



Yenilenebilir Enerji Üretim Birimleri İçeren Çevresel-Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Yüklü Sistem Arama Algoritması ile Çözümü

Serdar Özyön^{1*}

¹ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4469-3908)

(İlk Geliş Tarihi 2 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.669543)

ATIF/REFERENCE: Özyön, S. (2020). Yenilenebilir Enerji Üretim Birimleri İçeren Çevresel-Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Yüklü Sistem Arama Algoritması ile Çözümü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 81-90.

Öz

Elektrik mühendisliği için çözümü büyük bir öneme sahip ve literatürde birçok çalışmada ele alınan çevresel-ekonomik güç dağıtım problemi, sistem tarafından talep edilen gücü, sistem kısıtları altında en düşük yakıt maliyeti ve emisyon miktarı ile karşılamak olarak tanımlanır. Elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması için genellikle tükenbilir fosil kaynaklı yakıtların kullanılması hem yakıt maliyetini hem de çevreye salınan emisyon miktarlarını ciddi oranda artırmaktadır. Bu maliyet ve emisyon değerlerini azaltmanın diğer bir yolu da elektrik enerjisi üretimi için yakıt maliyeti ve emisyon miktarı sıfır olan yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin kullanılmasıdır. Bu sistemlerden en önemli ikisi rüzgâr ve güneş enerjisi üretim sistemleridir. Günümüzde rüzgâr ve güneş enerjisi üretim sistemlerinin kullanımı giderek artsa da bu sistemler birçok uygulamada yerel yükü beslemektedir. Bu çalışmada termik üretim birimleri bulunan bir güç sistemine, rüzgâr ve güneş enerjisi üretim birimleri eklenerek sistemin aynı yük talebi için maliyet, emisyon ve iletim hattı kayıpları hesaplanmıştır. Çalışmada çevresel-ekonomik güç dağıtım probleminin optimizasyonu yüklü sistem arama (CSS) algoritmasıyla yapılmıştır. Örnek sistem olarak belirlenen IEEE 30-bara 6-generatörlü güç sistemi, CSS algoritması ile iki kez çözülmüştür. İlk çözümde sistemdeki güç talebi sadece termik üretim birimleri tarafından karşılanırken, ikinci çözümde ise sistemdeki iki yük barasına, o baralardaki yükü besleyecek rüzgâr ve güneş enerjisi üretim birimi eklenmiştir. Problemin çözümünde birbirinden farklı birimdeki hem yakıt maliyeti hem de emisyon miktarının aynı anda minimizasyonu yer aldığından, bu iki amaç ağırlıklı toplam metodu ile tek bir amaç fonksiyonunda birleştirilmiştir. Örnek güç sisteminin iletim hattı kayıpları B-kayıp matrisleri kullanılarak yaklaşık hesaplanmıştır. Her iki çözüm içinde bulunan maliyet değerleri, emisyon miktarları ve iletim hattı kayıpları karşılaştırılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çevresel-ekonomik güç dağıtım, Yenilenebilir enerji üretim sistemleri, Yakıt maliyeti, Emisyon miktarı, Yüklü sistem arama (CSS) algoritması.

The Solution of Environmental-Economic Power Dispatch Problem Including Renewable Power Generation Units with Charged System Search Algorithm

Abstract

Environmental-economic power dispatch problem the solution of which has a great importance for electrical engineering and which is handled in many studies in literature, is defined as the meeting of the demanded power by the system, with the lowest fuel cost and emission amount under the system constraints. The use of exhaustible fossil-based fuels in order to meet the electrical power need

* Sorumlu Yazar: Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye. ORCID: 0000-0002-4469-3908, serdar.ozyon@dpu.edu.tr

increases both the fuel cost and the emission amount spread to the environment seriously. Another way to decrease these cost and emission values is the use of renewable power generation systems for power generation, the fuel cost and the emission amount of which is zero. The most important two of these systems are wind and solar power generation systems. Today, although the use of wind and solar power generation systems increases, these systems feed the local load in many applications. In this study, by adding wind and solar power generation units to a power system having thermal generation units, the cost, emission and transmission line losses of the system for the same load demand have been calculated. In the study, the optimization of environmental-economic power dispatch problem has been done with charged system search (CSS) algorithm. IEEE 30-bus 6-generator power system, which was defined as the sample system, has been solved with CSS algorithm twice. While the power need in the system has been only met by the thermal generation units in the first solution, in the second solution, wind and solar power generation unit has been added to the two load buses feeding the load in these buses. In the solution of the problem since the minimization of both the fuel cost and the emission amount in different units from each other, takes place at the same time, these two aims have been united in one purpose function with weighted sum method. The transmission line losses of the sample system have been calculated approximately by using B-loss matrices. The cost values, emission amounts and transmission line losses found for both solutions have been compared and the results have been discussed.

Keywords: Environmental-economic power dispatch, Renewable power generation systems, Fuel cost, Emission amount, Charged system search (CSS) algorithm.

1. Giriş

Elektrik mühendisliği alanında çözülmesi gereken önemli problemlerden biri de çevresel-ekonomik güç dağıtım problemi. Ekonomik güç dağıtım, sistem kısıtları altında minimum maliyetle talep edilen gücün üretim birimleri tarafından karşılanması olarak tanımlanır. Termik üretim birimleri tarafından çevreye salınan zararlı gazların minimizasyonu da probleme eklendiğinde ise problem çevresel-ekonomik güç dağıtım olarak isimlendirilir. Tanımlanan problem çok amaçlı, kısıtlı ve karmaşık yapıdadır. Bu tür problemlerin nümerik yöntemlerle çözümü zor ya da uzun süreler almaktadır. Çevresel-ekonomik güç dağıtımının ana fikri, yakıt maliyeti daha ucuz ve emisyon salınımı daha olan üretim birimlerini, enerji üretiminde daha fazla kullanmaktır [Özyön ve ark. 2015; Basu, 2015].

Son yıllarda bu tür problemlerin çözümünde sıklıkla sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Farklı yapıda ve değişik kısıtlar altında çevresel/ekonomik güç dağıtım problemleri literatürde birçok optimizasyon algoritması ile çözülmüştür. Bunlardan bazıları genetik algoritma [Özyön ve ark. 2015], evrimsel algoritma [Zhu ve ark. 2014], nokta kestirim metodu [Abarghoee ve ark. 2012], hibrid çiçek tozlaşma algoritması [Dubey ve ark. 2015], parçacık sürü optimizasyonu [Jiang ve ark. 2015], yapay arı koloni algoritması [Jadhav ve Roy, 2013], güve sürüsü algoritması [Jevtic ve ark. 2017] ve diferansiyel gelişim algoritması [Bhattacharya ve Chattopadhyay, 2011] olarak sıralanabilir.

