} \quad (2)$$

Burada f_r filtreleme oranını, α [0, 1] aralığında sabit bir sayıyı, p popülasyon büyüklüğünü ve $f(x_i)$ i. iterasyondaki x çözümüne ait amaç fonksiyonunu temsil etmektedir. Çözümün *FB* veya *W* üyesi olup olmayacağını belirlemek için algoritmanın izleyeceği kural ise aşağıdaki gibidir:

- Çözümün kalitesi > f_r ise, çözümü bir *FB* üyesi olarak kabul et.
- Çözümün kalitesi < f_r ise, çözümü bir *W* üyesi olarak kabul et.

Eğer bir çözüm *W*'ye kabul edilirse, çözümün kendisini iyileştirmesi ve daha sonra *FB*'ye taşınabilmesi için ona başka bir fırsat verilir. Bu fırsat tatmin edici bir şekilde kullanılamazsa (yani çözüm kalitesi filtreleme oranından küçük olursa) çözümün *W*'den boşaltımı yapılır ve bunun yerine başka bir rastgele çözüm *W*'ye eklenir. Diğer taraftan, eğer, filtreleme işleminden sonra, bir çözüm *FB*'ye yerleştirilir ve bu çözümün kalitesi *FB*'deki en kötü çözümden daha iyi değilse *FB*'den salgılanır (atılır). Ancak, eğer çözüm *FB*'deki en kötü çözümden daha iyi ise bu takdirde *FB*'deki en kötü çözüm salgılanır. Daha sonra *FB*'deki çözümler sıralanır ve şimdiye kadar bulunan en iyi çözüm güncellenir. Bu süreç sonlandırma kriterine ulaşana dek tekrar edilir. KA'nın çalışma mekanizması şematik olarak Şekil 2'de gösterilmektedir [19].



Şekil 2. KA'nın çalışma mekanizması a) Başlangıç popülasyonu b) Filtreleme aşaması c) Yeniden emilim, salgılama ve boşaltım d) Yeni çözümlerin yerleştirilmesi e) Yeni popülasyon [19]. (The operating mechanism of the KA a) Initial population b) Filtration stage c) Reabsorption d) New solutes placement e) New population [19].)

3. GÜÇ SİSTEMİ MODELİ (POWER SYSTEM MODEL)

Şekil 3'te şematik diyagramı gösterilen sonsuz baraya bağlı tek makinalı güç sistemi; bir iletim hattı, generatör, otomatik gerilim regülatörü, uyarma sistemi ve güç sistemi kararlı kılıcısından (PSS) meydana gelmektedir.

Uyarma ve PSS ilaveli akı-sönümlü modele ilişkin senkron makinanın diferansiyel ve cebirsel denklemleri aşağıdaki şekilde tanımlanır [24, 25]:

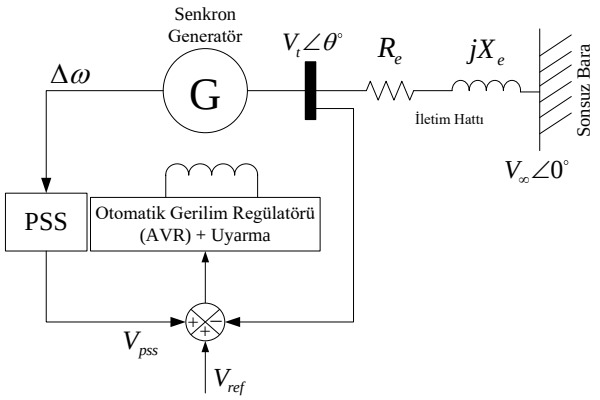
$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_s(\omega - 1) \tag{3}$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{P_m - [E'_q i_q + (x_q - x'_d) i_d i_q] - D(\omega - 1)}{M} \tag{4}$$

