



KAOTİK PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU KULLANARAK EKONOMİK YÜK DAĞITIMI PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

İbrahim EKE^{1*}, Mustafa SAKA², Süleyman Sungur TEZCAN³

¹ Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

² İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye

³ Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Ekonomik Yük Dağıtımı,
CPSO,
İletim Hattı Kayıpları.*

Öz

Güç sistemlerinde enerji üretim maliyetlerinin azaltılması amacıyla gerçekleştirilen çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle günümüzdeki güç sistemleri için ekonomik yük dağıtımı önemli bir konudur. Ekonomik yük dağıtımı (EYD), güç sistemlerinin minimum maliyet ile çalıştırılabilmesi için her bir üretim ünitesinin ne kadar güç üretmesi gerektiğinin belirlenmesinin planlanmasıdır. Elektrik üretim birimleri arasında ekonomik yük dağıtımı yapılması, ucuz elektrik üretmeye yardımcı olması açısından oldukça önemlidir. Sezgisel optimizasyon yöntemleri birçok mühendislik probleminde olduğu gibi ekonomik yük dağıtımı için de kullanılmaktadır. Problemin kısıtları ve karmaşıklığına göre optimizasyon yöntemlerinin performansı da değişmektedir. Bu çalışmada, Kaotik Parçacık Sürü Optimizasyonu (CPSO) ile ekonomik yük dağıtımı probleminin çözümü amaçlanmıştır. CPSO, 6 üretim ünitesine sahip bir test sistemine uygulanmıştır. İletim hattı kayıplarının dâhil edildiği ve edilmediği durumlar ayrı ayrı analiz edilmiştir. CPSO ile elde edilen sonuçlar, literatürde yer alan Yapay Arı Kolonisi (YAK) ve Diferansiyel Gelişim Optimizasyonu (DGO) metotları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin ekonomik yük dağıtımı problemlerinde kullanılabilirliğini ve etkinliği göstermiştir.

SOLUTION OF THE ECONOMIC LOAD DISPATCH PROBLEM USING CHAOTIC PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Keywords

*Economic Load Dispatch,
CPSO,
Transmission Line Losses.*

Abstract

Efforts to reduce energy generation costs in power systems are increasing day by day. Therefore, economical load dispatch is an important issue for today's power systems. Economic load dispatch (EYD) is the planning of determining how much power each generation unit should produce in order to operate power systems with minimum cost. Economic load dispatch among electricity generation units is very important in terms of helping to generate cheap electricity. Heuristic optimization methods are used for economical load dispatch as well as for many engineering problems. The performance of optimization methods also changes according to the constraints and complexity of the problem. In this study, it is aimed to solve the economic load dispatch problem with Chaotic Particle Swarm Optimization (CPSO). Particle Swarm Optimization is applied to a test system with 6 generation units. Cases with and without transmission line losses are analyzed separately. The results obtained with CPSO are compared with Artificial Bee Colony (ABC) and Differential Evolution Optimization (DEO) methods in the literature. The obtained results showed the usability and effectiveness of the proposed method in economic load dispatch problems.

Alıntı / Cite

Eke, İ., Saka, M., Tezcan, S.S. (2023). Kaotik Parçacık Sürü Optimizasyonu Kullanarak Ekonomik Yük Dağıtımı Probleminin Çözümü, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 957-965.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

İ. Eke, 0000-0003-4792-238X
M. Saka, 0000-0003-4157-2980
S. S. Tezcan, 0000-0001-6846-8222

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	08.08.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	24.07.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	16.08.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: eke@kku.edu.tr, +90-318-357-42-42

SOLUTION OF THE ECONOMIC LOAD DISPATCH PROBLEM USING CHAOTIC PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

İbrahim EKE^{1†}, Mustafa SAKA², Süleyman Sungur TEZCAN³

¹ Kırıkkale University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics Engineering, Kırıkkale, Türkiye

² İskenderun Technical University, Faculty of Engineering and Naturel Sciences, Department of Electrical and Electronics Engineering, Hatay, Türkiye

³ Gazi University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Ankara, Türkiye

Highlights

- Chaotic Particle Swarm Algorithm is applied to the economic load dispatch problem of six generation unit system.
- Analyzes are performed with and without transmission line losses.
- The effect of Chaotic Particle Swarm Algorithm on economic load dispatch problem is shown and the founded outputs are compared with Artificial Bee Colony Algorithm and Differential Evolution Optimization Algorithm.

