

# Güve-Ateş Optimizasyon Algoritması (MFO) ile Gerilim Odaklı Kontrolcü (VOC) Optimizasyonu

## VOC Controller Optimization with Moth-Flame Optimization Algorithm

*Burak YAPICI<sup>1</sup>, Hasan TIRYAKI<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, İstanbul  
{burakkyapici}@gmail.com

<sup>2</sup>Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, İstanbul  
{hasan.tiryaki}@iuc.edu.tr

### Özetçe

Bu makale, güve-ateş optimizasyonu (MFO) yönteminin gerilim odaklı kontrol (VOC) tasarımı yapısının optimizasyonunu ele almaktadır. Model olarak Altı Anahtarlı doğrultucu kullanılmış ve PI katsayılarının optimizasyonu dış döngüden tek bir hata geribeslemesi kullanılarak yapılmıştır. Sistemin dinamik cevaplarını incelemek için Matlab/Simulink ortamında benzetimi yapılmıştır. Elde edilen veriler, metahüristik yöntemlerden; Yapay arı kolonisi optimizasyon algoritması (ABC), parçacık sürüsü optimizasyon algoritması (PSO), atom arama optimizasyon algoritması (ASO), coronavirus sürü bağışıklığı optimizasyon algoritması (CHIO) ve salp sürüsü optimizasyon algoritması (SSA) ile karşılaştırılmış ve en optimum sonucun MFO ile elde edildiği görülmüştür.

### Abstract

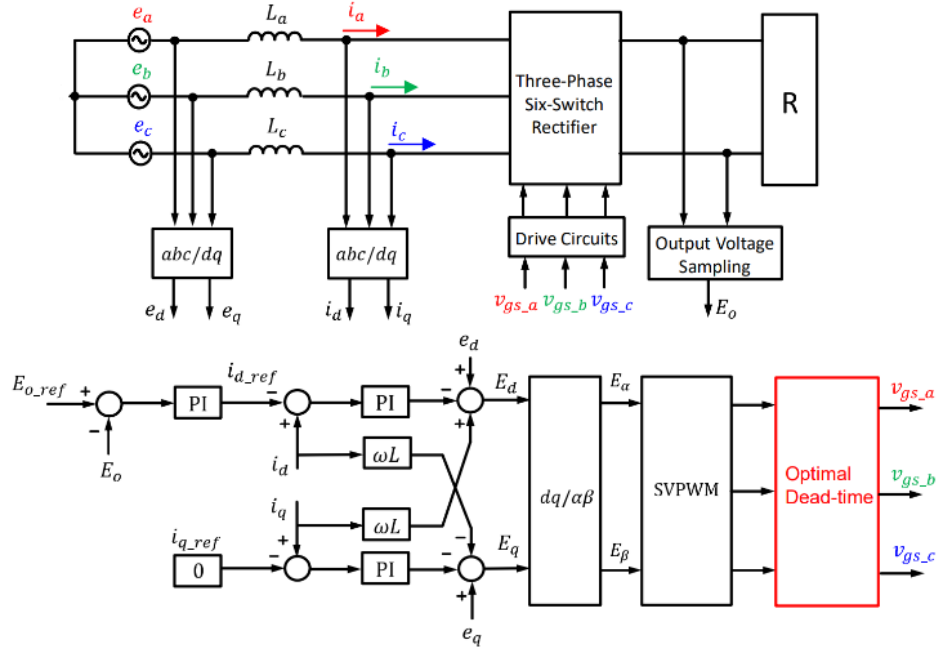
This article discusses the use of moth-flame optimization (MFO) method for voltage oriented controller (VOC). Six-Switch rectifier is used as the model and the optimization of the PI coefficients is done using a single error feedback from the outer loop. To examine the dynamic responses of the system, it is simulated in Matlab/Simulink. The data obtained are compared with metahuristic methods; Artificial bee colony optimization algorithm (ABC), particle swarm optimization algorithm (PSO), atom search optimization algorithm (ASO), coronavirus herd immunity optimization algorithm (CHIO) and salp swarm optimization algorithm (SSA). It is seen that the optimum result is obtained with MFO.