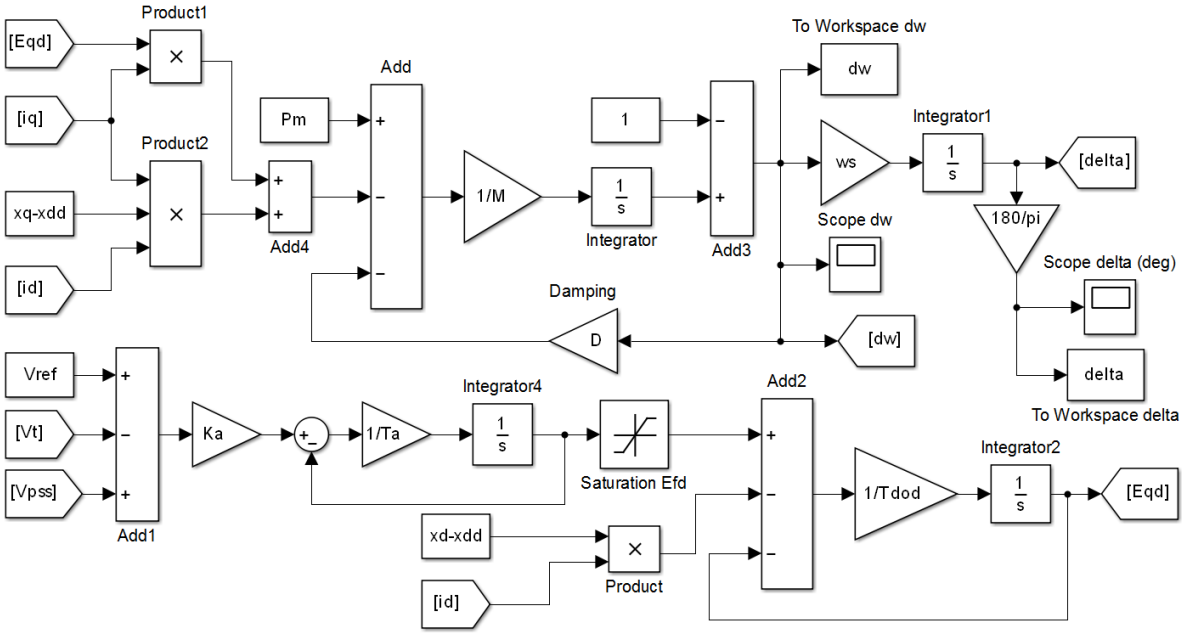
$$\frac{dE'_q}{dt} = \frac{E_{fd} - E'_q - (x_d - x'_d) i_d}{T'_{do}} \tag{5}$$

$$\frac{dE_{fd}}{dt} = \frac{K_a(V_{ref} - V_t + V_{pss}) - E_{fd}}{T_a} \tag{6}$$

Eş. (3)–(6) güç sisteminin diferansiyel denklemleridir. Burada, δ rotor açısı, ω rotor hızı, ω_s senkron hızı, P_m mekanik giriş gücü, E_q' q-ekseni geçici gerilimi, E_{fd} uyarma gerilimi, M atalet sabiti, D sönüm katsayısı, T'_{do} d-ekseni geçici zaman sabiti, x_d ve x_q sırasıyla *d*-ekseni ve *q*-ekseni senkron reaktans bileşenleri, x'_d *d*-ekseni geçici reaktansı, i_d ve i_q sırasıyla *d*-ekseni ve *q*-ekseni endüvi akımları, V_t generatör terminal gerilimini, V_{ref} referans gerilimi, V_{pss} PSS'nin çıkış gerilimi, K_a ve T_a sırasıyla uyarma geriliminin kazanç ve zaman sabitleridir. Eş. (3)–(6)'nin hesaplanması ile ilgili Simulink modeli Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Tek makinalı sonsuz baralı sistemin şematik diyagramı (Schematic diagram of single machine infinite bus system)



Şekil 4. Simulink ile diferansiyel denklemlerin modellenmesi (Modeling of differential equations with Simulink)