Güç üretiminde termik yakıt kullanan üretim birimlerinin artması hem yakıt maliyetlerini hem de emisyon miktarlarını artırmaktadır. Bu değerlerin azaltılması için güç sistemlerinde yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin (YEÜS) kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. YEÜS'ler yakıt maliyetleri ve emisyonları olmayan enerji üretim birimleridir. Yaygın olarak kullanılan ve teknolojik olarak gelişimleri hızla ilerleyen rüzgâr enerji santralleri ve güneş enerji santralleri başlıca yenilenebilir enerji üretim sistemleri olarak sayılabilir.

Yapılan çalışmada termik üretim birimleri bulunan bir güç sistemine, rüzgâr ve güneş enerjisi üretim birimleri eklenerek sistemin aynı yük talebi için maliyet, emisyon ve iletim hattı kayıpları hesaplanmıştır. Çalışmada çevresel-ekonomik güç dağıtım probleminin optimizasyonu yüklü sistem arama (CSS) algoritmasıyla yapılmıştır. Örnek sistem olarak belirlenen IEEE 30-bara 6-generatörlü güç sistemi, CSS algoritması ile iki kez çözülmüştür. İlk çözümde sistemdeki güç talebi sadece termik üretim birimleri tarafından karşılanırken, ikinci çözümde ise sistemdeki iki yük barasına, o baralardaki yükü besleyecek rüzgâr ve güneş enerjisi üretim birimi eklenmiştir. Problemin çözümünde birbirinden farklı birimdeki hem yakıt maliyeti hem de emisyon miktarının aynı anda minimizasyonu yer aldığından, bu iki amaç ağırlıklı toplam metodu ile tek bir amaç fonksiyonunda birleştirilmiştir. Örnek güç sisteminin iletim hattı kayıpları B-kayıp matrisleri kullanılarak yaklaşık hesaplanmıştır. Her iki çözüm içinde bulunan maliyet değerleri, emisyon miktarları ve iletim hattı kayıpları karşılaştırılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

2. Yüklü Sistem Arama Algoritması (CSS)

Yüklü sistem arama adı verilen yeni bir meta-sezgisel algoritma türü Kaveh ve Talatahari tarafından ortaya konulmuştur. Yüklü sistem arama (CSS) algoritmasının temeli Newton hareket kanunları ve elektrik fiziğinden Coulomb ve Gauss kanunlarına dayalıdır. Bu algoritmada her ajan yüklü bir parçacıktır (CP). Her CP, Coulomb ve Gauss kanunlarına göre diğer yüklü parçacıklar üzerine elektrik gücü uygulayan yüklü bir küre olarak düşünülür. Sonuç olarak ortaya çıkan güçler ve hareket kanunları yüklü parçacıkların (CPs) yeni konumlarını belirler. Birinci iterasyondaki yüklü parçacıkların yeni konumları rastgele belirlenir ve sonraki iterasyonlar için yeni konum ve hız vektörleri aşağıdaki gibi elde edilir [Kaveh ve Talatahari, 2010; Özyön ve ark. 2012; Tabrizian ve ark. 2014].

$$X_{j,yeni} = rand_{j,1} \cdot k_a \cdot \frac{F_j}{m_j} \cdot \Delta t^2 + rand_{j,2} \cdot k_v \cdot V_{j,eski} \cdot \Delta t + X_{j,eski} \quad (1)$$

$$V_{j,yeni} = \frac{X_{j,yeni} - X_{j,eski}}{\Delta t} \quad (2)$$

Burada k_a ve k_v sırasıyla ivme ve hız katsayıları, $rand_{j,1}$ ve $rand_{j,2}$ (0,1), aralığında uniform yayılmış iki rastgele sayıdır. j . CP için ortaya çıkan güç vektörleri F_j , aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F_j = q_j \sum_{i,i \neq j} \left(\frac{q_i}{a^3} r_{ij} i_1 + \frac{q_i}{r_{ij}^2} i_2 \right) p_{ij} (X_i - X_j) \begin{cases} j = 1, 2, \dots, N \\ i_1 = 1, i_2 = 0 \Leftrightarrow r_{ij} < a \\ i_1 = 0, i_2 = 1 \Leftrightarrow r_{ij} > a \end{cases} \quad (3)$$

Burada her bir CP için yükün büyüklüğü q_i , ve a değeri aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$q_i = \frac{fit(i) - fitworst}{fitbest - fitworst}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

$$a = 0,10x \max \left(\{x_{i,max} - x_{i,min} \mid i = 1, 2, \dots, n\} \right) \quad (5)$$

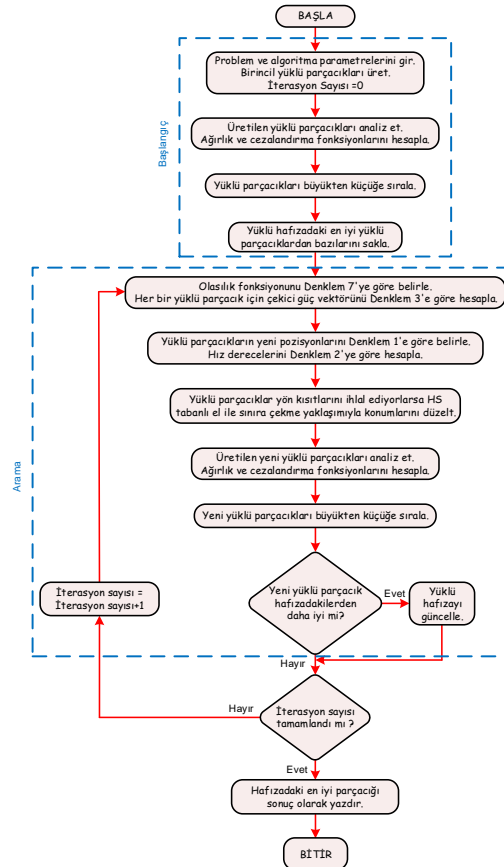
Burada $fitbest$ ve $fitworst$ bütün CP'lerin en iyi ve en kötü uygunluğudur. $fit(i)$ ajan i 'nin uygunluğu, ve N ise yüklü parçacıkların toplam sayısıdır. İki CP arasındaki ayrılma mesafesi r_{ij} , aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$r_{ij} = \frac{\|X_i - X_j\|}{\left\| \frac{(X_i - X_j)}{2} - X_{eniye} \right\| + \varepsilon} \quad (6)$$

Burada X_i ve X_j , i . ve j . CP'lerin konumlarıdır, X_{eniye} en iyi şimdiki CP'nin konumudur ve ε küçük pozitif bir rakamdır. Her bir CP'yi diğer CP'lere doğru hareket ettirme olasılığı aşağıdaki denklemi kullanarak belirlenir.

$$p_{ij} = \begin{cases} 1, & \frac{fit(i) - fitbest}{fit(j) - fit(i)} > rand \vee fit(j) > fit(i) \\ 0, & \text{değilse} \end{cases} \quad (7)$$

CP'lerin yeni konumlarının belirlenmesinden sonra, çözüm vektörünün herhangi bir parçası izin verilen sınırlardan saparsa, elle düzeltme yaklaşımı kullanılarak düzeltilir. Yüklü hafıza (CM) son iterasyona kadar bir dizi en iyi çözümü saklamak için kullanılır. Daha iyi yeni çözümler CM'ye dahil edilir ve en kötüler CM'den çıkarılır. CSS algoritmasının akış diyagramı Şekil 1'de verilmiştir [Kaveh ve Talatahari, 2010; Özyön ve ark. 2012; Tabrizian ve ark. 2014].



