

## **FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİNDEN BESLENEN SÜREKLİ MIKNATISLI DOĞRU AKIM MOTORUNU KONTROL EDEN KESİR DERECELİ PID KONTROLÖR PARAMETRELERİNİN JAYA OPTİMİZASYON ALGORİTMASI İLE AYARLANMASI**

**Dr. AYKUT FATİH GÜVEN<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> YALOVA Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, – ORCID ID 0000-0002-1071-9700

### **ÖZET**

Fotovoltaik Güneş Panelleri (FVGP), rüzgar türbinleri, yakıt pilleri, dalga enerjisi, biyokütle en çok bilinen yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Güneş enerjisi bunlar içerisinde en önemli enerji kaynaklarından biridir. FVGP, güneşten elektrik üretmeyi sağlayan temiz enerji kaynaklarından biridir. Elektrik üretimi nedeniyle oluşan karbon salınımının azaltılması ve daha çevreci olması nedeniyle tercih edilmektedir. Bu nedenle günümüzde FVGP'den beslenen yükler üzerine yapılan çalışmalar hızla artmaktadır. Özellikle şebekeden uzak yerlerde, elektrik şebekesine erişimin zor olduğu coğrafi bölgelerde güneş enerjisinin kullanım alanları önemli bir yere sahiptir. Tarımsal sulama bu alanlardan bir tanesidir. Bu amaçla FVGP'den beslenen elektrik makinaları çorak arazilerde üretimi mümkün hale getirmiştir. Bu eserde FVGP'den beslenen Sürekli Mıknatıslı Doğru Akım Motorunun (SMDAM) Kesir Dereceli PID (KDPID) kontrolör yardımıyla kontrol edilmesi anlatılmaktadır. SMDAM'ın devir sayısının etkin kontrolü ile istenen hızla suyun çıkartılması ve tarlalara aktarılması sağlanmaya çalışılmıştır. Bunun için devir sayısı kontrolü gerçekleştirilmiştir. Bunu sağlayan KDPID kontrolör parametreleri Jaya Optimizasyon Algoritması (JOA) ile bulunmaya çalışılmıştır. Bu algoritma basit yapısı, hızlı çalışması ve elde ettiği iyi sonuçlar nedeniyle seçilmiştir. PID kontrolörlerin daha ileri versiyonları olan KDPID'ler daha karmaşık yapısıyla ve hassas ayarlamalar için geliştirilmiştir. Kesir dereceli yapısı bunu mümkün hale getirmektedir. Devir sayısının geniş bir aralıkta değişmesi gerektiğinde bu parametreler çok iyi ayarlanmalıdır. Bu nedenle kontrolör parametreleri çok iyi seçilmelidir. JOA, KDPID'ye ait beş parametreyi optimize etmektedir. Kurulan sistem FVGP, SMDAM, sürücü, kontrolör, yükler ve ölçüm elemanlarından oluşmaktadır. Benzetim çalışmasında yükler de dinamik olarak değiştirilerek sistem zorlanmakta ve performansı incelenmektedir. Sistemin tamamı Matlab/Simulink ortamında modellenmiş ve benzetimi gerçekleştirilmiştir. İlk önce geniş bir aralıkta JOA çalıştırılmış ve arama uzayında en iyi değerler elde edildikten sonra sistem bu parametrelere göre çalıştırılarak sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Fotovoltaik Güneş Panelleri, Sürekli Mıknatıslı Doğru Akım Motoru, Kesir Dereceli PID, Jaya Optimizasyon Algoritması, Kontrol Sistemleri Optimizasyonu.

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda artan enerji ihtiyacı insanları başka enerji kaynaklarını araştırmaya yönlendirmiştir. Özellikle kömür ve linyit gibi yoğun dumana ve yanma sonrası dev kül dağlarına neden olan santrallerin kullanımı ya da nükleer santraller gibi pahalı ve son derece tehlikeli elektrik üreteçlerinden faydalanmak yerine rüzgar enerjisi, yakıt pilleri ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarını kullanmak tercih edilmeye başlanmıştır [1]. Bunun sonucunda yenilenebilir bu enerji kaynakları ile yüklerin beslenmesi, ara bağlantı cihazlarının tasarımı, melez yapıda bir arada kullanılmaları ve bu sistemlerde çıkan sorunların çözümüne dair pek çok araştırma yapılmaya başlanmıştır [2-3].

Özellikle kırsal alanda, şebekeden uzakta bulunan bağ, bahçe, tarla gibi yerlerde elektrik olmaması nedeniyle ürün yetiştirmek son derece zor bir iş haline gelmektedir. Özellikle yeterli miktarda suyun kuyulardan çekilmesi ve sulamanın gerçekleştirilmesi gerektiğinde elektrik enerjisi elzemdir [4]. Bu problemi çözmek için şebekeden bağımsız çalışan rüzgar enerjisi, yakıt pilleri ya da FVGP kullanmak gerekir.

Tarımsal alanların sulamalarında, uzun mesafede yerleştirilmiş yerin altındaki artezyen suyunun çekme uygulamalarında değişik motorlar kullanılabilir. Yaygın olarak dalgıç pompa/motor [5], asenkron motor [6] ucuz ve verimli olmaları nedeniyle kullanılmaktadır. Alternatif olarak sürekli SMDAM'da kullanılabilir. Uzun ömürlü olmasına rağmen pahalı bir çözümdür [7].