### 1. Giriş

Günümüzde enerjiye olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Çözüm olarak ise, çeşitli kaynaklardan enerji üretimleri sağlanmaktadır. Örnek vermek gerekirse rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, fosil yakıtlar vb. Fakat bunun yanında önemli olan bir nokta da varolan enerjiyi verimli şekilde kullanabilmektir. Güç faktörü düzeltme devreleri bu amaçta önemli roller oynamakta, üretilen ve tüketilen enerjiyi yakın tutarak verimliliğe katkı sağlamaktadır[1]. Güç faktörü düzeltme devrelerinde en yaygın kullanılan kontrol yöntemi ise Şekil 1'de görülen gerilim odaklı kontrolcü (VOC) yapısıdır[2]. Yapı içerisinde bulunan denetleyiciler akım ve gerilimin kontrollerini sağlamaktadırlar. Metahüristik yöntemler bu noktada devreye girmekte, denetleyicilerin parametrelerinin hesaplanması için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada model olarak altı-anahtarlı doğrultucu kullanılmıştır[3]. Model üzerinde, yapay arı kolonisi optimizasyon algoritması (ABC)[4], parçacık sürüsü optimizasyon algoritması (PSO)[5], atom arama optimizasyon algoritması (ASO)[6], coronavirus sürü bağışıklığı optimizasyon algoritması (CHIO)[7], salp sürüsü optimizasyon algoritması (SSA)[8] ve güve-ateş optimizasyon algoritması(MFO)[9] gibi çeşitli metahüristik yöntemler denenmiştir. En uygun yöntemin güve-ateş optimizasyonu olduğuna karar verilmiş ve önerilen yöntem olarak bahsedilmiştir.

Güve-ateş yöntemi literatürde ayrıca farklı modellerde de kullanılmıştır. Bahsedilen çalışmada, DC-DC SEPIC sistemin optimizasyonu için kullanılmış, klasik yöntemlerle kıyaslanmış ve daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir[10]. Bir diğer çalışmada, otomatik gerilim regülatörünün optimizasyonu için genetik algoritma (GA), parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), büyük patlama büyük çöküş optimizasyon algoritması (BB-BC) ve güve-ateş optimizasyon algoritmaları kullanılmış, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve güve-ateş optimizasyon algoritmasının daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir[11].



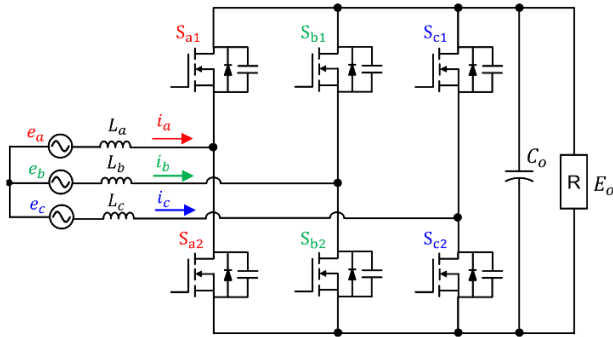
Şekil 1: Uzak vektör modülasyonu (SVPWM) üç fazlı altı anahtarlı doğrultucu modeli.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Altı Anahtarlı Yükseltici Tip Doğrultucu

Üç fazlı doğrultucuların temel modülasyon yöntemleri, uzak vektörü genişlik modülasyonu (SVPWM) [12]-[14] veya taşıyıcı tabanlı genişlik modülasyonu (CBPWM)'dur. Şekil 1'de yükseltici tip altı anahtarlı doğrultucu modeli görülmektedir. Bu modelde anahtarlama süreleri uzak vektör darbe genişlik modülasyonu ile ayarlanır ve sistemin kontrolü gerilim odaklı kontrolcü yapısı ile yapılmaktadır[12].

Şekil 2'de ise anahtarlama elemanları detaylı şekilde görülmektedir.



Şekil 2: Altı anahtarlı yükseltici tip doğrultucu.

Şekil 2'deki model üç fazlı nötrüzsüz bir sistemdir. SVPWM ile kontrol edilen seviye 2 doğrultucu olarak da bilinmektedir.

Uzak vektör modülasyon yöntemiyle sistemin kontrol edilebilmesi için sistemin girişinden ve çıkışından örnekler alın-

ması gerekmektedir.