Şekil 1. CSS algoritmasının akış diyagramı

3. Çevresel-Ekonomik Güç Dağıtımı

Sistemin kısıtları altında, ağırlıklı toplam metoduyla (ATM) birleştirilmiş amaç fonksiyonunun (toplam termik yakıt maliyeti ve toplam NO_x emisyon miktarı) minimize edilmesi çevresel-ekonomik güç dağıtım problemi olarak tanımlanır. Üretim birimlerine ait konveks yakıt maliyet fonksiyonu denklem (8)'de verilmiştir [Jevtis ve ark. 2017; Özyön ve ark. 2012].

$$F_i(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2, \quad (\$/h) \quad (8)$$

Denklemde $F_i(P_i)$, i . üretim biriminin yakıt maliyet fonksiyonunu, a_i , b_i ve c_i i . üretim biriminin maliyet fonksiyonu katsayılarını, P_i ise i . üretim biriminin çıkış gücünü göstermektedir ve birimi MW olarak alınmaktadır. Her bir termik üretim birimi tarafından çevreye salınan NO_x emisyon miktarı, üretim birimi tarafından üretilen aktif güç cinsinden denklem (9)'da tanımlanmıştır.

$$E_i(P_i) = d_i + e_i P_i + f_i P_i^2 + g_i \exp(h_i P_i), \quad (ton/h) \quad (9)$$

Denklemde yer alan $E_i(P_i)$, i . üretim biriminin NO_x emisyon miktarı fonksiyonunu, d_i , e_i , f_i , g_i ve h_i i . üretim biriminin emisyon fonksiyonu katsayılarını göstermektedir. Kayıplı bir güç sistemindeki, güç eşitlik kısıtı denklem (3)'de verilmiştir.

$$\sum_{i \in N_G} P_i - P_{yük} - P_{kayıp} = 0 \quad (10)$$

Denklemde $P_{yük}$ sistemin talep ettiği yük miktarını, $P_{kayıp}$ ise iletim hattı kayıplarını göstermektedir. Termik üretim birimlerinin çalışma sınır değerleri denklem (11)'de gösterilmiştir.

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max}, \quad (i \in N_G) \quad (11)$$

Denklemde N_G sistemdeki tüm termik üretim birimlerin kümesini temsil etmektedir. Sistemin iletim hatlarında meydana gelen güç kayıpları ($P_{kayıp}$), yaklaşık olarak B kayıp matrisleri kullanılarak denklem (12) ile hesaplanmıştır.

$$P_{kayıp} = \sum_{i \in N_G} \sum_{j \in N_G} P_i B_{ij} P_j + \sum_{i \in N_G} B_{0i} P_i + B_{00} \quad (12)$$

Çevresel-ekonomik güç dağıtım probleminde birbirinden bağımsız iki amaç vardır. Bu amaçlar ATM ile birleştirilmiş ve minimize edilecek amaç fonksiyonu AF , denklem (13)'de verilmiştir [Jevtis ve ark. 2017; Özyön ve ark. 2012].

$$AF = w \sum_{i \in N_G} F_i(P_i) + (1-w) \gamma \sum_{i \in N_G} E_i(P_i) \quad (13)$$

Denklemde γ , iki amaç arasındaki dengeyi sağlamak için kullanılan ölçekleme faktörünü, w ise $0 \leq w \leq 1$ aralığında $0,1$ aralıkla değişen ağırlık faktörünü göstermektedir. Burada $w=1,0$ değeri sadece termik yakıt maliyetinin, $w=0,0$ değeri ise sadece NO_x emisyon miktarının minimize edilmesine karşılık gelmektedir. Sistemdeki toplam termik yakıt maliyeti $F_T(P_i)$ ve toplam NO_x emisyon miktarı $E_T(P_i)$ sırasıyla denklem (14) ve (15) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$F_T(P_i) = \sum_{i \in N_G} F_i(P_i), \quad (\$/h) \quad (14)$$