Graphical Abstract

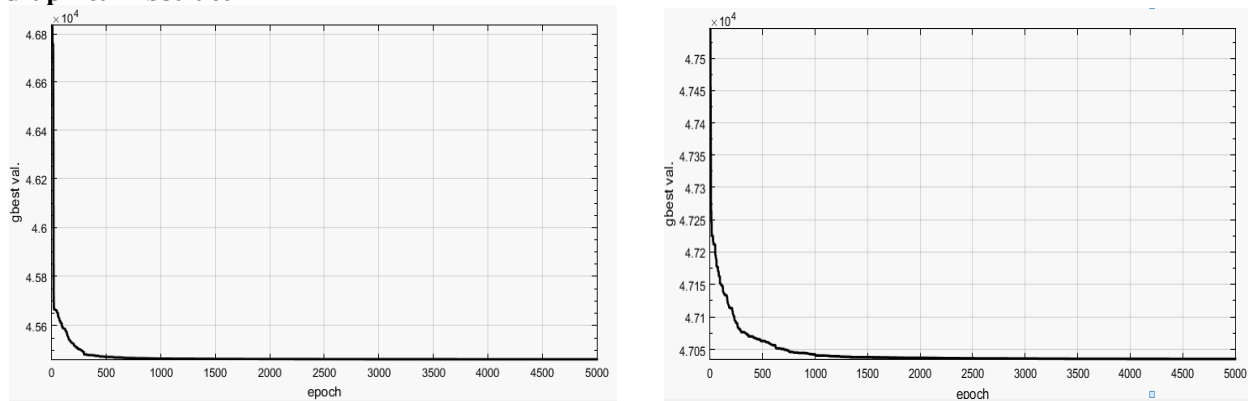


Figure. Fuel cost change graph during iteration (left; without transmission line losses, right; with transmission line losses)

Purpose and Scope

The main goal of this study is minimized the fuel cost of six-unit generation system considering with and without transmission line losses.

Design/Methodology/Approach

Chaotic Particle Swarm Algorithm is used in order to found optimal results.

Findings

For the case of neglected transmission line losses, total fuel cost value is found as 45463.5229 \$ with CPSO and it is less than ABC and DEO. For the case of including transmission line losses, lower transmission line loss power value is found as 31.7561MW with CPSO than ABC and DEO. In addition, lower fuel cost value is found as 47035.2799\$ than ABC.

Originality

In this study, Chaotic Particle Swarm Algorithm is selected for economic load dispatch problem of six-unit generation system with and without transmission line losses and its outputs are compared with the literature results.

[†] Corresponding author: eke@kku.edu.tr, +90-318-357-42-42

1. Giriş (Introduction)

Ekonomik yük dağıtımı, bir güç sisteminden talep edilen enerjinin, en düşük maliyetle karşılanması için üretim birimleri arasındaki üretim miktarının paylaşımını yapmayı ifade etmektedir. Bu paylaşım yapılırken üretim birimlerinin alt ve üst sınırları ve hat kayıplarını dikkate almak daha gerçekçi sonuçlara ulaşmak açısından oldukça önemlidir. Güç sistemlerinde EYD problemlerinin çözülmesi için çeşitli optimizasyon metotları kullanılmıştır. PSO, YAK ve DGO yöntemleri ile EYD problemi, 6 ve 40 jeneratörlü test sistemlerinde uygulanmış, rüzgâr enerji santralleri olan iletim hattı kayıplarını içeren durumlar incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır (Çetin ve Daldaban, 2012). EYD problemi, Türkiye'deki 380 kV'luk 22 baralı 8 jeneratörlü güç sistemi için, Genetik Algoritma (GA) ve YAK optimizasyon algoritması kullanılarak incelenmiştir (Arslan, 2015). EYD problemi, DGO ve PSO algoritmalarını kullanarak, 3, 6 ve 8 jeneratörlü sistemler için çözülmüştür (Eminoğlu ve Karahan, 2017). GA ile Türkiye'deki 380 kV, 6 adet termik santral ve 14 baralı sistem için EYD analizi yapılmıştır (Döşoğlu vd., 2009). Yapay İşbirlikçi Algoritması ile 13 ve 40 jeneratörlü sistemlerin EYD analizi yapılmıştır (Turgut ve Demir, 2017). IEEE 6 jeneratörlü 30 baralı test sisteminde, PSO ile, çevresel EYD problemi hem hat kayıpları ihmal edilerek hem de hat kayıplarını dâhil edilerek çözülmüştür (Özyön vd., 2011). PSO ile GA ve DGO performansları, test fonksiyonları kullanılarak karşılaştırmışlardır, yakınsama hızı en yüksek PSO'da bulunmuştur (Özsağlam ve Cunkaş, 2008). Üretim ünitelerinin alt ve üst limitleri, istenilmeyen çalışma bölgeleri, maliyet fonksiyonları gibi lineer olmayan birçok karakteristik dikkate alınarak, 6 ve 15 jeneratörlü test sistemi için EYD problemi çözülmüştür (Gaing, 2003). Geleneksel PSO 'dan farklı bir yaklaşımla, mutasyon operatörleri uygulayarak, EYD problemini 6 jeneratörlü test sisteminde çözülmüştür (Khamsawang ve Jiriwibhakorn, 2009). PSO ile EYD probleminde, 3 ve 6 jeneratörlü sistemlerde hat kayıplarını da dâhil edilerek çözüm bulunmuştur (Hardiansyah vd., 2012).