$$x_q i_q - V_d = 0 \tag{7}$$

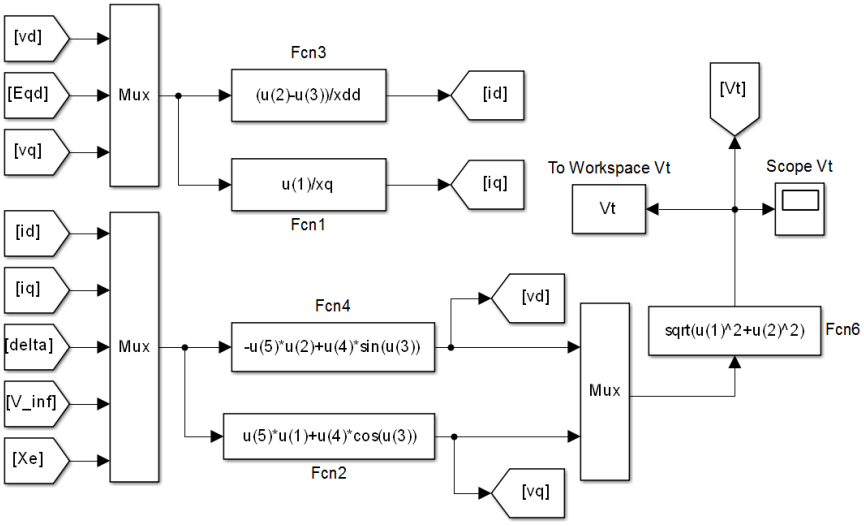
$$E'_q - x'_d i_d - V_q = 0 \tag{8}$$

$$R_e i_d - X_e i_q = V_d - V_\infty \sin\delta \tag{9}$$

$$X_e i_d + R_e i_q = V_q - V_\infty \cos\delta \tag{10}$$

$$V_t = (V_d^{\,2} + V_q^{\,2})^{1/2} \tag{11}$$

Eş. (7) ile Eş. (8) stator cebirsel denklemlerini ve Eş. (9)–(11) ise şebeke denklemlerini ifade etmektedir. Burada, V_d ve V_q sırasıyla V_t terminal geriliminin *d*-ekseni ve *q*-ekseni bileşenleridir. Eş. (7)–(11)'e ilişkin Simulink modeli Şekil 5'te gösterilmiştir. Şebeke denklemlerinde R_e hat direnci ihmal edilmiştir. Geçici hal kararlılık analizlerinde tek makinalı sonsuz baralı güç sistemi için tasarlanan bu iki Simulink tabanlı modellerden yararlanılacaktır.



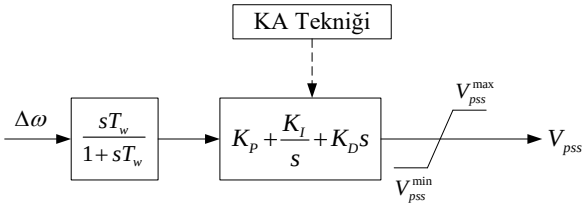
Şekil 5. Simulink ile cebirsel denklemlerin modellenmesi (Modeling of algebraic equations with Simulink)

4. ÖNERİLEN TASARIM YÖNTEMİ (PROPOSED DESIGN METHOD)

4.1. PSS'nin Yapısı (Structure of PSS)

PID tipi güç sistemi kararlı kılıcısının temel görevi, makine elektriksel momenti ve uyarma girişi arasında faz gecikmesini kompanze ederek, generatörün rotorunda uygun bir moment oluşturmaktır [24]. PID kararlı kılıcısı K_P oransal, K_I integral, K_D türevsel kazançları, T_w yüksek geçiren filtre devre zaman sabiti ve çıkış sınırlamalarından oluşur ($V_{pss}^{\max}$ ve $V_{pss}^{\min}$). T_w'nin değeri

kritik olmamakla beraber genellikle 1–20 s aralığındadır [13]. PID kontrolörünün yapısı Şekil 6'da gösterilmiştir.

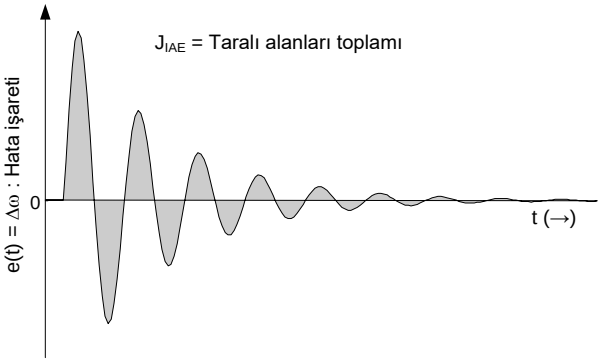


Şekil 6. PID tipi PSS'nin yapısı (The structure of PID type PSS)