$$E_T(P_i) = \sum_{i \in N_G} E_i(P_i), \quad (ton/h) \quad (15)$$

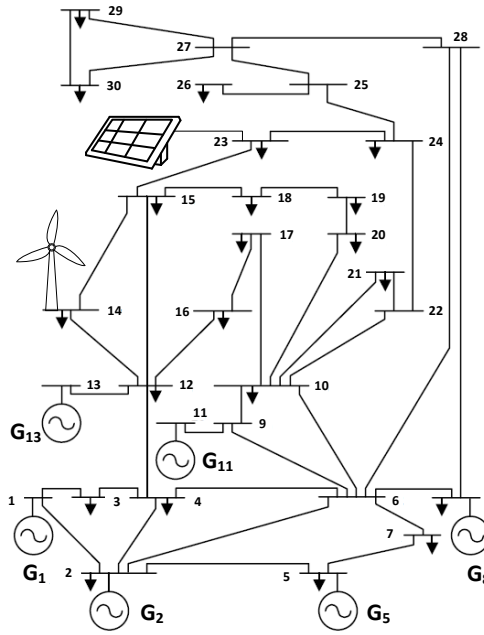
4. Örnek Güç Sistemi ve Çözümü

CSS algoritması IEEE 30-baralı 6-generatörlü çevresel-ekonomik güç dağıtım problemine $2,834 pu$ yük talebi için iletim hattı kayıpları dikkate alınarak iki farklı durumda uygulanmıştır. İlk durumda Tablo 1'de verilen sistemdeki yük talebi sadece termik üretim birimleri tarafından karşılanmıştır. İkinci durumda ise 14. baradaki $0,062 pu$ 'luk yük yerel bir rüzgar enerji santrali tarafından ve 11. baradaki $0,032 pu$ 'luk yük talebi ise yerel bir güneş enerji santrali tarafından karşılandığı varsayılarak sistem tekrar çözülmüştür. Bu baraların seçilme nedenleri, bu baralar tarafından talep edilen güç miktarının, bir rüzgar enerji santrali tarafından karşılanabilecek olmasıdır. Her iki durum içinde algoritma 30 kez koşturulmuştur. Test sisteminde 41 adet iletim hattı ve 21 adet yük barası bulunmaktadır. Test sisteminde bir 1 nolu generatörün bağlı olduğu bara salınım barası ve baz değerler ise $S_{baz}=100 MVA$, $V_{baz}=230 kV$ ve $Z_{baz}=529 Ohm$ olarak alınmıştır. Sistemin tek hat diyagramı Şekil 3'de verilmiştir. Yapılan çalışmada CSS parametreleri, iterasyon sayısı 300, popülasyon büyüklüğü 40, kv_{ilk} 0,5, kv_{son} 0, ka_{ilk} 0,5, ka_{son} 0 ve r 0,01 olarak alınmıştır. Çalışmada ölçekleme faktörü $\gamma=1000$ olarak alınmıştır. CSS algoritması, ekonomik dağıtım probleminin çözümü için Intel Xeon E5-2637 v4 3.50 GHz işlemcili ve 128 GB RAM bellekli iş istasyonunda çalıştırılmıştır. Test sistemindeki termik üretim birimlerine ait maliyet

fonksiyonu katsayıları ve bu birimlerin aktif güç üretim sınırları Tablo 2’de, iletim hatlarında meydana gelen aktif güç kayıplarının hesaplanmasında kullanılan *B*-kayıp matrisi değerleri ise Tablo 3’de verilmiştir [Jevtis ve ark. 2017; Özyön ve ark. 2012].

Tablo 1. Örnek sistemdeki yük değerleri

Bara No	<i>P</i> (pu)	<i>Q</i> (pu)	Bara No	<i>P</i> (pu)	<i>Q</i> (pu)
1	0	0	16	0,035	0,018
2	0,217	0,127	17	0,090	0,058
3	0,024	0,012	18	0,032	0,009
4	0,076	0,016	19	0,095	0,034
5	0,942	0,190	20	0,022	0,007
6	0	0	21	0,175	0,112
7	0,228	0,109	22	0	0
8	0,3	0,300	23	0,032	0,016
9	0	0	24	0,087	0,067
10	0,058	0,020	25	0	0
11	0	0	26	0,035	0,023
12	0,112	0,075	27	0	0
13	0	0	28	0	0
14	0,062	0,016	29	0,024	0,009
15	0,082	0,025	30	0,106	0,019



Şekil 2. Örnek sisteme ait tek hat diyagramı

Tablo 2. Örnek sistemlere ait üretim birimlerinin maliyet katsayıları ve aktif güç üretim sınırları

Bara No	1	2	5	8	11	13
<i>a</i>	10	10	20	10	20	10
<i>b</i>	200	150	180	100	180	150
<i>c</i>	100	120	40	60	40	100
<i>d</i>	4,091e-2	2,543e-2	4,258e-2	5,326e-2	4,258e-2	6,131e-2
<i>e</i>	-5,554e-2	-6,047e-2	-5,094e-2	-3,550e-2	-5,094e-2	-5,555e-2
<i>f</i>	6,49e-2	5,638e-2	4,586e-2	3,38e-2	4,586e-2	5,151e-2
<i>g</i>	2,0E-4	5,0E-4	1,0E-6	2,0E-3	1,0E-6	1,0E-5
<i>h</i>	2,857	3,333	8,0	2,0	8,0	6,667
<i>P_{min}</i> (pu)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<i>P_{max}</i> (pu)	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50

Tablo 3. Örnek sistemlere ait B-kayıp matrisi değerleri

$$[B]=\begin{bmatrix} 0,1382 & -0,0299 & 0,0044 & -0,0022 & -0,0010 & -0,0008 \\ -0,0299 & 0,0487 & -0,0025 & 0,0004 & 0,0016 & 0,0041 \\ 0,0044 & -0,0025 & 0,0182 & -0,0070 & -0,0066 & -0,0066 \\ -0,0022 & 0,0004 & -0,0070 & 0,0137 & 0,0050 & 0,0033 \\ -0,0010 & 0,0016 & -0,0066 & 0,0050 & 0,0109 & 0,0005 \\ -0,0008 & 0,0041 & -0,0066 & 0,0033 & 0,0005 & 0,0244 \end{bmatrix}$$

$$[B_0]=[-0,0107 \quad 0,0060 \quad -0,0017 \quad 0,0009 \quad 0,0002 \quad 0,0030]$$

$$B_{00} = 0,00098573$$

Birinci ve ikinci durumda test sistemi, farklı ağırlık değerleri için CSS ile 30’ar kez çözülmüştür. Çözümlerden elde edilen istatistiki değerleri Tablo 4’te ve bu çözümlerden eniyi yakıt maliyeti değerine sahip çözümlere ait üretilen toplam güçler, toplam yakıt maliyetleri, toplam NO_x emisyon miktarları ve iletim hattı kayıpları ise YEÜS’süz durum için Tablo 5’te, YEÜS’lü durum için Tablo 6’da verilmiştir.

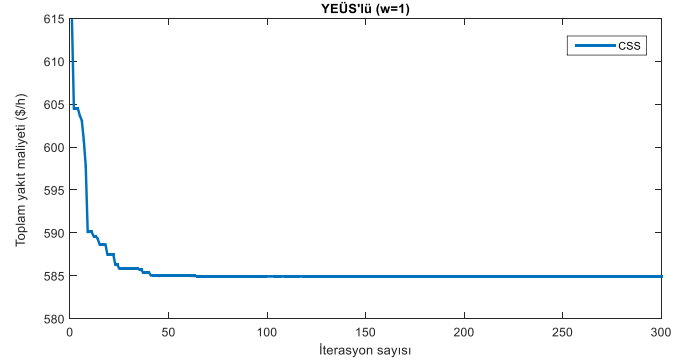
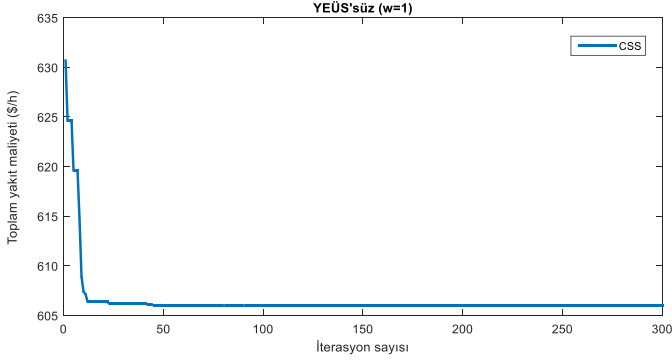
Tablo 4. CSS ile 30 çözüm için elde edilen veriler