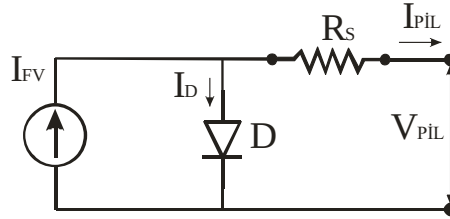
Elektrik makinalarını sürücüler kontrol etmektedir. Sürücüler ise PID [8], bulanık mantık denetleyici [9], model öngörülü kontrolör [10] gibi değişik temel kontrol tekniklerini kullanmaktadır. Bunlar arasında temel teknik PID kontrolörlerdir. Bunların daha gelişmiş olanları ise KDPID ve 2DOFPID, TID gibi kontrolörlerdir ve daha karmaşık oldukları için genel olarak PID'lere kıyasla daha iyi sonuç verirler [11-13].

Bu çalışma şebekeden bağımsız olarak çalışarak SMDAM'a enerji sağlayan ve böylece sulama işlemini gerçekleştiren FVGP sistemi tüm bileşenleri ile anlatılmaktadır. Kuyudan su çekilirken devir sayısının sabit kalması ve belli miktarda suyun çekilmesi talep edilmektedir. Bu nedenle SMDAM'ın devir sayısı KDPID kontrolör ile ayarlanmaktadır. Kontrolör parametreleri ise JOA kullanılarak belirlenmiştir. Sistem güneş panelleri, SMDAM, KDPID, yükler ve ölçüm elemanlarından oluşmaktadır. Tamamı Matlab/Simulink programında modellenmiş ve analiz edilmiştir.

## 2. SİSTEM BİLEŞENLERİ

### 2.1. Fotovoltaik Güneş Panelleri (FVGP)

FVGP'ler güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren ara birimlerdir. Görsel 1'de eşdeğer devresi görülmektedir.



**Görsel 1. Güneş Pili Basitleştirilmiş Eşdeğer Devresi**

Denklem 1'de güneş pilinden elde edilen gerilimin denklemi görülmektedir.

$$V_{pil} = \frac{A \cdot k \cdot T_{pil}}{e} \ln \left( \frac{I_{FV} + I_0 - I_{pil}}{I_0} \right) - R_S \cdot I_{pil} \quad (1)$$

Çizelge 1'de, Denklem 1'de kullanılan değişkenlerin tanımları görülmektedir.

**Çizelge 1. Güneş Pili Eşdeğer Devre Denkleminde Kullanılan İfadelerin Açıklaması**

| <u>Değişken</u> | <u>Açıklaması</u>             | <u>Birimi/Değeri</u>            |
|-----------------|-------------------------------|---------------------------------|
| $V_{pil}$       | FV pilin çıkış gerilimi       | V                               |
| $I_{pil}$       | FV pilin çıkış akımı          | A                               |
| $I_{FV}$        | Fotoakım                      | A                               |
| $I_0$           | D diyotunun ters doyma akımı  | A                               |
| $R_S$           | Eşdeğer devrenin seri direnci | Ohm                             |
| $T_{pil}$       | Referans çalışma sıcaklığı    | °K                              |
| $e$             | Elektron yükü                 | $1.6021917 \times 10^{-19}$ C   |
| $k$             | Boltzmann sabiti              | $1.380622 \times 10^{-23}$ J/°K |
| $A$             | Eğri uydurma faktörüdür       | ---                             |

Bu piller seri ve paralel bağlanarak istenen akım ve gerilim değerine getirilerek güneş panelleri oluşturulmaktadır [14].

### 2.2. Sürekli Mıknatıslı Doğru Akım Motorları (SMDAM)

SMDAM'lar doğru gerilimden elde ettikleri güç ile elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren elektrik makinalarıdır. Denklem 2, 3, 4, 5 ve 6'da SMDAM'ın temel matematiksel eşitlikleri görülmektedir.

$$T_m = K_i I_a \quad (2)$$

$$w_m = \frac{d\theta}{dt} \quad (3)$$

$$E_b = K_b w_m \quad (4)$$

$$E_a - K_b \frac{d\theta}{dt} = L_a \frac{dI_a}{dt} + R_a I_a \quad (5)$$

$$K_i I_a = J_m \frac{d^2\theta}{dt^2} + B_m \frac{d\theta}{dt} \quad (6)$$

Çizelge 2'de, Denklem 2 ile Denklem 6 arasında kullanılan değişkenlerin tanımları görülmektedir [15].