Bu çalışmada, 6 jeneratörlü enerji sistemi model olarak kullanılmıştır. Bu sistemin EYD analizi, eylemsizlik ağırlık katsayısı içeren ve rastgele değişkenler yerine kaotik harita kullanan PSO algoritması kullanılarak iletim hattı kayıplarının dahil edildiği ve edilmediği durumlar için gerçekleştirilmiştir.

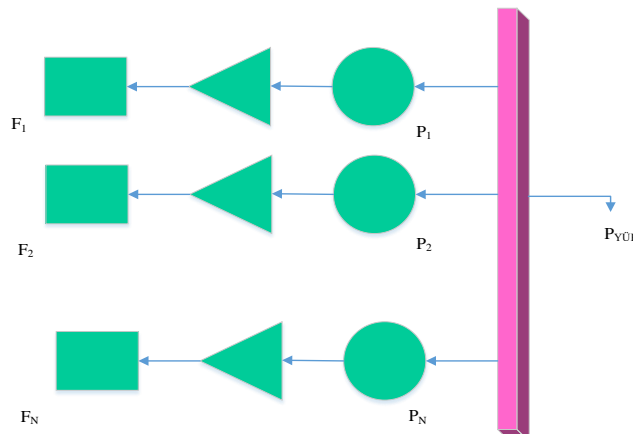
2. Problemin Tanımı (Definition of Problem)

Bir elektrik üretim santralini minimum maliyetle çalıştırabilmek için iletim hattı kayıpları ve yakıt maliyetleri minimum olmalıdır. Bu nedenle, her santralin ne kadar üretim yapacağı hesaplanarak toplam maliyet azaltılır. Üretim birimi tarafından üretilen güç ve yakıt maliyeti arasındaki ilişki Eş. 1'deki gibi gösterilir (Saadat, 1999).

$$F_i = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \quad (1)$$

- F_i = i. üretim ünitesinin enerji üretim maliyeti
 a_i, b_i, c_i = i. üretim ünitesinin yakıt maliyet katsayıları
 P_i = i. üretim ünitesinin ürettiği güç

Aşağıdaki şekilde N adet üretim ünitesinin tek bir baraya bağlanarak, bu bara üzerinden sistemdeki $P_{yük}$ güç talebini karşılaması gösterilmiştir. Burada F_i ($i=1, 2, \dots, N$), ilgili üretim ünitesine ait yakıt maliyet fonksiyonunu temsil etmektedir. Ayrıca, her bir üretim ünitesi tarafından üretilen güç miktarı P_i ($i=1, 2, \dots, N$) ile temsil edilmektedir. Sistemde oluşan toplam yakıt maliyeti, her bir üretim ünitesinin maliyetinin toplamına eşittir. Ayrıca bu sistemler için, üretim üniteleri tarafından üretilen toplam çıkış gücünün, toplam talep gücüne eşit olması gerekmektedir (Wood vd., 2013). Bu durum Eş. 4 ile ifade edilmiştir.