		YEÜS’süz	YEÜS’lü
$w=1,0$	En kötü F (\$/h)	605,998369	584,923977
	Ortalama F (\$/h)	605,998369	584,923971
	En İyi F (\$/h)	605,998369	584,923971
	St. Sapma	0,000000	0,000001
	Süre (s)	6,97118	6,94812
$w=0,0$	En kötü E (ton/h)	0,194178	0,194297
	Ortalama E (ton/h)	0,194178	0,194297
	En İyi E (ton/h)	0,194178	0,194297
	St. Sapma	0,000000	0,000000
	Süre (s)	7,71113	7,53539

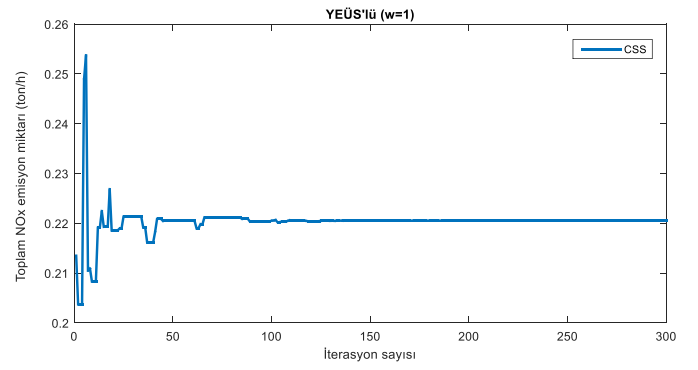
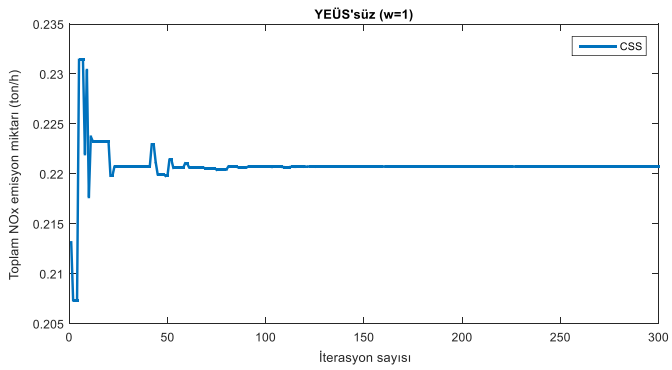
Tablo 5. CSS ile elde edilen eniyi çözümlere ait sonuçlar (YEÜS’süz)

YEÜS’süz	$w=1,0$	$P_{\text{üretilen}} (pu)$	2,859562
		F_T (\$/h)	605,998369
		E_T (ton/h)	0,220729
		$P_{\text{kayıp}} (pu)$	0,025562
	$w=0,5$	$P_{\text{üretilen}} (pu)$	2,859327
		F_T (\$/h)	612,252793
		E_T (ton/h)	0,203570
		$P_{\text{kayıp}} (pu)$	0,025327
	$w=0,0$	$P_{\text{üretilen}} (pu)$	2,869330
		F_T (\$/h)	646,207000
		E_T (ton/h)	0,194179
		$P_{\text{kayıp}} (pu)$	0,035330
YEÜS’lü	$w=1,0$	$P_{\text{üretilen}} (pu)$	2,764417
		F_T (\$/h)	584,923971
		E_T (ton/h)	0,220501
		$P_{\text{kayıp}} (pu)$	0,024417
	$w=0,5$	$P_{\text{üretilen}} (pu)$	2,763869
		F_T (\$/h)	591,091415
		E_T (ton/h)	0,203600
		$P_{\text{kayıp}} (pu)$	0,023869
	$w=0,0$	$P_{\text{üretilen}} (pu)$	2,773254
		F_T (\$/h)	624,801621
		E_T (ton/h)	0,194297
		$P_{\text{kayıp}} (pu)$	0,033254

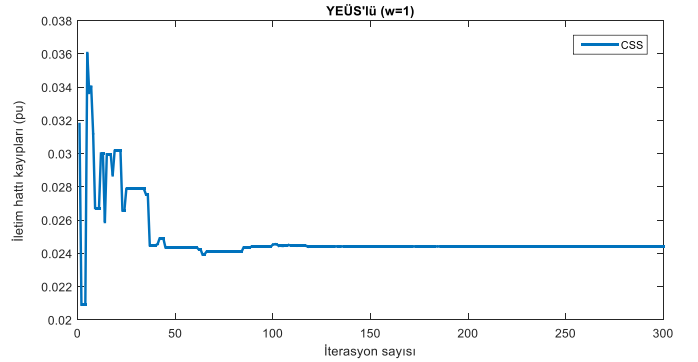
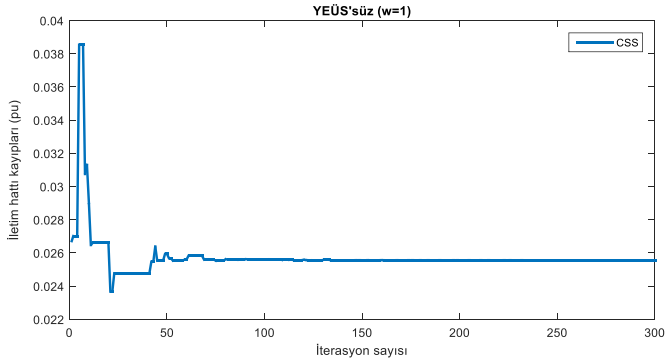
CSS algoritması, birinci ve ikinci durum için sadece yakıt maliyeti göz önüne alınarak ($w=1,0$) örnek güç sistemine uygulandığında elde edilen sırasıyla toplam yakıt maliyetinin iterasyon sayılarına göre değişimleri Şekil 3'te, toplam NO_x emisyon miktarının iterasyon sayılarına göre değişimleri Şekil 4'te, sistemde üretilen güçlerin iterasyon sayılarına göre değişimleri Şekil 5'de, iletim hattı kayıplarının iterasyon sayılarına göre değişimleri Şekil 6'de ve kutu grafikleri ise Şekil 7'de verilmiştir.