4.2. Amaç Fonksiyonu (Objective Function)

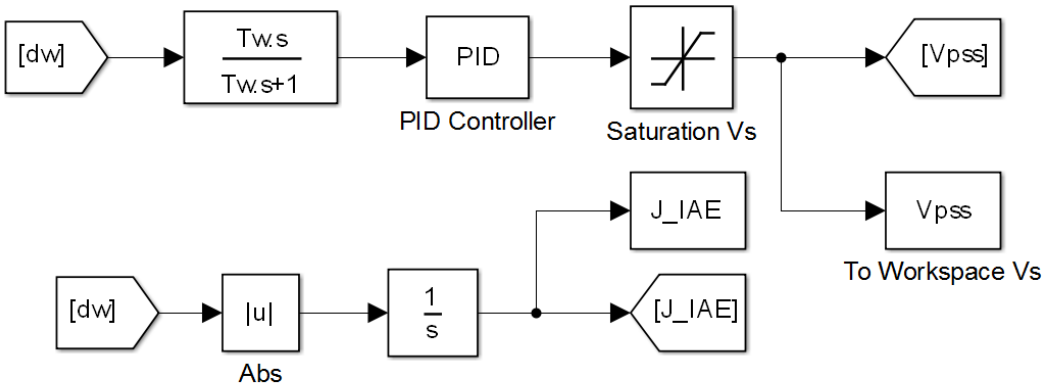
Bu çalışmada, T_w temizleme zaman sabiti 10 s olarak alınmıştır [13]. K_P, K_I ve K_D kontrolör kazançlarının belirlenmesi gereklidir. Büyük bir arızanın ardından güç sistemi kararlılığının iyileştirilmesi ve düşük frekanslı salınımların minimize edilmesi için PSS tasarlanır. Bu salınımlar, güç açısı (δ), rotor hızı (Δω), ve hat gücündeki (P_L) sapmalardan görülebilir. Bu sapmalardan herhangi birinin veya tümünün birden minimize edilmesi temel amaçtır. Bu çalışmada, hata işareti olarak Δω hız sapmasını kullanan hatanın mutlak değerinin integrali (*IAE*) amaç fonksiyonu olarak seçilmiştir [26]. Şekil 7'de gösterilen *IAE* matematiksel olarak aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$J_{IAE}=\int_0^{t_s}|\Delta w(t)|\,dt \tag{12}$$



Şekil 7. *IAE* amaç fonksiyonu (Objective function *IAE*)

Burada t_s simülasyon zamanıdır. Şekil 8'deki Simulink modeli, PID-PSS işaret çıkışının ve J_{IAE} amaç fonksiyonunun hesaplanmasını göstermektedir.



Şekil 8. PID-PSS ve J_{IAE} için Simulink modeli (Simulink model for PID-PSS and J_{IAE})

Sistem cevabının yerleşme zamanı ve aşım açısından iyileştirilmesi için J_{IAE} amaç fonksiyonunun en küçük değerini alması gerekmektedir. Tasarım problemi için PID tipi kontrolörün parametrelerinin sınırlarının belirlenmesi gereklidir ve bu kısıtlamalar Eş. (13)–(15)'te verilmiştir.

$$K_P^{min}<K_P<K_P^{max} \tag{13}$$

$$K_I^{min}<K_I<K_I^{max} \tag{14}$$

$$K_D^{min}<K_D<K_D^{max} \tag{15}$$

K_P, K_I ve K_D kazanç parametrelerinin alt sınırı 0.001 ve üst sınırı 15 olarak alınmıştır [27]. Önerilen yaklaşımdan yararlanmak suretiyle, MATLAB ortamında kodlanan KA tekniği çalıştırılarak bu optimizasyon problemi çözülür ve en uygun PSS parametreleri elde edilir.