Şekil 1. Üretim birimleri (Wood vd., 2013) (Generation units (Wood vd., 2013))

$$F_T = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_N \quad (2)$$

$$F_T = \sum_{i=1}^N F_i(P_i) \quad (3)$$

$$P_{load} = \sum_{i=1}^N P_i \quad (4)$$

Ekonomik yük dağıtım problemlerinin çözümünde amaç fonksiyonundaki kısıtları artırmak için langrange çarpanı methodu kullanılmaktadır. Langrange fonksiyonu Eş. 5 ile gösterilmektedir (Wood vd., 2013).

$$L = F_T + \lambda (P_{load} - \sum_{i=1}^N P_i) \quad (5)$$

Bu denklemde L langrange fonksiyonunu ve λ belirsiz bir çarpan katsayısını temsil etmektedir. Bu fonksiyonun kısmi türevinin sıfıra eşit olduğu noktada, fonksiyon minimum değerini almaktadır.

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = \frac{dF_i(P_i)}{dP_i} - \lambda = 0 \quad (6)$$

$$0 = \frac{dF_i}{dP_i} - \lambda \quad (7)$$

Tüm birimlerin bazı belirsiz değerine eşit olan λ 'nın, artan maliyet oranı olarak, minimum maliyetli üretim operasyonunun olması için gerekli şarttır. Ekonomik yük dağıtım problemlerinde temel olarak iki önemli kısıt bulunmaktadır. Bunlardan ilki, üretim üniteleri tarafından üretilen gücün, o ünitenin minimum ve maksimum sınırları içerisinde olması durumudur. Bu durum Eş. 9 ile ifade edilmektedir. İkincisi ise, güç üniteleri tarafından üretilen gücün, sistemden talep edilen güce eşit olması durumudur. Bu durum ise Eş. 10 ile gösterilmiştir.

$$\frac{dF_i}{dP_i} = \lambda \quad (8)$$

$$P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max} \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^N P_i = P_{load} \quad (10)$$

Güç sistemlerinde üretilen enerji uzak mesafelere iletilebileceğinden, iletim hatlarında bir miktar enerji kaybolmaktadır. Ekonomik yük dağıtımında bu durum toplam iletim hattı kayıpları olarak dikkate alınmaktadır. İletim hattında meydana gelen kayıplar Eş. 11 ile hesaplanmaktadır (Wood vd., 2013).

$$P_{Loss} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^N B_{0i} P_i + B_{00} \quad (11)$$

B_{ij} katsayıları, B katsayıları olarak adlandırılmakta ve sabit olarak kabul edilmektedir (Wood vd., 2013).

EYD problemine iletim hattı kayıplarının dahil edilmesiyle birlikte Eş. 8 ve Eş. 9, aşağıda verilen Eş.12 ve Eş.13'teki gibi güncellenmektedir. İletim hattı kayıplarının dikkate alındığı güç sistemleri için sistem tarafından üretilen güç, sistemden talep edilen güç ve iletim hattı kayıp gücünün toplamına eşit olmaktadır. Bu durum ise Eş. 14 ile gösterilmiştir.

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = \frac{dF_i(P_i)}{dP_i} - \lambda(1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_i}) = 0 \quad (12)$$

$$\frac{dF_i(P_i)}{dP_i} + \lambda \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_i} = \lambda \quad (13)$$

$$P_{load} + P_{loss} - \sum_{i=1}^N P_i = 0 \quad (14)$$

3. Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)

Sürü davranışları temel alınarak geliştirilen, bu nedenle, sezgisel optimizasyon algoritması olan PSO, arama uzayında rastgele hareket eden parçacıklar ile ilgilenmektedir.

3.1. Kaotik Parçacık Sürü Optimizasyonu (Chaotic Particle Swarm Optimization)

Sezgisel optimizasyon algoritmaları rastgele değişkenler kullanırlar. Bu rastgele değişkenlerin yerine kaotik haritalardan yararlanarak tekrar etmeyen değişkenler elde edilebilir. Bu çalışmada kullanılan Chebyshev haritası Eş. 15'te verilmiştir:

$$X_{k+1} = \cos(k \cos^{-1}(X_k)) \quad (15)$$

Bu denklemde k iterasyon sayısını göstermekte olup X_k ise k. iterasyondaki değeri vermektedir. PSO algoritmasının geliştirilmiş bu hali Kaotik Parçacık Sürü Optimizasyonu (CPSO) olarak adlandırılmıştır.