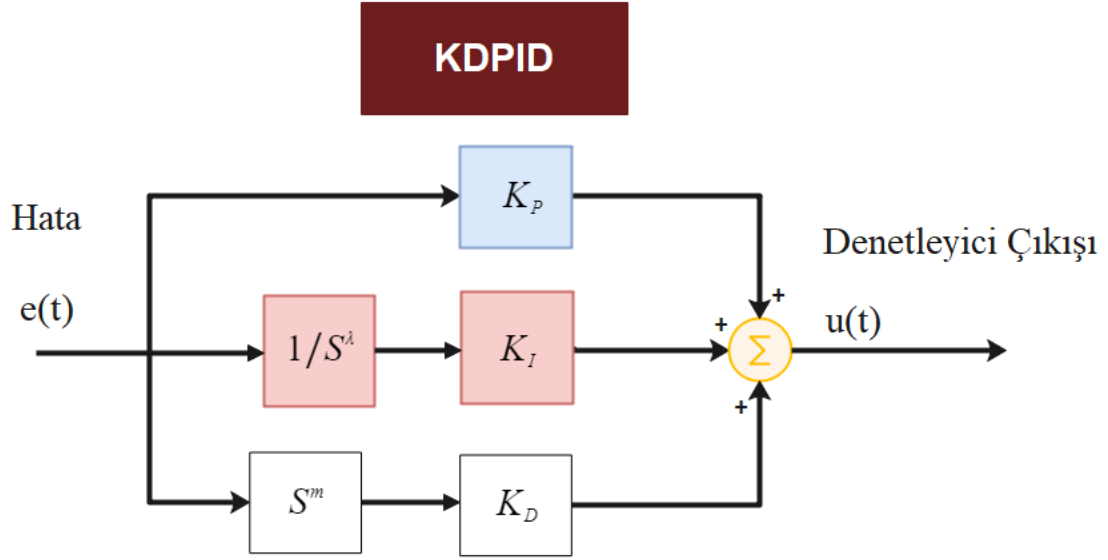
**Çizelge 2. SMDAM Denklemlerinin Açıklaması**

| <b><u>Değişken</u></b> | <b><u>Açıklama</u></b>   | <b><u>Birimi</u></b> |
|------------------------|--------------------------|----------------------|
| $R_a$                  | Armatür sargı direnci    | Ohm                  |
| $I_a$                  | Armatür akımı            | A                    |
| $L_a$                  | Armatür sargı endüktansı | H                    |
| $E_a$                  | Besleme gerilimi         | V                    |
| $E_b$                  | Zıt emk                  | V                    |
| $T_m$                  | Yük momenti              | Nm                   |
| $w_m$                  | Açısal hız               | Rad/s                |
| $\theta$               | Dönüş açısı              | Derece               |
| $K_i$                  | Moment sabiti            | Nm/A                 |
| $B_m$                  | Sürtünme katsayısı       | Vs/rad               |
| $J_m$                  | Eylemsizlik momenti      | kg                   |
| $K_b$                  | Motor sabiti             | ---                  |

### 2.3. Kesir Dereceli PID Kontrolör (KDPID)

KDPID kontrolörler klasik PID kontrolörlerin daha gelişmiş yapıda ve daha hassas ayarlanabilir olan türüdür. Görsel 2'de temel yapısı görülmektedir. Burada  $e(t)$  hata işareti,  $u(t)$  kontrolör çıkış işareti,  $K_P$  oran sabiti,  $K_I$  integral sabiti,  $K_D$  türev sabiti,  $\lambda$  ve  $m$  ise derece/kesir

sabitlerini göstermektedir.  $\lambda$  integral denetleyici için m ise türev türü denetleyici için kullanılır ve onları kesir dereceli hale getirir.



**Görsel 2. KDPID Kontrolörün Yapısı**

Denklem 7’de KDPID kontrolörün ifadesi görülmektedir [11].

$$u(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (7)$$

Kontrolörlerin performansını ölçmek için Integral of Time-Absolute Error (ITAE) kullanılmıştır. Hatanın mutlak değerinin zaman ile çarpılıp integralinin alınması ile hesaplanır [16].

$$ITAE = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt \quad (8)$$

#### 2.4. Jaya Optimizasyon Algoritması

Jaya algoritması, kısıtlı ve kısıtsız sürekli optimizasyon problemlerinin çözümü için Rao tarafından literatüre kazandırılan popülasyon tabanlı, stokastik bir metasezgisel algoritmadır [17]. Jaya algoritmasının en önemli özelliklerinden biri parametre bağımsız olmasıdır. Algoritmanın parametre bağımsız olma özelliği sayesinde optimizasyon problemlerine kolay bir şekilde uyarlanabilmektedir. Jaya algoritmasının bir diğer önemli özelliği ise çalışma yapısıdır; konum güncelleme işlemi sırasında belirli bir problemin en iyi çözümü doğru hareket