5. SİMÜLASYON SONUÇLARI (SIMULATION RESULTS)

5.1. Test Sistemi (Test System)

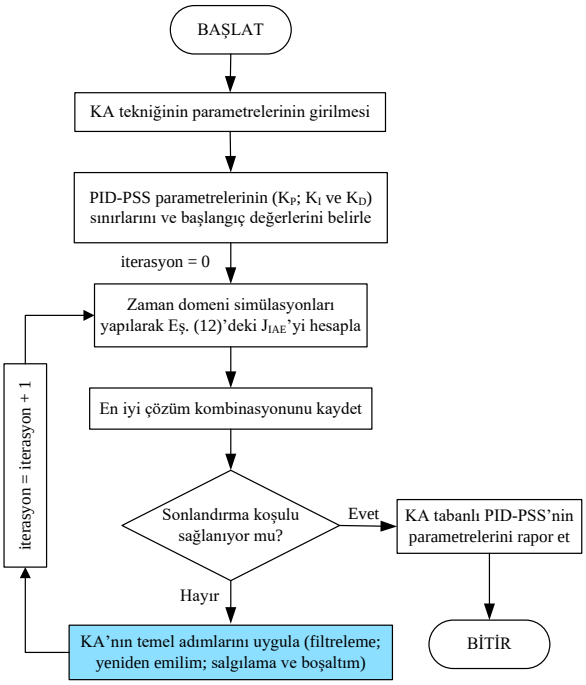
Bu çalışmada kullanılan tek makinalı sonsuz baralı güç sisteminin hat, generatör ve uyarma parametreleri Çizelge 1' de verilmiştir [24].

Çizelge 1. Sistem verileri [24] (System data [24])

Generatör	$M=2H=6$; $x_d=1.6$ *pu*; $x_q=1.55$ *pu*; $x'_d=0.32$ *pu*; $T'_{do}=6$ *s*; $\omega_s=2\pi\times60$ *rad/s*; *P=0.8 pu; Q=0.4 pu; D=0*
Hat	$R_e=0.0$ *pu* ; $X_e=0.4$ *pu*; $V_\infty=1.0$ *pu*
Uyarma	$K_a=50$; $T_a=0.05$ *s*

5.2. PID-PSS Tasarımına KA Tekniğinin Uygulanması (Implementation of KA technique to PID-PSS design)

PID tipi kontrolörün optimum parametrelerini ayarlayan KA'nın etkinliğini ve üstün performansını göstermek amacıyla elde edilen sonuçlar, DE ve ABC kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılacaktır. Bu çalışmada karşılaştırma için seçilen bu iki algoritma optimizasyon problemlerinin çözümünde çokça tercih edilmektedir. KA, DE ve ABC tekniklerinin PID-PSS tasarım problemine uygulanması için gerekli kodlamalar MATLAB programında gerçekleştirilmiştir. Düzgün bir kıyaslama yapılabilmesi açısından üç algoritma için popülasyon ve iterasyon sayısı sırasıyla 50 ve 20 seçilmiştir. PID-PSS tasarımında kullanılan KA tekniğinin hesaplamalı akış diyagramı Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Önerilen KA tabanlı PID-PSS tasarımının akış diyagramı (Flowchart of the proposed KA based PID-PSS design)

Zaman domeni simülasyonlarında sistemin maruz kaldığı iki arıza türü düşünüldü.

a) Büyük Arıza Türü: t=1 s'de generatör uçlarındaki üç-fazlı 6 periyotluk kısa devre arızası

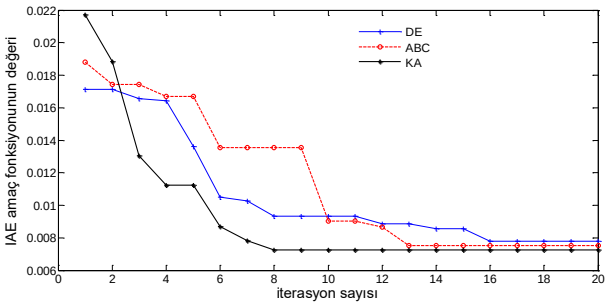
b) Küçük Arıza Türü: t=1 s'de mekanik güç girişinde %12.5'lik ani bir artışın olması (ΔP_m=0.10 pu)

Üç-fazlı büyük arızanın sistem davranışı üzerinde çok ciddi bir etkisi olduğundan, PID-PSS kontrolörü bu arıza türüne göre tasarlanmıştır. Üç yöntem kullanılarak elde edilen PID kontrolör parametrelerinin optimum değerleri Çizelge 2'de sunulmuştur.