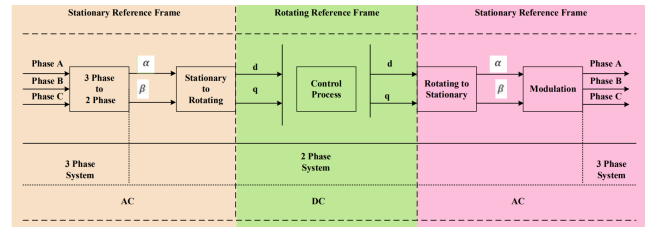
Sistem girişinden alınan gerilim ( $e_d, e_q$ ) ve akım örnekleri ( $i_d, i_q$ ) Şekil 3'de görülen yapı gereği eşitlik (1) ve eşitlik (2) ile Alpha-Beta ve dq0 düzlemlerine dönüştürülür[15].

$$\begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \\ u_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ 0 & -\frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} u_d \\ u_q \\ u_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\omega t) & \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\omega t) & -\sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

$$x \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

Bu işlemler ile birlikte 2 bilinmeyenli bir düzleme geçiş yapılır.



Şekil 3: Gerilim odaklı kontrolcü (VOC) alan dönüşümleri[15].

VOC diyagramında iç ve dış döngüler bulunmaktadır. Dış döngü gerilimi, iç döngü akımını kontrol etmektedir. VOC opti-

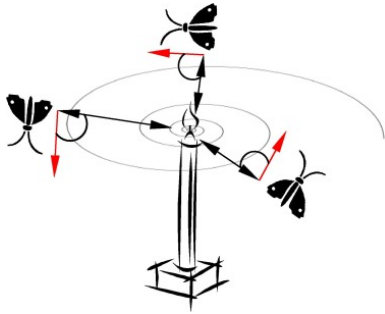
mize edilmek istendiğinde ilk olarak  $i_{d\_ref}$ 'in kontrolünü sağlayan PI, daha sonrasında  $i_{q\_ref}$ 'in kontrolünü sağlayan PI optimize edilir. Bu iki PI iç döngü kontrolçüleridir. Son olarak  $E_{o\_ref}$ 'in kontrolünü sağlayan PI optimize edilir, dış döngü denetleyicisidir. Model ABC, PSO, ASO, CHIO, SSA ve MFO yöntemleri ile PI kontrolçülerin parametrelerinin optimizasyonu sağlayabilmek amacıyla MATLAB üzerinde simule edilmiş ve en başarılı sonuç MFO yöntemi ile elde edilmiştir. Önerilen yöntem olan MFO'nun çalışma prensibi ise aşağıda anlatılmıştır.

## 2.2. Güve-Ateş Optimizasyon Algoritması (Önerilen Yöntem)

Doğadan esinlenerek modellenen algoritmalar, belirlenen arama uzayları içinde optimum sürede çözüme yakın değerler verebilen yöntemlerdir. Bu algoritmalar görevini yerine getirebilmek için amaç fonksiyonlarına ihtiyaç duyarlar. Literatürde kullanılan çeşitli amaç fonksiyonları vardır[16]. Bunlardan en yaygın kullanılanları, hatanın karesinin integrali (ISE), zaman ağırlıklı hatanın karesinin integrali (ITSE) ve hatanın mutlak değerinin integrali (IAE)'dir. Şekil 6'da görüldüğü gibi bu çalışmada IAE kullanılmıştır.

$$\int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (3)$$

Güve-Ateş optimizasyonu(GAO), güve kelebeklerinin ışık etrafındaki hareketlerinden esinlenerek oluşturulmuş optimizasyon algoritmasıdır. Işık kaynağına ulaşmak için oluşturdukları spiral hareket güzergahı Şekil 4.'de görülmektedir.



Şekil 4: Güve kelebeği yörüngesi.

GAO, iteratif ve popülasyona dayalı bir algoritmadır. Popülasyondaki her güve bir çözümü ifade ederken, güvelerin konumları problemin boyutunu ifade etmektedir. Algoritmanın çalışma akış diyagramı Şekil 5'de görüldüğü gibi başlangıcında ilk adım popülasyon sayısının ve iterasyon sayısının belirlenmesi gerekir, daha sonrasında arama uzayı sınırları ve sabit değişkenler belirlenir. Bu işlemin ardından arama uzayı sınırları içerisinde güvelere rastgele değişken konumlar atanır. Konumları belirlenen güvelerin amaç fonksiyonuna uygulanmasıyla uygunluk değerleri belirlenir. Bu adımda arama uzayı içerisinde bulunan ateş sayısının belirlenmesi denklem (4) ile yapılır[9].