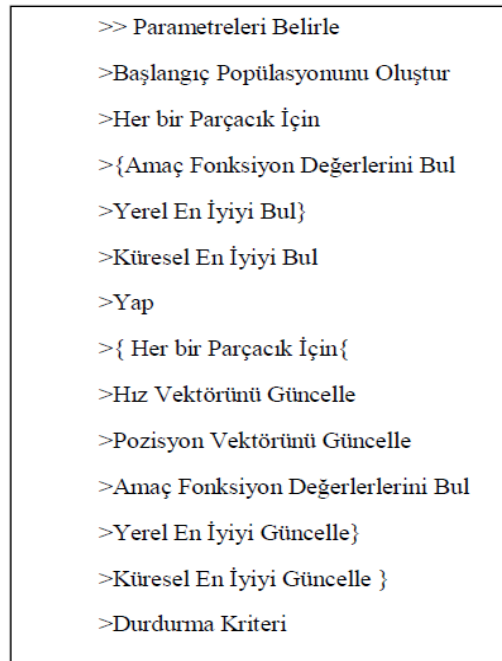
3.2. CPSO Algoritmasının EYD Problemine Uygulanması (Appication of CPSO to ELD Problem)

PSO, kuş sürülerinin davranışlarından ilham alınarak geliştirilmiş sezgisel bir algoritmadır (Kennedy ve Eberhart, 1995). PSO'da her bir parçacık, 2 parçacığa göre güncellenir. Bunlar, en iyi uygunluğa sahip olan parçacık (p_{best}) ve o ana kadar elde edilen tüm parçacıklar arasında en iyi uygunluğa sahip olan parçacıktır (g_{best}). PSO'da her bir iterasyonda hız vektörü ($v_{ij,t}$) güncellenir. Bu güncellemeye göre parçacıkların pozisyonlarındaki ($p_{ij,t}$) gerekli değişimler belirlenerek, parçacıkların bir sonraki pozisyonları ($p_{ij,t+1}$) belirlenir. Bu güncellemeler matematiksel olarak Eş. 16 ve Eş.17'de gösterilmiştir.

$$v_{ij,t+1} = wv_{ij,t} + c_1rand_1(pbest_{ij,t} - p_{ij,t}) + c_2rand_2(gbest_{ij,t} - p_{ij,t}) \quad (16)$$

$$p_{ij,t+1} = p_{ij,t} + v_{ij,t+1} \quad (17)$$

Burada, t iterasyon sayısını, i parçacık sayısını, c_1 ve c_2 kullanıcı tanımlı rastgele öğrenme faktörü katsayılarını, w eylemsizlik ağırlık katsayısını, $rand_1$ ve $rand_2$ ise (0-1) aralığında seçilen rastgele katsayıları temsil etmektedir. Önerilen bu çalışma için rastgele katsayılar kaotik haritadan elde edilmiştir. Burada daha büyük bir w katsayısı, küresel keşfi kolaylaştırırken, daha küçük bir w katsayısı yerel keşif yapılmasını sağlar. PSO için akış diyagramı aşağıdaki gösterilmiştir (Karaboğa, 2017).



Şekil 2. PSO akış diyagramı (Flowchart of PSO)

PSO ile EYD probleminin çözümünde ilk adımda, maksimum iterasyon sayısı ($iter_{max}$), öğrenme faktörleri (c_1 ve c_2), popülasyon büyüklüğü (N_P) ve eylemsizlik ağırlığı (w) değerleri girilir. Sonrasında, termik santrallerin güç limitleri, talep yük (P_d) ve hat kayıpları için katsayı matrisi (B_{ij}) ve vektörü (B_{oi}) girilir. Üçüncü adımda, limitler dâhilinde başlangıç popülasyonları (p_{ij}) rastgele oluşturulur. Her bir iterasyon için, maksimum iterasyona kadar, Eş. 1, 2, 3 ve 11 eşitlikleri hesaplanır.

3.3. EYD İçin Analizleri Gerçekleştirilen Güç Sistemi Ve CPSO Bilgileri (Power System Analyzed For ELD And CPSO Informations)

EYD için 6 üretim ünitesinden oluşan ve toplam 900 MW talep gücü olan bir güç sistemi dikkate alınmıştır. Bu sistem için iletim hattı kayıplarının dahil edilmediği ve dahil edildiği iki farklı durum analiz edilmiştir. Bu güç sistemi için a, b ve c maliyet katsayıları ile üretim ünitelerine ait minimum ve maksimum güç değerleri (Soni vd., 2020, Sulaiman vd., 2019) Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Güç sistemine ait parametreler (Parameters of the power system)

a_i (\$/MW)	b_i (\$/MW)	c_i (\$)	P_{min}	P_{max}
0.15247	38.53973	756.79886	10	125
0.10587	46.15916	451.32513	10	150
0.02803	40.39655	1049.32513	40	250
0.03546	38.30553	1243.5311	35	210
0.02111	36.32782	1658.5696	130	325
0.01799	38.27041	1356.6592	125	315