etme eğilimini arttırırken, aynı zamanda en kötü çözümden kaçarak yerel minimum ya da yerel maksimum çözüme takılmayı önlemek üzerinedir. Bu nedenle hem popülasyondaki en iyi uygunluk değerine sahip çözümü hem de en kötü uygunluk değerine sahip çözümü konum güncelleme aşmasında kullanmaktadır. Aday çözümlerin oluşturulması aşamasında hem en iyi uygunluk değerine sahip konumun hem de en kötü uygunluk değerine sahip konumun kullanılması, arama uzayında keşif ve sömürü mekanizmaları arasında bir denge sağlamaktadır. Bu da çözüm uzayında daha geniş bir arama yapma olanağı sunmaktadır [18]. JAYA'nın sözde kodu Görsel 3'te gösterilmektedir.

```

Rastgele bir başlangıç popülasyonu oluşturun
Her birey için uygunluğu değerlendirin
Yineleme sayacını başlatma t=1
While durdurma koşulu yerine getirilmiyor do
  En iyi bireyi belirleyin  $x_t^{best}$  ve en kötü birey  $x_t^{worst}$ 
  for i=1 to ps do
     $e_i$  Denklem (9)'i kullanarak aday vektör oluşturma
    Aday vektöre uygunluğu değerlendirme  $e_i$ 
    if  $f(c_i) \leq f(x_i)$  then
      Değiştir  $x_i$  ile  $e_i$ 
    end if
  end for
  t=t+1
end while

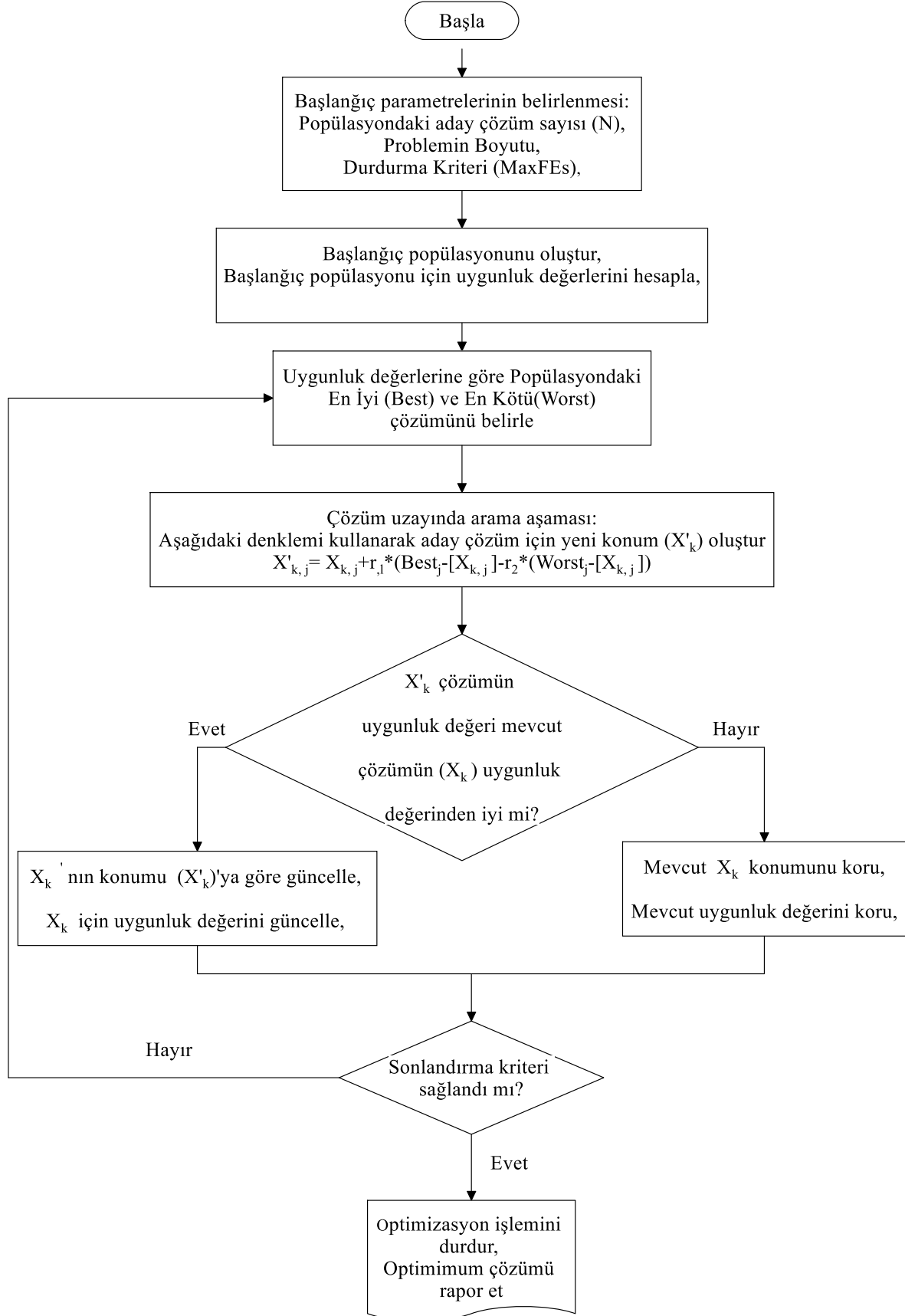
```

Görsel 3. JAYA Algoritmasının Sözde Kodu [19]

Jaya algoritmasının konum güncelleme denklemi Denklem 9'da verilmiştir [20].

$$X_{k,j}' = X_{k,j} + r_1 * (Best_j - \lfloor X_{k,j} \rfloor) - r_2 * (Worst_j - \lfloor X_{k,j} \rfloor) \quad (9)$$