$$AS = \text{round}(N - l) \frac{N - 1}{T} \quad (4)$$

N= güve sayısını, l= o anki iterasyon sayısını, T= toplam

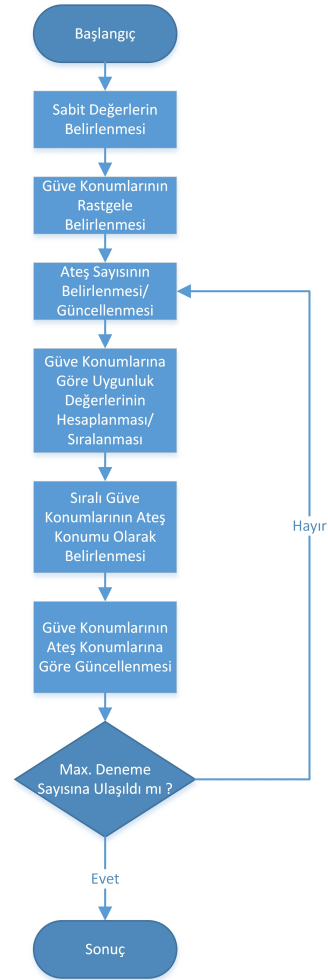
iterasyon sayısını temsil eder. Uygunluk değerlerine göre en iyiden en kötüye sıralanan güve konumları ateş konumu olarak atanır. Bu konumlar referans alınarak, güve konumları denklemlere göre (5)(6) güncellenir.

$$D_i = |F_j - M_i| \quad (5)$$

$F_j$  ışık kaynağı konumunu,  $M_i$  güve konumunu,  $D_i$  ateş ile güve arasındaki mesafeyi temsil etmektedir.

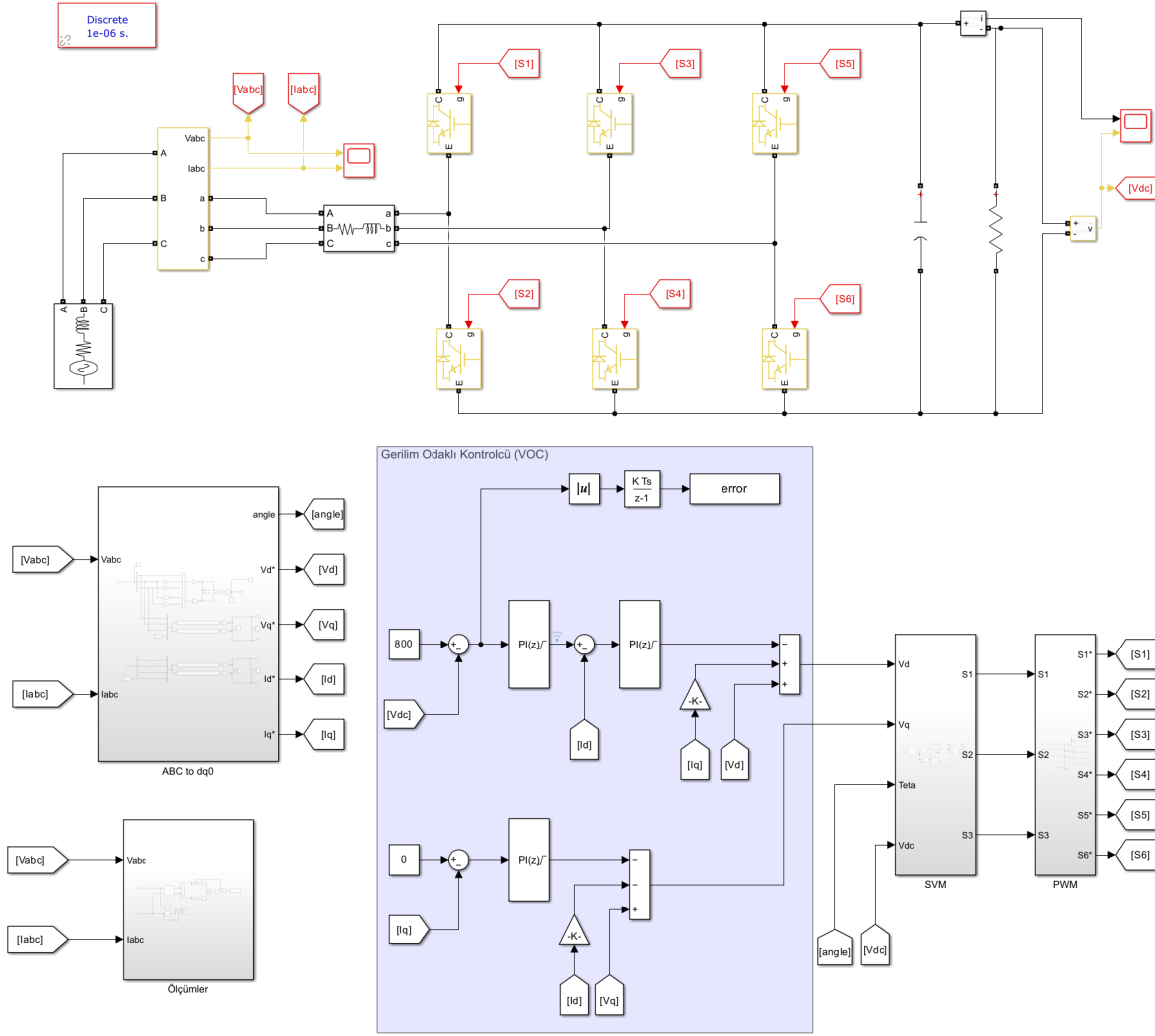
$$S(M_i, F_j) = D_i e^{bt} \cos(2\pi t) + F_j \quad (6)$$