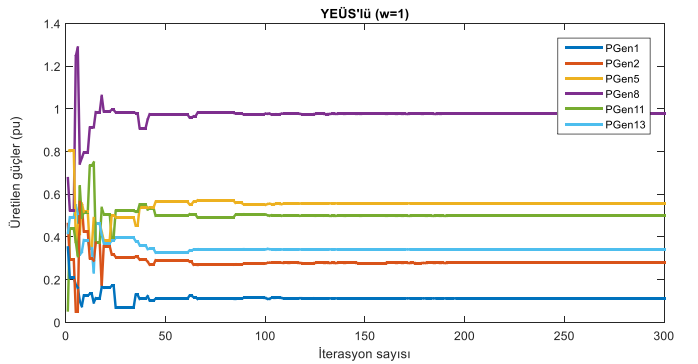
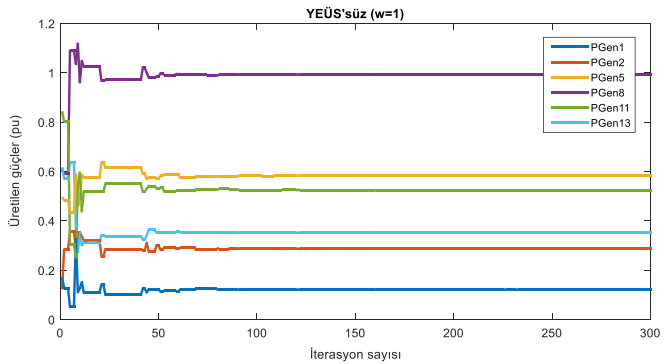
Şekil 3. İterasyon sayısına göre toplam yakıt maliyetlerindeki değişimler



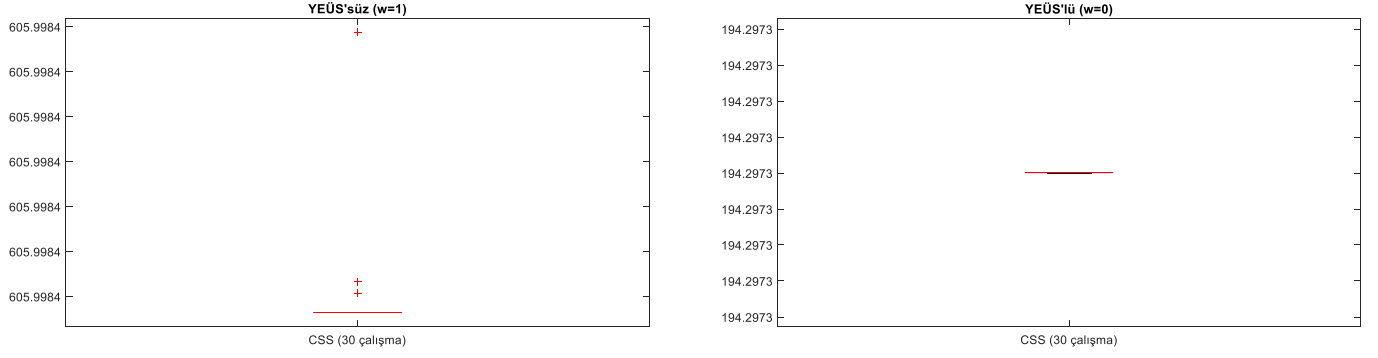
Şekil 4. İterasyon sayısına göre toplam NO_x emisyon miktarlarındaki değişimler



Şekil 5. İterasyon sayısına göre iletim hattı kayıplarındaki değişimler



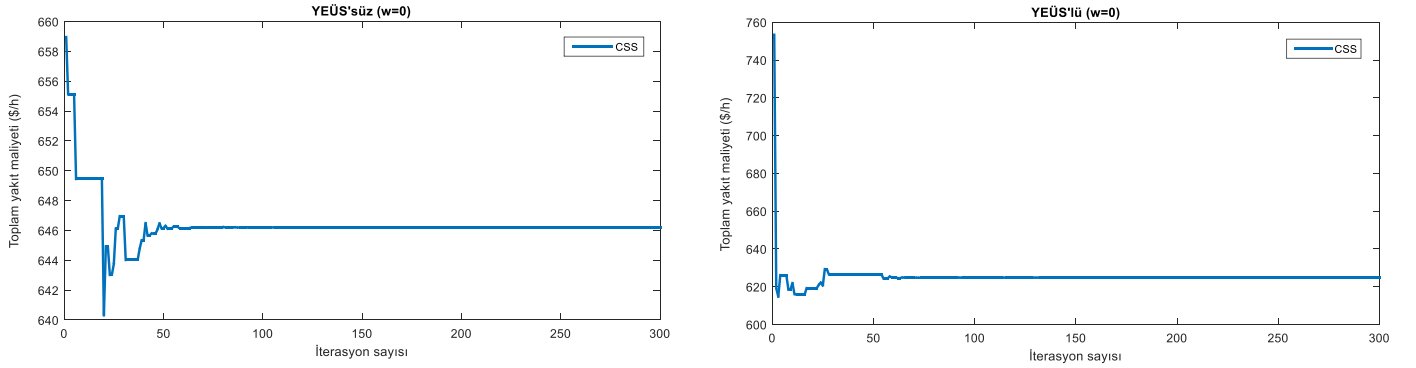
Şekil 6. İterasyon sayısına göre üretilen aktif güçlerdeki değişimler



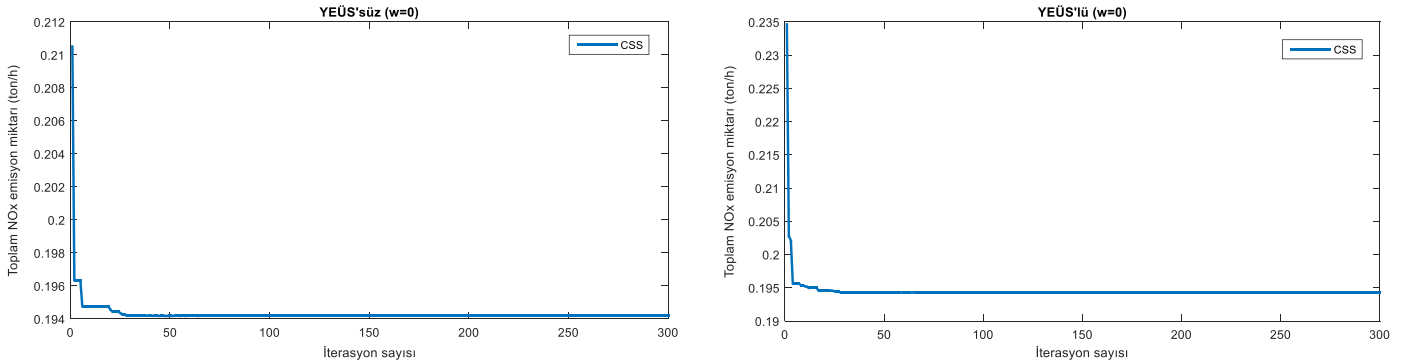
Şekil 7. 30'ar çözüme ait kutu grafikleri

Şekil 3'e bakıldığında yakıt maliyetindeki değişimlerin hem YEÜS'süz hem de YEÜS'lü durum için yaklaşık 45. iterasyonda en iyi değerlerine yakınsadığı görülmektedir. YEÜS'süz durumda toplam yakıt maliyeti değeri $w=1,0$ için $605,998369$ \$/h olarak elde edilmiştir. YEÜS'lü durumda ise toplam yakıt maliyeti değeri $w=1,0$ için $584,923971$ \$/h olarak elde edilmiştir ve iki durum arasında $w=1,0$ için yaklaşık 21 \$/h'lık, ekonomik fayda sağlanmıştır. İletim hattı kayıplarına bakıldığında da YEÜS'lü sistemin iletim hattı kayıpları daha azdır. Kutu grafiklerine bakıldığında ise YEÜS'lü durumda daha kararlı bir arama yapılmıştır, YEÜS'süz durumda 30 çalışmada üç adet sapan değer mevcuttur.