Tüm metotların yakınsama karakteristiği Şekil 10'da gösterilmiştir. J_{IAE} amaç fonksiyonunun yakınsama grafiğinden görüleceği üzere KA metodu diğer iki metoda göre daha hızlı ve iyi bir yakınsamaya sahiptir.

Çizelge 2. Optimum PID-PSS parametreleri (Optimal PID-PSS parameters)

Ayarlama Metodu	PID Kazançları		
	K_P	K_I	K_D
KA	14.6908	2.7639	4.8424
DE	11.4825	0.8173	3.1350
ABC	4.2629	0.0019	6.0334

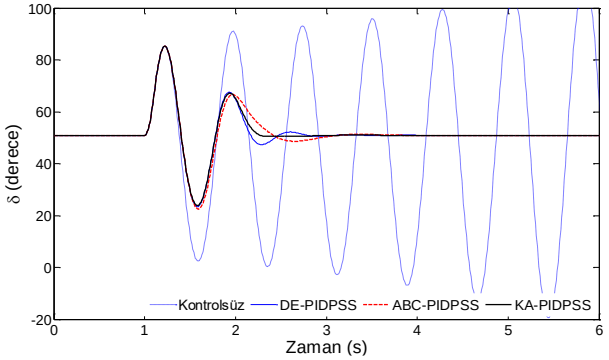


Şekil 10. J_{IAE} amaç fonksiyonunun yakınsama hızı (Convergence rate of the objective function J_{IAE})

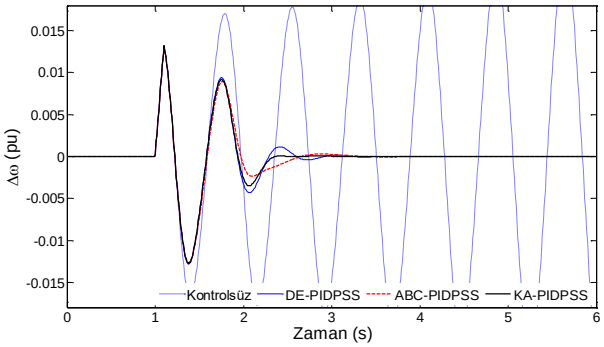
5.3. Geçici Hal Kararlılık Analizi (Transient Stability Analysis)

Büyük ve küçük arıza durumlarında önerilen KA tabanlı PID-PSS'li sistemin performansını değerlendirmek için zaman domeni simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

Büyük Arıza Durumu: t=1 s'de generatör terminal barasına üç-fazlı bir arıza uygulandı ve 6 periyot ($t_{arıza}$=0.1 s) sonra arızanın temizlendiği düşünüldü. İlgili arızanın giderilmesiyle sistem eski çalışma koşullarına döndürüldü. Bu üç-fazlı arıza ihtimalinde tek makinalı sonsuz baralı sistemin rotor açısı (δ) ve hız sapmasının (Δω) cevapları sırasıyla Şekil 11 ve 12'de gösterilmiştir. Bu şekillerdeki cevaplardan anlaşılacağı üzere kontrolsüz sistem kararsızdır. Bununla birlikte diğer iki algoritma tabanlı PIDPSS'ye nazaran KA tabanlı PIDPSS daha kısa yerleşme zamanına sahip olarak düşük frekanslı salınımlara en iyi sönüm karakteristiği sağlar ve sistemi daha çabuk kararlı hale getirir.

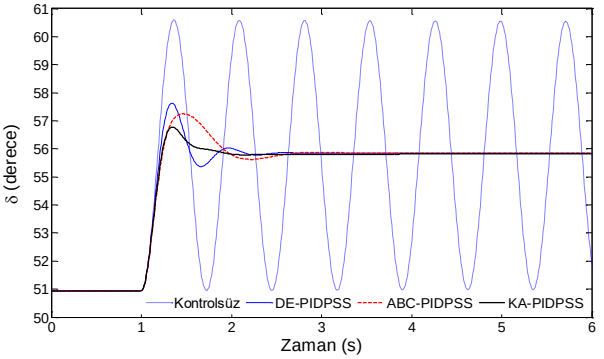


Şekil 11. Büyük arıza için rotor açısı cevabı (Rotor angle response for large disturbance)