$S$  güvelerin izleyeceği yörünge etrafındaki konumunu,  $b$  güvenin spiral hareketini ifade eden kat sayıyı,  $t$  [-1,1] arasında değişen ateş konumuna yakınlığını belirtir. Algoritma tek bir ateş kaynağı kalana kadar arama yapılmaktadır.



Şekil 5: Güve-Ateş algoritması akış diyagramı[17].

Şekil 5'de görüldüğü gibi maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında uygunluk derecesi en iyi olan ateş konumunda bütün güveler tarafından hassas bir şekilde arama yapmaları sağlanır ve en son kalan ateş konumu algoritma çıktısı olarak atanır.



Şekil 6: MATLAB üzerinde modelin benzetimi.

### 3. Bulgular

Sistem MATLAB üzerinde kurulmuştur. Modelin ve kontrolcünün benzetimi Şekil 6'da görülmektedir. Oluşturulan modelin parametreleri aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Tablo 1: Benzetim parametreleri

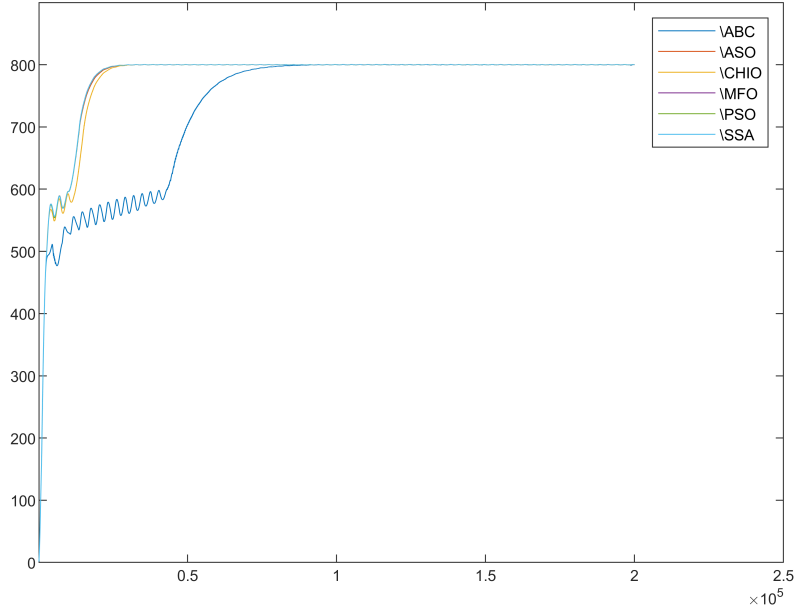
1	Nominal Güç	5 KW
2	Nominal Gerilim	440 V RMS
3	Frekans	60 Hz
4	Çıkış Gerilimi	800 V DC
5	İterasyon Sayısı	20
6	Kp için Arama uzayı	[ 1 10 ]
7	Ki için Arama uzayı	[ 100 1000 ]

Sistem modern optimizasyon yöntemlerinden ABC, PSO, ASO, CHIO, SSA ve MFO ile simule edilmiştir. Her bir yöntemin sonucu Şekil 7'de görülmektedir. Bu sonuçları veren değerler ise Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2: Optimizasyon sonuçlarına göre elde edilen Kp Ki değerleri.