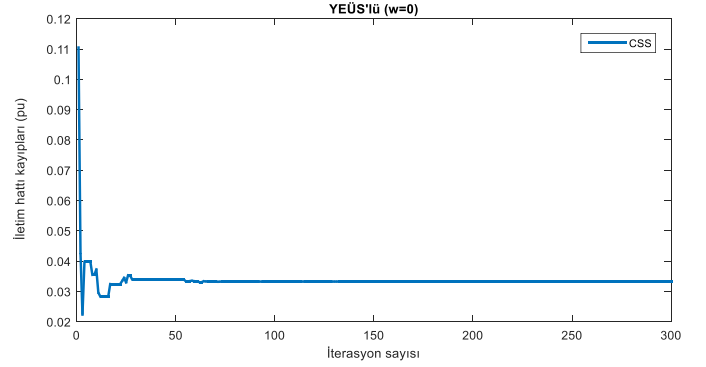
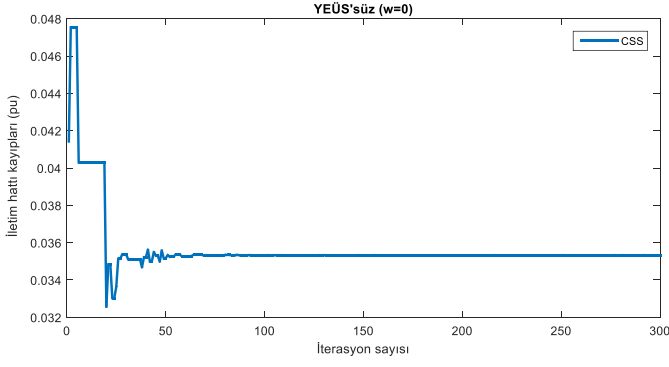
CSS algoritması, birinci ve ikinci durum için sadece toplam NO_x emisyon miktarı göz önüne alınarak ($w=0,0$) örnek güç sistemine uygulandığında elde edilen sırasıyla toplam yakıt maliyetinin iterasyon sayılarına göre değişimleri Şekil 8'de, toplam NO_x emisyon miktarının iterasyon sayılarına göre değişimleri Şekil 9'da, sistemde üretilen güçlerin iterasyon sayılarına göre değişimleri Şekil 10'da, iletim hattı kayıplarının iterasyon sayılarına göre değişimleri Şekil 11'de ve kutu grafikleri ise Şekil 12'de verilmiştir.



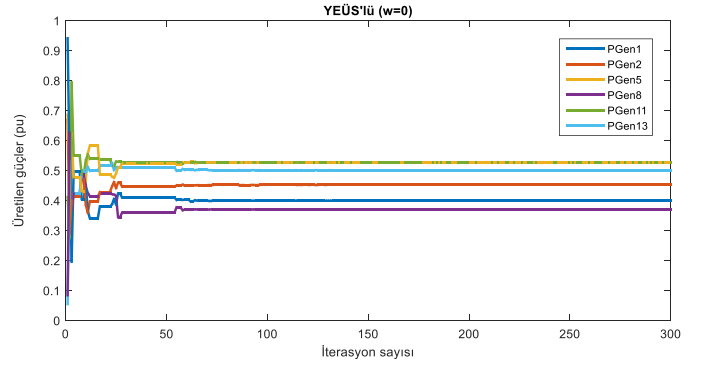
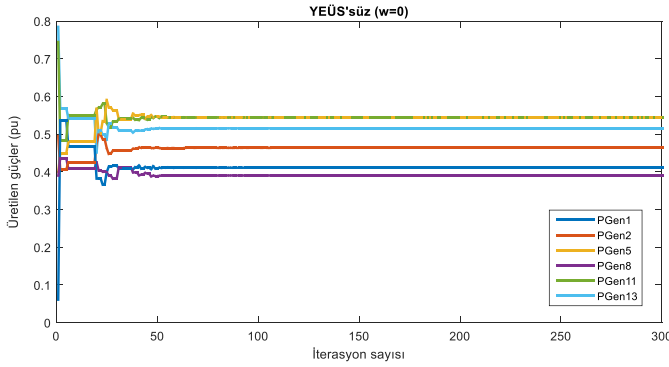
Şekil 8. İterasyon sayısına göre toplam yakıt maliyetlerindeki değişimler



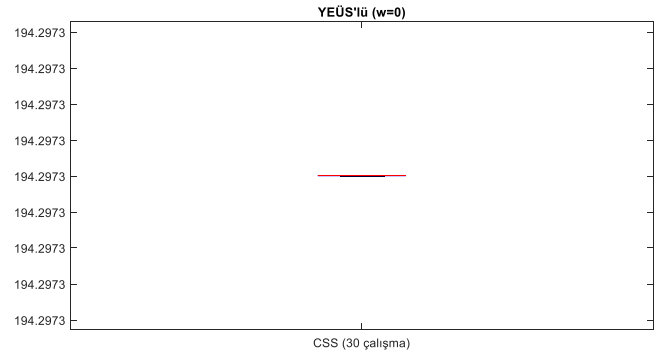
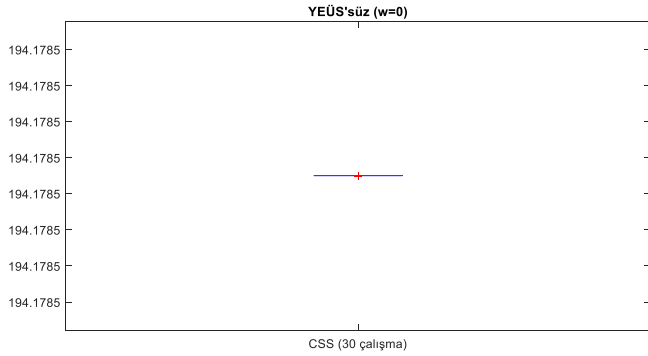
Şekil 9. İterasyon sayısına göre toplam NO_x emisyon miktarlarındaki değişimler