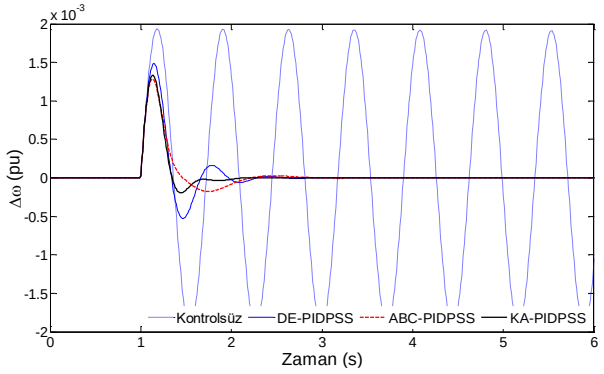


Şekil 12. Büyük arıza için hız sapması cevabı (Speed deviation response for large disturbance)

Küçük Arıza Durumu: Önerilen kontrolörün performansı, t=1 s'de mekanik güç girişine %12.5'lik ani bir artış uygulanarak doğrulandı. Küçük arıza durumunda, Şekil 13 ve 14 sırasıyla δ ve Δω'nın cevaplarını göstermektedir. Sistemde PID kontrolör olmadığında sistem kararlı olmasına rağmen salınımlar çok geç sönmektedir. Ayrıca önerilen KA-PIDPSS bu küçük arıza durumunda da daha az aşım ve daha kısa süreli yerleşme zamanına sahiptir.



Şekil 13. Küçük arıza için rotor açısı cevabı (Rotor angle response for small disturbance)



Şekil 14. Küçük arıza için hız sapması cevabı (Speed deviation response for small disturbance)

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu makalede PID tipi güç sistemi kararlı kılıcısının optimizasyonu, insan vücudundaki böbreğin çalışma fizyolojisinden esinlenen KA tekniği kullanılarak ilk kez araştırılmıştır. KA'nın mevcut olan diğer tekniklere kıyasla daha iyi dengelenmiş mekanizmaya (üstün keşif ve sömürme yetilerine) sahip ve yakın zamanda önerilmiş sezgisel bir teknik olduğunu belirtmek gerekir. KA tekniğinde *IAE* performans indeksi amaç fonksiyonu olarak seçildi ve minimum hale getirildi. Tasarım tipik bir tek makinalı sonsuz baralı güç sistemine uygulandı. Rotor açısı ve hız sapması için sistemin simülasyon sonuçları, optimum tasarlanan KA optimizasyon yöntemi tabanlı PID-PSS (KA-PIDPSS)'nin güç sisteminin kararlılığını ve performansını DE-PIDPSS ve ABC-PIDPSS'ye oranla daha iyi şekilde artırdığını göstermiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Çalışmanın yönlendirilmesi ve sonuçlandırılmasında emeği geçen Sayın Yusuf Ali Ekinci'ye teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Guesmi T., Alshammari B.M., "An improved artificial bee colony algorithm for robust design of power system stabilizers", ***Engineering Computations***, *34*(7): 2131-2153, (2017).

[2] Rogers G., "Power System Oscillations", ***Kluwer Academic Publishers***, Boston, (2000).

[3] Ghasemi A., Shayeghi H. and Alkhatib H., "Robust design of multimachine power system stabilizers using fuzzy gravitational search algorithm". ***International Journal of Electrical Power & Energy Systems***, 51: 190-200, (2013).

[4] Chow J.H. and Sanchez-Gasca J.J., "Pole-placement designs of power system stabilizers", ***IEEE Transactions on Power Systems***, *4*(1): 271-277, (1989).

[5] Sebaa K. and Boudour M., "Optimal locations and tuning of robust power system stabilizer using genetic algorithms", ***Electric Power Systems Research***, 79(2): 406-416, (2009)

[6] Hassan L.H., Moghavvemi M., Almurib H.A., Muttaqi K.M. and Ganapathy V.G., "Optimization of power system stabilizers using participation factor and genetic algorithm" ***International Journal of Electrical Power & Energy Systems***, 55: 668-679, (2014).