Yöntem	Kp	Ki
ABC	1.96	168.01
PSO	3.87	995.53
ASO	4.04	997.67
CHIO	3.41	826.64
SSA	3.90	999.77
MFO	3.87	1000.00

Tablo 3'de elde edilen sonuçlara "Yükselme Zamanı ( $\mu$ s)" olarak bakıldığında en iyi sonucun "MFO Yöntemi" ile edildiği, sonuçlara "Oturma Zamanı ( $\mu$ s)" olarak bakıldığında en iyi sonucun "MFO Yöntemi" ile edildiği, sonuçlara "Aşma Değeri (%)" olarak bakıldığında en iyi sonucun "SSA Yöntemi" ile edildiği, sonuçlara "Benzetim Süresi (s)" olarak bakıldığında en iyi sonucun "MFO Yöntemi" ile edildiği görülmüştür. Ancak kullanılan modelin kontrolünde hızlı



Şekil 7: Optimizasyon yöntemlerinin sonuçlarının grafik karşılaştırması.

Tablo 3: Benzetim sonuçları.

Yöntem	Yükselme Zamanı ( $\mu$ s)	Oturma Zamanı ( $\mu$ s)	Aşma Değeri (%)	Benzetim Süresi (s)
ABC-PI	51060	65714	0,1101	36142,48
PSO-PI	13705	19408	0,0449	12396,65
ASO-PI	13820	19889	0,0434	7908,86
CHIO-PI	15322	21296	0,0441	5075,45
SSA-PI	13963	19441	0,0410	9019,37
MFO-PI	13667	19346	0,0501	4668,60

oturma büyük önem arz ettiği için MFO yönteminin genel olarak en iyi sonuca sahip olduğu kabul edilmiştir.

Tablo 3'deki sonuçlar yüzdesel olarak incelendiğinde MFO yönteminin "Yükselme Zamanı ( $\mu$ s)" olarak kendisine en yakın olan PSO yönteminden %0.27 daha hızlı olduğu, "Oturma Zamanı ( $\mu$ s)" olarak bakıldığında kendisine en yakın olan PSO yönteminden %0,32 daha hızlı olduğu, "Aşma Değeri (%)" olarak bakıldığında SSA yönteminden %18.16 daha fazla olduğu, "Benzetim Süresi (s)" olarak bakıldığında kendisine en yakın olan CHIO yönteminden %8.71 daha kısa sürdüğü görülmüştür. Sonuç olarak söz konusu modelin kontrolünde MFO yönteminin en iyi sonucu verdiği belirlenmiştir.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada Altı Anahtarlı Yükseltici tip doğrultucu modeli kullanılarak, modelin gerilim odaklı kontrolcü katının optimizasyonu Güve-Ateş Optimizasyon Algoritması ile dış döngüden hata sinyali örneklenip, iç ve dış döngülerin tek bir işlemde optimize edilmesi performansı incelenmiştir.

Yapılan benzetimler ile Şekil 7'deki gibi olumlu sonuçlar elde edilmiş ve modele uygulanan optimizasyon yöntemlerinin

den; ABC, PSO, ASO CHIO ve SSA'nın da sistemi optimize edebildiği görülmüştür. Bu sonuçlar içerisinde en başarılı yöntemin MFO yöntemi olduğu belirlenmiştir.

İleride modelin tüm döngülerinin makine öğrenmesi yöntemleri ile optimize edilmesi üzerine çalışmalar yapılması düşünülmektedir. Ayrıca gerilim odaklı kontrolcü yapısındaki iç ve dış döngülerinden ayrı ayrı hata sinyalleri alıp kompakt bir yazılım kodu ile sistemin sırasıyla optimize edilmesi düşünülmektedir.