Bu güç sistemine ait iletim hattı kayıp parametreleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2. İletim hattı kayıp parametreleri (Transmission line loss parameters)

B=10 ⁻⁴ *	0.14	0.17	0.15	0.19	0.26	0.22
	0.17	0.6	0.13	0.16	0.15	0.2
	0.15	0.13	0.65	0.17	0.24	0.19
	0.19	0.16	0.17	0.71	0.3	0.25
	0.26	0.15	0.24	0.3	0.69	0.32
	0.22	0.2	0.19	0.25	0.32	0.85

Dikkate alınan güç sisteminin analizlerinin gerçekleştirilmesinde CPSO algoritması kullanılmıştır. CPSO için iterasyon sayısı 5000 ve popülasyon sayısı 100 olarak seçilmiştir. Ayrıca, pozisyon güncellemeleri için $c_1 = c_2 = 2$ olarak alınmıştır.

4.2. 6 Üniteli Güç Sistemi için EYD Analizi (ELD Analysis for 6 Unit Power System)

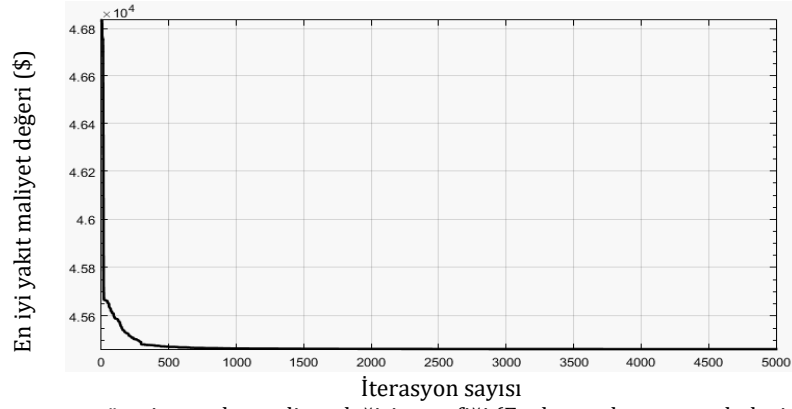
Bu çalışmada toplam güç talebi 900MW olan 6 üretim ünitesinden oluşan bir güç sistemi seçilmiştir. Eş. 17’deki EYD hedef fonksiyonun minimum değeri alması için çalışılmıştır. Burada, D sistemden talep edilen enerjidir.

$$\sum_{i=1}^N F_i(P_i) + 1000 * abs \left(\sum_{i=1}^N P_i - D - P_{Loss} \right) \quad (17)$$

4.2.1. İletim Hattı Kayıplarının İhmal Edildiği 6 Üniteli Güç Sisteminin EYD Analizi (EYD Analysis Of A 6-Unit Power System Where Transmission Line Losses Are Neglected)

Bu bölümde iletim hattı kayıplarının ihmal edildiği 6 üretim ünitesinden oluşan bir güç sisteminin EYD analiz PSO ile gerçekleştirilmiştir. Bu sistemde iletim hattı kayıpları dikkate alınmadığından dolayı Eş.17’deki denklemde $P_{Loss}=0$ olarak alınmıştır.

PSO ile belirlenen toplam yakıt maliyet değerlerine ait değişim grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir. Bu şekilde her bir iterasyon sonucunda bulunan toplam yakıt maliyet değerleri gösterilmiştir.



Şekil 3. İterasyon süresince yakıt maliyet değişim grafiği (Fuel cost change graph during iteration)

Üretim ünitelerine ait CPSO ile elde edilen güç değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. CPSO ile elde edilen güç değerleri (Power values obtained with PSO)

Birimler	$P_{i,min}$	P_i	$P_{i,max}$
P1	10	32.5659	125
P2	10	10.4685	150
P3	40	143.8019	250
P4	35	143.2717	210
P5	130	286.4427	325
P6	125	283.4493	315

CPSO ile elde edilen optimal sonuçlar, (Çetin ve Daldaban, 2012)'deki sonuçlarla karşılaştırılmış ve Tablo 4'te sunulmuştur.