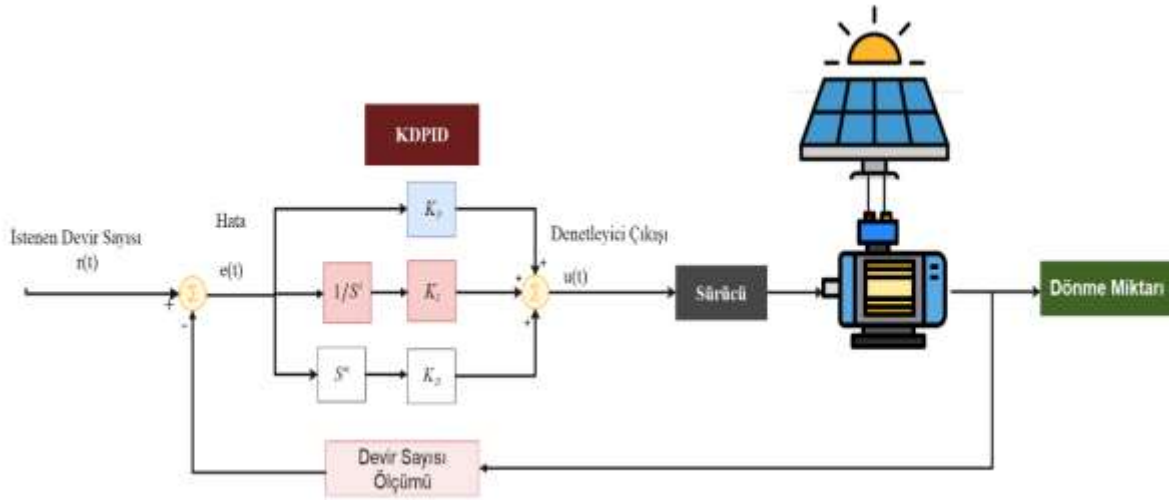
Denklem 8'de verilmiş olan:  $k = (1, 2, \dots, N)$  üzerinde işlem yapılan aday çözümün indisini gösterirken,  $j = (1, 2, \dots, D)$  üzerinde işlem yapılan problemin ilgili boyutunu, *Best* popülasyondaki en iyi uygunluk değerine sahip çözümü, *Worst* ise popülasyondaki en kötü uygunluk değerine sahip çözümü temsil etmektedir. Son olarak  $r_1$  ve  $r_2$  değerleri ise [0,1] arasında oluşturulan rastgele ondalıklı bir değeri göstermektedir. Durdurma kriteri ise maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı (*MaxFEs*) olarak belirlenmiştir. Temel Jaya algoritmasının akış diyagramı Görsel 4'te verilmiştir.



**Görsel 4. JAYA Algoritmasına Ait Akış Diyagramı**

### 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Görsel 5’te benzetimi yapılan sistem görülmektedir. Sistem kuyudan çekilen suyun miktarına göre motorun devir sayısını ayarlayarak küçük bir tarlayı ya da hobi bahçesini sulamaktadır. SMDAM tamamen FVGP’den beslenmektedir. Motorun devir sayısı JOA ile parametreleri belirlenen KDPID kontrolörü ile ayarlanmaktadır.



Görsel 5. Sistemin Yapısı

SMDAM’a ait değerler Çizelge 1’de görülmektedir.

Çizelge 1. Sürekli Mıknatıslı Doğru Akım Motoru Değerleri [21]

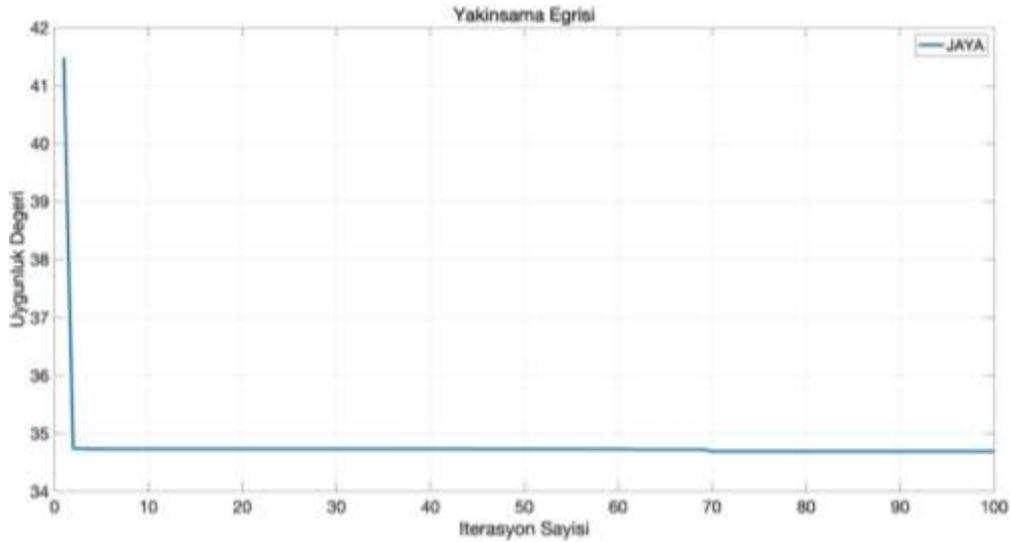
| <u>Değişken</u> | <u>Açıklama</u>          | <u>Değeri</u> | <u>Birimi</u> |
|-----------------|--------------------------|---------------|---------------|
| $R_a$           | Armatür sargı direnci    | 1,4           | Ohm           |
| $L_a$           | Armatür sargı endüktansı | 0,0805        | H             |
| $V_a$           | Besleme gerilimi         | 36            | V             |
| $B_m$           | Sürtünme katsayısı       | 0,000431      | Vs/rad        |
| $J_m$           | Eylemsizlik momenti      | 0,0007432     | kg            |
| $K_m$           | Gerilim sabiti           | 0,095         | V/Rad         |
| $K_t$           | Tork sabiti              | 0,095         | Nm/A          |

Burada 2 adet seri bağlı güneş paneli kullanılmaktadır. Kurulu gücü yaklaşık 300W’dır. FVGP’leri 1000W/m2 güneş ışığı seviyesinde ve 25 °C ortam sıcaklığında çalışmaktadır.