[7] Ekinci S. and Demiroren A., "PSO based PSS design for transient stability enhancement", ***IU-Journal of Electrical & Electronics Engineering***, *15*(1): 1855-1862, (2015).

[8] Labdelaoui H., Boudjema F. and Boukhetala D., "A multiobjective tuning approach of power system stabilizers using particle swarm optimization", ***Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences***, 24(5): 3898-3909, (2016).

[9] Sun Z., Wang N., Srinivasan D. and Bi Y., "Optimal tunning of type-2 fuzzy logic power system stabilizer based on differential evolution algorithm", ***International Journal of Electrical Power & Energy Systems***, 62: 19-28, (2014).

[10] Sambariya D.K. and Prasad R., "Robust tuning of power system stabilizer for small signal stability enhancement using metaheuristic bat algorithm" ***International Journal***

of Electrical Power & Energy Systems, 61: 229-238, (2014).

[11] Abd-Elazim S.M. and Ali E.S., "Power system stability enhancement via bacteria foraging optimization algorithm" ***Arabian Journal for Science and Engineering***, 38(3): 599-611, (2013).

[12] Eke İ., Taplamacıoğlu M.C., Kocaarslan İ., "Design of robust power system stabilizer based on Artificial Bee Colony Algorithm", ***Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University***, 26(3): 683-690, (2011).

[13] Ekinci S. and Demiroren A., "Modeling, simulation, and optimal design of power system stabilizers using ABC algorithm", ***Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences***, 24(3): 1532-1546, (2016).

[14] Hameed K.A. and Palani S., "Robust design of power system stabilizer using harmony search algorithm", ***Automatika***, 55(2): 162-169, (2014).

[15] Elazim S.A. and Ali E.S., "Optimal power system stabilizers design via cuckoo search algorithm", ***International Journal of Electrical Power & Energy Systems***, 75: 99-107, (2016).

[16] Ekinci S., Hekimoğlu B., "Multi-machine power system stabilizer design via HPA algorithm", ***Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University***, 32(4): 1271-1285, (2017).

[17] Islam N.N., Hannan M.A., Shareef H. and Mohamed A., "An application of backtracking search algorithm in designing power system stabilizers for large multi-machine system", ***Neurocomputing***, 237: 175-184, (2017).

[18] Farah A., Guesmi T. and Abdallah H.H., "A new method for the coordinated design of power system damping controllers", ***Engineering Applications of Artificial Intelligence***, 64: 325-339, (2017).

[19] Jaddi N.S., Alvankarian J. and Abdullah S., "Kidney-inspired algorithm for optimization problems", ***Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation***, 42: 358-369, (2017).

[20] Taqi M.K. and Ali R., "Obka-Fs: An Oppositional-Based Binary Kidneyinspired Search Algorithm for Feature Selection", ***Journal of Theoretical and Applied Information Technology***, 95(1): 9-23, (2017).

[21] Liang Y., Niu D., Wang H. and Chen H., "Assessment Analysis and Forecasting for Security Early Warning of Energy Consumption Carbon Emissions in Hebei Province, China", ***Energies***, 10(3): 391, (2017).

[22] Hall J.E. "Guyton and Hall textbook of medical physiology", ***Elsevier Health Sciences***, (2015).

[23] Jaddi N.S. and Abdullah S., "Optimization of neural network using kidney-inspired algorithm with control of filtration rate and chaotic map for real-world rainfall forecasting", ***Engineering Applications of Artificial Intelligence***, 67: 246-259, (2018).

[24] Sauer P.W., Pai M.A., Chow, J.H., "Power System Dynamics and Stability: With Synchrophasor Measurement and Power System Toolbox", Hoboken, NJ, USA: ***IEEE Press, Wiley***, (2017).

[25] Mondal D., Chakrabarti A., Sengupta A., "Power System Small Signal Stability Analysis and Control", ***Academic Press***, London, (2014).

[26] Dorf R.C., Bishop R.H., "Modern Control Systems", ***Prentice Hall***, (2010).

[27] Shayeghi H., Shayanfar H.A., Asefi S. and Younesi A., "Optimal Tuning and Comparison of Different Power System Stabilizers Using Different Performance Indices Via Jaya Algorithm", **In *Proceedings of the International Conference on Scientific Computing (CSC)***, 34-40, (2016).