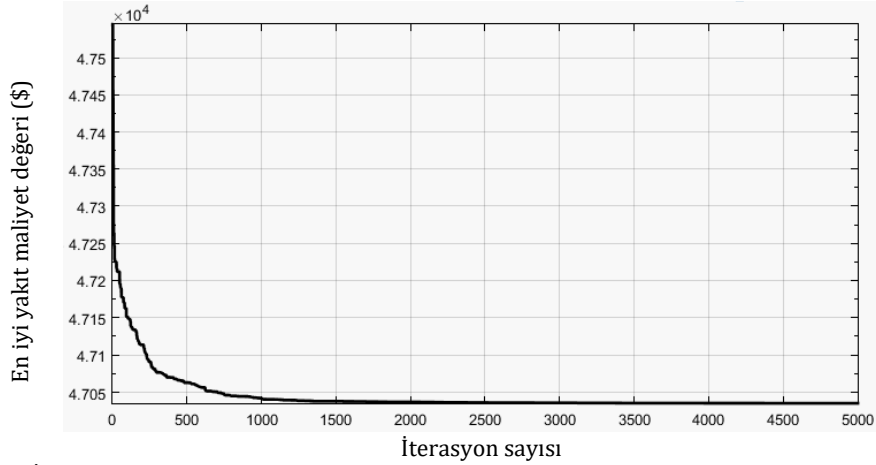
Tablo 4. CPSO ile bulunan sonuçların YAK (Çetin ve Daldaban, 2012) ve DGO (Çetin ve Daldaban, 2012) ile karşılaştırılması (Comparison of results of PSO with ABC (Çetin ve Daldaban, 2012) and DEO (Çetin ve Daldaban, 2012))

MW	CPSO	YAK	DGO
P1	32,5659	32,497	32,976
P2	10,4685	10,816	13,572
P3	143,8019	143,661	137,717
P4	143,2717	143,033	139,849
P5	286,4427	287,101	282,159
P6	283,4493	282,892	293,727
Ploss	0	0	0
F(\$/saat)	45463,5229	45464,157	45468,299

CPSO ile toplam yakıt maliyet değeri 45463.5229 \$ olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlardan, PSO ile YAK ve DGO'dan daha düşük yakıt maliyet değerine ulaşıldığı açıkça görülmektedir.

4.2.2. İletim Hattı Kayıplarının Dikkate Alındığı 6 Üniteli Güç Sisteminin EYD Analizi (EYD Analysis Of 6-Unit Power System Considering Transmission Line Losses)

Bu bölümde iletim hattı kayıplarının dahil edildiği 6 üretim ünitesinden oluşan bir güç sisteminin EYD analiz CPSO ile gerçekleştirilmiştir. Her iterasyon sonucunda CPSO ile bulunan toplam yakıt maliyetinin değişimi Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. İterasyon süresince yakıt maliyet değişim grafiği (Fuel cost change graph during iteration)

CPSO ile belirlenen her bir üretim birimine düşen üretim değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. CPSO ile elde edilen güç değerleri (Power values obtained with PSO)

Birimler	$P_{i,min}$	P_i	$P_{i,max}$
P1	10	38.3736	125
P2	10	20.8037	150
P3	40	163.7952	250
P4	35	153.1459	210
P5	130	283.6215	325
P6	125	272.0162	315

CPSO ile elde edilen optimal sonuçlar, (Çetin ve Daldaban, 2012)'deki sonuçlarla Tablo 6'da karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 6. CPSO ile bulunan sonuçların YAK (Çetin ve Daldaban, 2012) ve DGO (Çetin ve Daldaban, 2012) ile karşılaştırılması (Comparison of results of PSO with ABC (Çetin ve Daldaban, 2012) and DEO (Çetin ve Daldaban, 2012))

MW	CPSO	YAK	DGO
P1	38,3736	38,368	38,368
P2	20,8037	20,968	20,968
P3	163,7952	163,565	163,564
P4	153,1459	152,937	152,937
P5	283,6215	283,698	283,698
P6	272,0162	272,223	272,224
P_{Loss}	31,7561	31,759	31,759
$F(\$/saat)$	47035,2799	47035,935	47035,271

CPSO ile toplam yakıt maliyet değeri 47035,2799 \$ olarak bulunmuşken, YAK ile 47035,935 \$ ve DGO ile 47035,271 \$ olarak bulunmuştur. Hat kayıpları PSO ile 31,7561 MW bulunurken diğer iki algoritmada 31,759 MW olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlardan CPSO'nun YAK'tan daha düşük değerde maliyetle ve DGO'dan ise daha az hat kaybı ile daha iyi sonuçlar verdiği açıkça görülmektedir.

6. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

EYD problemi, iletim hattı kayıplarının dahil edilmediği ve dahil edildiği iki farklı durum için CPSO yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Birim maliyeti yüksek olan jeneratörlerin ürettiği güç indirilirken, birim maliyetleri düşük olan jeneratörlerin ürettiği güç artırılmıştır. Böylelikle, toplam maliyet en aza indirilmiştir. CPSO'nun ekonomik yük dağıtım problemlerine kolayca uygulanabileceği gösterilmiştir. CPSO metodunun daha az parametreden oluşması ve çalışma yapısının daha kolay olması diğer optimizasyon yöntemlerine göre avantajdır. E. Çetin'in (Çetin ve Daldaban, 2012), yüksek lisans tezindeki veriler kullanılarak, 6 jeneratörlü sistemin doğruluğu ortaya konmuştur. Bulunan sonuçlar 10 kez çalıştırılıp ortalaması alınarak elde edilmiştir. Literatürle uyumlu

bulunan sonuçlar, CPSO'nun EYD probleminin çözümü için geçerli bir algoritma olduğunu göstermektedir. Sonraki çalışmalarda, CPSO geliştirilerek dinamik EYD problemlerine uygulanması hedeflenmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Arslan, Ö.P., 2015. Güç Sistemlerinin Ekonomik ve Çevresel Ekonomik Yük Dağıtımında Yeni Optimizasyon Tekniklerinin Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Türkiye.
- Çetin, E., Daldaban, F., 2012. Rüzgâr Enerjisi Dâhil Olan Güç Sistemlerinde Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Çözümü. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Türkiye.
- Döşoğlu, M. K., Duman, S., Öztürk, A., 2009. Genetik Algoritma Kullanarak Ekonomik Dağıtım Analizi: Türkiye Uygulaması. Politeknik Dergisi, 12(3), 167-172.
- Eminoğlu, U., Karahan, O., 2017. Metasezgisel Metotlar Kullanılarak Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Çözümü: Grafiksel Kullanıcı Arayüzü Uygulaması. Politeknik Dergisi, 20(4), 827-835.
- Gaing Z.L., 2003. Particle Swarm Optimization to Solving the Economic Dispatch Considering the Generator Constraints," IEEE Transactions On Power Systems, 18(3), 1187-1195.
- Hardiansyah, H., J., Juanidi, M.S. Yohannes, 2012. Solving Economic Load Dispatch Problem Using Particle Swarm Optimization Technique," IJ. Intelligent Systems And Applications, 12, 12-18.
- Karaboğa, D., 2017. Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları. Nobel Akademi Yayıncılık.
- Kennedy, J., Eberhart, R.C., 1995. Particle Swarm Optimization," International Conference on Neural Networks, 1942-1948.
- Khamsawang, S., Jiriwibhakorn, S., 2009. Solving the Economic Dispatch Problem Using Novel Particle Swarm Optimization. International Journal Of Electrical, Computer, And Systems Engineering, 3, 41-46.
- Özsağlam, M.Y., Çunkaş, M., 2008. Optimizasyon Problemlerinin Çözümü İçin Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması. Politeknik Dergisi, 11(4), 299-305.
- Özyön, S., Yaşar, C., Temurtaş, H., 2011. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmasının Termik Birimlerden Oluşan Çevresel Ekonomik Güç Dağıtım Problemlerine Uygulanması. 6th International Advanced Technologies Symposium, 175-180.
- Saadat, H., 1999. Power System Analysis. New York:McGraw-Hill.
- Soni, A., Mishra, H., Koli, V.K., Loşi, R., 2020. Economic Load Dispatch Using Artificial Bee Colony Optimization. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 7(9), 733-737.
- Sulaiman, M., Masihullah, Hussain, Z., Ahmad, S., Mashwani, W.K., Jan, M.A., Khanum, R.A., 2019. Implementation Of Improved Grasshopper Optimization Algorithm To Solve Economic Load Dispatch Problems, Hacettepe Journal of Mathematics & Statistics, 48(5), 1570-1579.
- Turgut, M. S., G. K. Demir, 2017. Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Yapay İşbirlikçi Algoritması İle Çözümü. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi, 19(55), 16-27.
- Wood, A. J., Wollenberg, B. F., Sheblé, G. B., 2013. Power Generation, Operation, and Control. John Wiley & Sons.