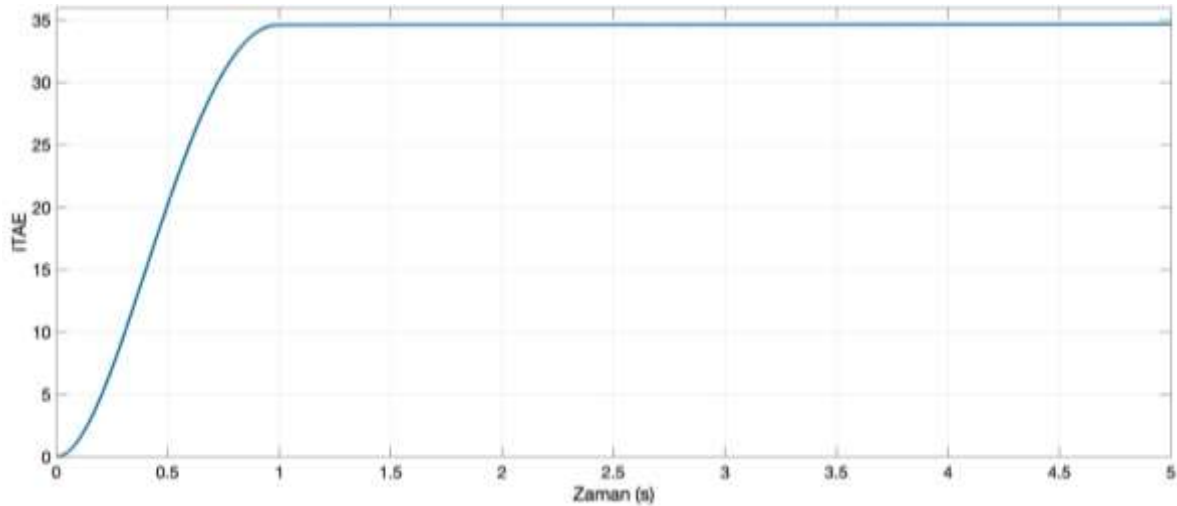
JOA ile yapılan optimizasyonda KDPID kontrolör parametreleri (KP, KI, KD, l, m) 5 değişken, 100 iterasyonda, popülasyon sayısı 20 olacak şekilde çalışmış ve en iyi değerler: KP=30,6684, KI=0,01, KD=0,01, l=0,7401, m=1,1928 olarak bulunmuştur.

Görsel 6'da 100 iterasyonluk JOA'nın arama esnasında elde edilen yakınsama eğrisi görülmektedir. En düşük ITAE değerine 70. iterasyondan sonra ulaşılmaktadır.



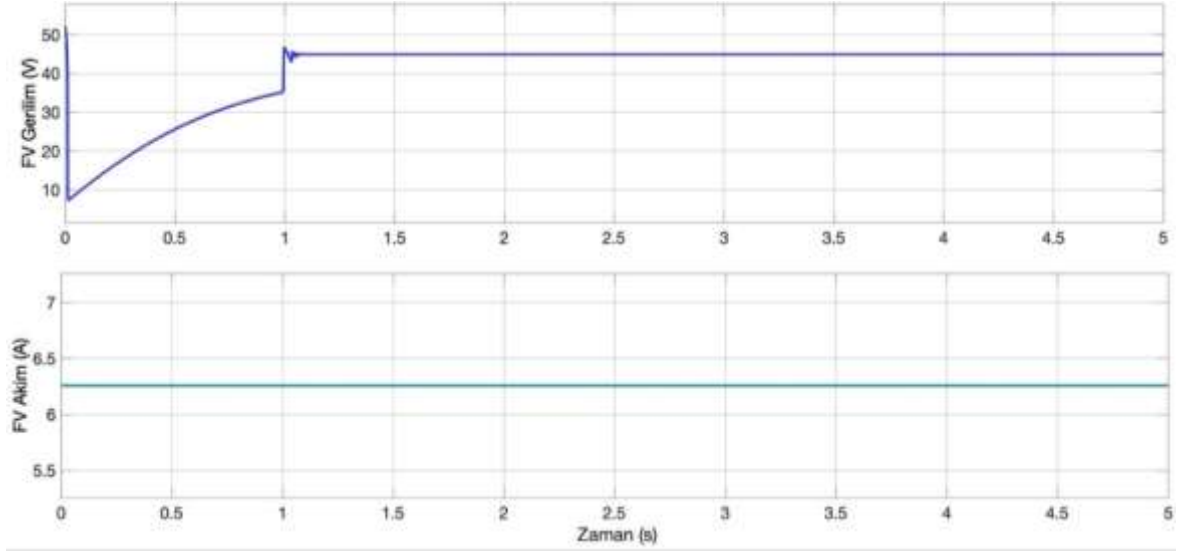
**Görsel 6. Yakınsama Eğrisinin Değişimi**

Görsel 7'de ITAE'nin değişimi görülmektedir. Sürekli durumda 35 değerinde sabit kalmıştır.