Şekil 10. İterasyon sayısına göre iletim hattı kayıplarındaki değişimler



Şekil 11. İterasyon sayısına göre üretilen aktif güçlerdeki değişimler



Şekil 12. 30'ar çözüme ait kutu grafikleri

$w=0,0$ için verilen grafiklerden Şekil 8 incelendiğinde yakıt maliyetindeki değişimlerin hem YEÜS'süz hem de YEÜS'lü durum için yaklaşık 60. iterasyonda en iyi değerlerine yakınsadığı görülmektedir. YEÜS'süz durumda toplam yakıt maliyeti değeri $w=0,0$ için $646,207000$ \$/h, YEÜS'lü durumda ise $624,801621$ \$/h olarak elde edilmiştir. Bu durumda elde edilen ekonomik fayda yaklaşık 22 \$/h'dir. İletim hattı kayıplarına bakıldığında da iki sisteminde iletim hattı kayıpları yaklaşık aynıdır. Şekil 12'de verilen kutu grafiklerine bakıldığında her iki durum için de kararlı bir arama yapıldığı görülmektedir.

4. Sonuç

Enerji üretim sistemlerinin doğru planlanması ve üretim sırasında çevreye salınan zararlı gazların azaltılması için çevresel/ekonomik güç dağıtım problemlerinin çözümü, elektrik mühendisliğinde oldukça büyük bir öneme sahiptir. Çalışmada konveks yakıt maliyet fonksiyonlarına sahip bir güç sistemi için iki kez çevresel/ekonomik güç dağıtım yapılmıştır. Parasal ve çevresel iki farklı amaç, ağırlıklı toplam metodu kullanılarak aynı amaç fonksiyonunda birleştirilmiştir. İlk durumda mevcut yükün tamamının termik üretim birimleri tarafından karşılandığı kabul edilmiş, ikinci durumda ise belirlenen baralara bağlı yüklerin yenilenebilir enerji üretim sistemleri tarafından beslendiği varsayılmıştır. İki durum içinde aynı güç sistemi, farklı ağırlık değerleriyle CSS algoritması ile 30'ar kez çözülmüştür. Yapılan çözümlerde CSS algoritması birinci durumda $w=1,0$ için $605,998369$ \$/h'lik yakıt maliyeti değerine $6,97118$ sn'de, $w=0,0$ için $0,194178$ ton/h'lik toplam NO_x emisyon miktarı değerine $7,71113$ sn'de yakınsamıştır. Bu durum için iletim hatlarında meydana gelen ve B-kayıp matrisleri ile hesaplanan kayıp aktif güç değeri $w=1,0$ için $0,025562$ pu, $w=0,0$ için $0,035330$ pu olmuştur. Sisteme yenilenebilir enerji santrallerinin eklendiği durumda ise CSS algoritması $w=1,0$ için $584,6239719$ \$/h'lik yakıt maliyeti değerine $6,94812$ sn'de, $w=0,0$ için $0,194297$ ton/h'lik toplam NO_x emisyon miktarı değerine ise

7,53539 sn'de yakınsamıştır. Bu durum için iletim hatlarında meydana gelen kayıp aktif güç değeri $w=1,0$ için 0,024417 pu, $w=0,0$ için 0,033254 pu olmuştur.

Çalışmanın yapılmasındaki amaç yenilenebilir enerji santrallerinin çevresel/ekonomik güç dağıtım probleminde toplam yakıt maliyeti, toplam NOx emisyon miktarı ve iletim hattı kayıpları üzerine etkilerinin yaklaşık olarak hesaplanmasıdır. Daha sonra yapılacak çalışmalarda iletim hattı kayıplarının yük akışı ile daha doğru olarak hesaplanması, sisteme entegre edilecek yenilenebilir enerji santrallerinin şebekeye güç sağladığı varsayılarak etkilerin daha gerçekçi bir yaklaşımla belirlenmesi düşünülmektedir.

Bilgilendirmeler

Bu çalışma Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi destekleriyle Burdur'da düzenlenen 2. Uluslararası Teknoloji ve Bilim (Techno-Science 2019) sempozyumunda özet metin bildirisi olarak sözlü sunulmuştur.

Kaynakça

- Abarghoee, R.A., Niknam, T., Roosta, A., Malekpour, A.R., Zare, M., (2012). Probabilistic multiobjective wind-thermal economic emission dispatch based on point estimated method. *Energy*, 37(1), 322-335.
- Basu, M., (2019). Multi-area dynamic economic emission dispatch of hydro-wind-thermal power system. *Renewable Energy Focus*, 28, 11-35.
- Bhattacharya, A., Chattopadhyay, P.K., (2011). Solving economic emission load problems using hybrid differential evolution. *Applied Soft Computing*, 11, 2526-2537.
- Dubey, H.M., Pandit, M., Roosta, A., Panigrahi, B.K., (2015). Hybrid flower pollination algorithm with time-varying fuzzy selection mechanism for integrated multi-objective dynamic economic dispatch. *Renewable Energy*, 83, 188-202.
- Jadhav, H.T., Roy, R., (2013). Gbest guided artificial bee colony algorithm for environmental/economic dispatch considering wind power, *Expert Systems with Applications*, 40, 6385-6399.
- Jevtic, M., Jovanovic, N., Radosavljevic, J., Klimenta, D., (2017). Moth swarm algorithm for solving combined economic and emission dispatch problem. *Elektronika ir Elektrotehnika*, 23(5), 21-28.
- Jiang, S., Ji, Z., Wang, Y., (2015). A novel gravitational acceleration enhanced particle swarm optimization algorithm for wind-thermal economic emission dispatch problem considering wind power availability, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 73, 1035-1050.
- Kaveh, A., Talatahari, S., (2010). A novel heuristic optimization method: charged system search. *Acta Mechanica*, 213(3-4), 267-289.
- Özyön, S., Temurtaş, H., Durmuş, B., Kuvat, G., (2012). Charged system search algorithm for emission constrained economic power dispatch problem. *Energy*, 46(1), 420-430.
- Özyön, S., Yaşar, C., Temurtaş, H., (2015). Hibrit (Rüzgâr-Güneş) enerji sistemlerinin çevresel ekonomik güç dağıtım üzerine etkilerinin incelenmesi. *International Multidisciplinary Congree of Eurasia (IMCOFE'15)*, 1-5 September 2015, Üsküp, 364-377.
- Tabrizian, Z., Amiri, G.G., Beigy, M.H.A., (2014). Charged system search algorithm utilized for structural damage detection. *Shock and Vibration*, 2014, 1-13.
- Zhu, C., Wang, J., Qu, B., (2014). Multi-objective economic emission dispatch considering wind power using evolutionary algorithm based on decomposition. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 63, 434-445.