#### 5. Kaynakça

- [1] L. X. Zhou, Z. D. Yin, X. N. Xiao, Z. Q. Wang and L. Zheng, "Study on power factor through the similarity of waveform," *2008 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, Singapore, pp. 1534-1537, 2008,
- [2] G. Rajendran, C. A. Vaithilingam, N. Misron, K. Naidu and M. R. Ahmed, "Voltage Oriented Controller Based Vienna Rectifier for Electric Vehicle Charging Stations," *in IEEE Access*, Vol. 9, Issue 11, pp. 50798-50809, 2021,

- [3] L. Huber, M. Kumar and M. M. Jovanović, "Performance Comparison of Three-Step and Six-Step PWM in Average-Current-Controlled Three-Phase Six-Switch Boost PFC Rectifier," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 31, no. 10, pp. 7264-7272, Oct, 2016,
- [4] Tiryaki H., "Modern Kontrol Yöntemlerinin Yük Dağıtım Sistemlerinde Uygulanması" *İstanbul Üniversitesi F.B.E Doktora Tezi*, İstanbul, Aralık, 2013
- [5] Y. Shi and R. Eberhart, "A modified particle swarm optimizer," *1998 IEEE International Conference on Evolutionary Computation Proceedings. IEEE World Congress on Computational Intelligence (Cat. No.98TH8360)*, Anchorage, AK, USA, pp. 69-73, 1998,
- [6] Pu Sun, Hao Liu, Yong Zhang, Liangping Tu, Qingyao Meng, "An intensify atom search optimization for engineering design problems," *Applied Mathematical Modelling*, Volume 89, Part 1, Pages 837- 859, 2021,
- [7] M. A. Al-Betar, Z. A. A. Alyasseri, M. A. Awadallah, and I. Abu Doush, "Coronavirus herd immunity optimizer (CHIO)," *Neural Comput. Appl.*, Vol. 33, No. 10, pp. 5011–5042, 2021,
- [8] Seyedali Mirjalili, Amir H. Gandomi, Seyedeh Zahra Mirjalili, Shahrzad Saremi, Hossam Faris, Seyed Mohammad Mirjalili, "Salp Swarm Algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems," *Advances in Engineering Software*, Volume 114, Pages 163-191, 2017,
- [9] S. Mirjalili, "Moth-Flame Optimization Algorithm: A Novel Nature-inspired Heuristic Paradigm," *Knowledge-Based Systems (2015)*,
- [10] Elvin Yusubov, Lala Bekirova, "A Moth-Flame Optimized Robust PID controller for a SEPIC in Photovoltaic Applications," *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 55, Issue 11, pp. 120-125, 2022,
- [11] K. S. Narendra and K. Ajay Dixit, Mahesh Lokhande, Pragati joshi, "Optimization of Automatic voltage regulator using Moth Flame optimization algorithm," *International Journal of Engineering Development and Research (IJEDR)*, ISSN:2321-9939, Vol.4,
- [12] Ming-Tsung Tsai and W. I. Tsai, "Analysis and design of three-phase AC-to-DC converters with high power factor and near-optimum feedforward," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 46, no. 3, pp. 535-543, 1999,
- [13] H. Wu, J. Wang, T. Liu, T. Yang and Y. Xing, "Modified SVPWM-Controlled Three-Port Three-Phase AC-DC Converters With Reduced Power Conversion Stages for Wide Voltage Range Applications," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 33, no. 8, pp. 6672-6686, 2018,
- [14] J. -S. Lee, K. -B. Lee and F. Blaabjerg, "Predictive Control With Discrete Space-Vector Modulation of Vienna Rectifier for Driving PMSG of Wind Turbine Systems," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 34, no. 12, pp. 12368-12383, 2019,
- [15] G. Rajendran, C. A. Vaithilingam, K. Naidu, A. A. Alsakati and H. Ahmad, "PSO-Based PI Controller for Voltage-Oriented Controller based Vienna Rectifier for Electric Vehicle Charging Stations," *2021 IEEE 19th Student Conference on Research and Development (SCO-ReD)*, Kota Kinabalu, Malaysia, pp. 356-361, 2021,
- [16] Sezer K. S., Bayhan N. "Doğadan Esinlenen Optimizasyon Algoritmaları Tabanlı Kesir Dereceli PID Denetleyicilerle Kontrol Edilen Bir Santral Modelinin Performansının İncelemesi," *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* , pp. 383-397, 2021,
- [17] Sezer, K. S. (2021), Metasezgisel Algoritmalarla Optimize Edilmiş Kesir Dereceli PID kontrolörler ile Gaz Türbin Elektrik Santralinin Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.