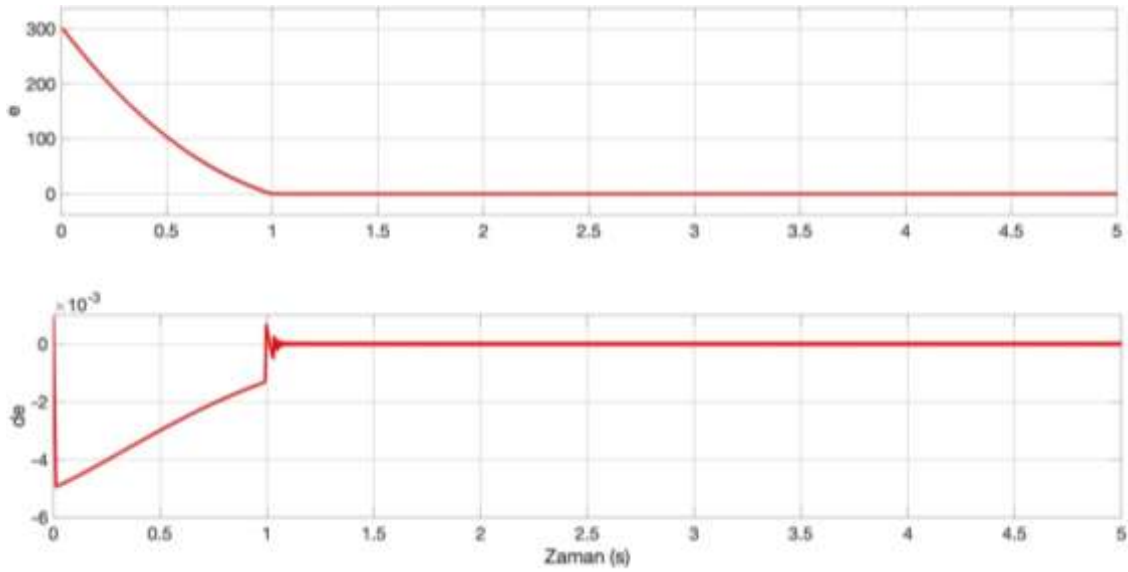
**Görsel 7. ITAE'nin Değişimi**

Görsel 8'de FVGP'nin sisteme verdiği akım ve gerilim değerleri görülmektedir.



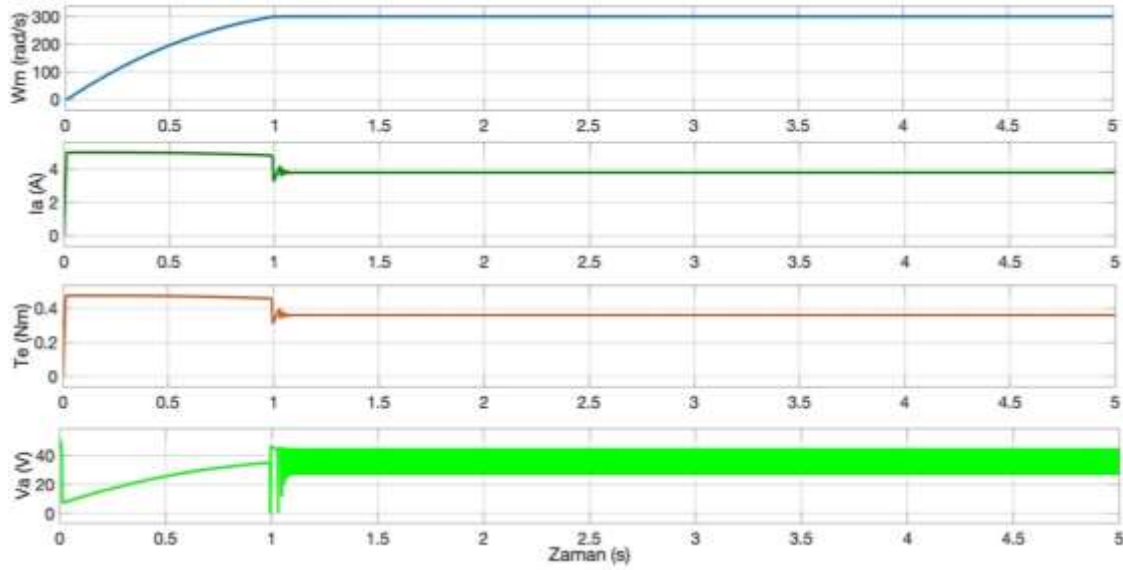
**Görsel 8. FVGP Akım ve Gerilimin Değişimi**

Görsel 9’da KDPID kontrolörde oluşan hatanın ve hata değişiminin miktarını gösteren grafikler görülmektedir. Her iki değerde kontrol amaçlıdır ve sıfıra gitmiştir.



**Görsel 9. KDPID Kontrolör Hata ve Hata Değişiminin Zaman Göre Değişimi**

Görsel 10’da SMDAM’a ait önemli grafikler bir arada görülmektedir. Motorun güneş panellerinden rahatça beslendiği görülmektedir. Motorun hızı 300d/dak’da sabit kalmaktadır.



**Görsel 10. SMDAM'a Ait Açısal Hız, Akım, Moment ve Gerilimin Değişimi**

#### 4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu eserde FVGP'den beslenen bir SMDAM'ın istenen referans hızda dönmesini sağlayan KDPID kontrolörün JOA ile parametrelerinin ayarlanması incelenmektedir.

Elde edilen grafiklerin neticesinde SMDAM'un hız değerinin tam 300d/dak değerinde referans hızda döndüğü görülmüştür. Kontrolör hatası sıfırdır. JOA'nın bulduğu KDPID kontrolör parametreleri oldukça iyi bir şekilde çalışmaktadır. Yakınsama eğrisi incelendiğinde doğru KDPID kontrolör parametrelerine 70. iterasyonda ulaşabildiği görülmüştür. Hatanın  $t=1s$  anından sonra sıfırlanması nedeniyle ITAE 35 değerinde sabit kalmıştır. Kontrolörde oransal denetleyicinin sistemde hakim olduğu gözlenmiştir. Kesir dereceli kısım ise hassas ayarlamaya yardımcı olmuştur.

Kullanılan optimizasyon algoritmasının sonuçları oldukça iyi olmasına rağmen başka optimizasyon algoritmaları da kullanılarak daha iyi sonuçlar bulunabilir. Başka tür PID kontrolörler denenebilir ve içlerinden en ekonomik çözüm tercih edilebilir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Güven, A.F., Samy M.M. Performance analysis of autonomous green energy system based on multi and hybrid metaheuristic optimization approaches, Energy Conversion and Management 269, 116058, 2022.

- [2] Bastin, J., Haribhaskaran, A., Boopathi, K., Krishnan, B., Kumar, R.V., Reddy D.M. Wind characteristics of Tamil Nadu coast towards development of microgrid - A case study for simulation of small scale hybrid wind and solar energy system, *Ocean Engineering*, 277, 114282, 2023.
- [3] Bi, C., Law A.W. Co-locating offshore wind and floating solar farms – Effect of high wind and wave conditions on solar power performance, *Journal of Energy*, 266, 2023.
- [4] Mahitha, U., Devi, G.D., Arputham, S.D., Charanya, M., Kirubakaran V. Field testing of solar PV pumping system implemented for irrigation system, *2015 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2015]*, Nagercoil, India, 1-3, 2015.
- [5] Rai, R., Singh, B., Dudharejiya, D., Jain, C., Modi M. Design and Development of Energy Efficient Induction Motor for Solar PV fed Submersible Water Pump, *3rd International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Clean Energy Technologies*, Shillong, Meghalaya, India, 1-6, 2021.
- [6] Kumar, S., Pandey A.K. Grid Interfaced Solar Water Pumping System Using Induction Motor Drive, *IEEE 2nd International Symposium on Sustainable Energy, Signal Processing and Cyber Security (iSSSC)*, Gunupur, Odisha, India, 1-6, 2022.
- [7] Akbaba, M. Optimization of the Performance of Solar Powered Permanent Magnet dc Motor Drives, *International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics*, Bodrum, Turkey, 725-729, 2007.
- [8] Malarvili, S., Mageshwari, S. Nonlinear PID ( N-PID ) Controller for SSSP Grid Connected Inverter Control of Photovoltaic Systems, *Electr. Power Syst. Res.*, 211, 108175, 2022.
- [9] Yi, Y.S., Chung J.M. Stability Analysis of a Fuzzy Logic Controller for an Uncertain Dynamic System, *Proceedings of IEEE 3rd International Fuzzy Systems Conference*, Orlando, FL, USA, 1028-1034 vol.2, 1994.
- [10] Saloux, E., Candanedo A. Model-based predictive control to minimize primary energy use in a solar district heating system with seasonal thermal energy storage, *Applied Energy*, 291, 2021.
- [11] Xia, T., Zhang, Z., Hong, Z., Huang S. Design of fractional order PID controller based on minimum variance control and application of dynamic data reconciliation for improving control performance, *ISA Transactions* 133, 91–101, 2023.

- [12] Divya, N., Manoharan, S., Arulvadivu, J., Palpandian P. Materials Today : Proceedings  
An efficient tuning of fractional order PID controller for an industrial control process,  
Materials Today: Proceedings, 57, 1654–1659, 2021.
- [13] Pahadasingh, S. TLBO Based CC-PID-TID Controller for Load Frequency Control of  
Multi Area Power System, Odisha International Conference on Electrical Power  
Engineering, Communication and Computing Technology 1–7, 2021.
- [14] Mengi, O.Ö. A five-level H-Bridge STATCOM for an off-grid PV solar farm under two  
controllers PI and PI $\lambda$ -MPC hybrid, Int J Photoenergy, 2018.
- [15] Bal, G., *Doğru Akım Makineleri ve Sürücüler*, Seçkin Yayıncılık, 111-212, 2001.
- [16] Mengi, O.Ö., *Otomatik Kontrol Sistemleri*, Nobel Akademik Yayıncılık, 2022.
- [17] Venkata Rao, R. Jaya: A Simple and New Optimization Algorithm for Solving  
Constrained and Unconstrained Optimization Problems, International Journal of  
Industrial Engineering Computations, 7(1), 19-34, 2016.
- [18] Gavrilovic, N., Sibalija, T., Domazet D. Design and Implementation of Discrete Jaya  
and Discrete PSO Algorithms for Automatic Collaborative Learning Group  
Composition in an E-Learning System, Applied Soft Computing, 129, 109611, 2022.
- [19] Güven, A.F., Yörükeren, N., Samy M.M. Design Optimization of a Stand-Alone Green  
Energy System of University Campus Based on Jaya-Harmony Search and Ant Colony  
Optimization Algorithms Approaches, Energy, 253, 2022.
- [20] Zhang, Y., Chi, A., Mirjalili S. Enhanced Jaya Algorithm: A Simple but Efficient  
Optimization Method for Constrained Engineering Design Problems, Knowledge-Based  
Systems, 233, 10755, 2021.
- [21] Sharaf, A.M., Elbakush, E., Altas I.H. An error driven PID controller for maximum  
utilization of photovoltaic powered PMDC motor drives, Can Conf Electr Comput Eng,  
129–32, 2007.