

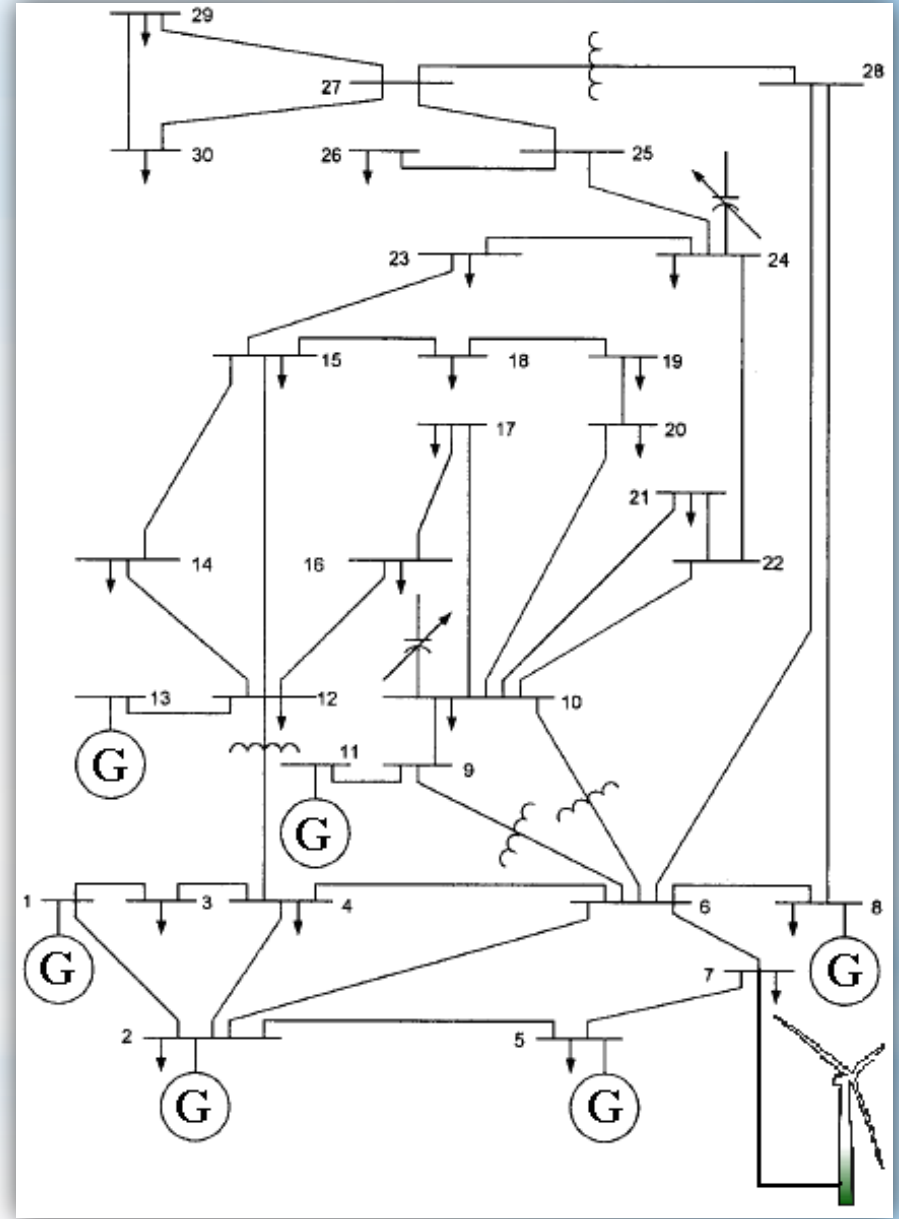
SEZGİSEL ALGORİTMA KULLANILARAK RÜZGÂR ÇİFTLİKLERİNİN GÜÇ SİSTEMİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Öğr. Gör. Mehmet Fatih Tefek

Doç. Dr. Harun Uğuz

* Rüzgâr kaynaklı enerji üretimi, yenilenebilir enerji kaynakları içinde en ileri ve ticari olarak mevcut olanı, aynı zamanda en hızlı gelişenidir. Rüzgâr enerjisinin bu kadar hızlı gelişmesinin nedeni olarak; atmosferde doğal olarak oluşması, kolay kurulumu, teknolojik geliştirilebilirlik ve kullanılabilirliğinin yanında giderek ucuzlayan maliyeti gösterilebilir [1]. Rüzgâr enerjisinden elektrik üretim sürecinin karbondan bağımsız olması, yani atmosfer kirliliğine sebebiyet vermemesi nedeniyle bu kaynak “temiz enerji” olarak nitelendirilmektedir [2]. Rüzgar enerjisi, yakıt maliyeti ve çevre kirliliğine (emisyon) olumlu yönde etki etmektedir. Yani, fosil yakıtların yüksek maliyetini azaltmakta ve dolayısıyla bu yakıtlardan çıkan zehirli gazları da minimize etmektedir.

- * Bu çalışmamızda geleneksel enerji kaynakları ile yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgar enerjisinin yakıt maliyeti ve çevre kirliliğine etkisi, sezgisel optimizasyon algoritması olan Yerçekimsel Arama Algoritması (Gravitational Search Algorithm-GSA) ile incelenmiştir.
- * IEEE 30 baralı aktif güç test sistemine eklenen bir rüzgâr çiftliğinin sisteme etkisi incelenmiştir (Resim 1.).



Resim 1. IEEE-30 baralı test sistemine eklenen rüzgar çiftliği

* IEEE 30 BARALI TEST SİSTEMİ İÇİN OPTİMUM YAKIT MALİYETİ VE EMİSYON HESABI

- * Optimum yakıt maliyeti ve emisyon hesabı, kısıtlamalı, lineer olmayan bir minimizasyon problemi olarak ifade edilir ve bu şekilde formüle edilir [3,4,5,6]. Yakıt maliyeti ve emisyon hesabı olarak iki ayrı amaç fonksiyonu bulunmaktadır.

* 1. Amaç fonksiyonu: Yakıt maliyeti;

$$\sum_{i=1}^{ng} a_i P_{Gi} + \sum_{i=1}^{ng} b_i P_{Gi}^2 + \sum_{j=1}^{nw} d_j P_{wj} \quad (\$/s) \quad D$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada :

a_i, b_i ve c_i : i. jeneratör biriminin yakıt maliyet katsayıları,

d_j : j. rüzgâr jeneratörünün yakıt maliyet katsayısını,

P_{Gi} : i. jeneratörün aktif gücü,

P_{wj} : j. rüzgâr jeneratörünün aktif gücü,

ng : toplam aktif güç jeneratör sayısı ve

nw : ise toplam aktif rüzgâr güç jeneratörü sayısıdır.

Rüzgâr jeneratörü sisteme eklendiğinde “ d ” katsayısı “1” olarak alınır.

* 2. Amaç fonksiyonu: Emisyon hesabı;

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i P_i + \beta_i P_i + \alpha_i P_i + \rho \sum_{i=1}^n P_i$$

Buradaki :

$\gamma_i, \beta_i, \alpha_i$ i. jeneratörün emisyon katsayısı ve ρ ise rüzgar çiftliğinin emisyon katsayısıdır.

Çizelge 1. IEEE-30 baralı test sistemindeki aktif güçlerin maliyet katsayıları ve güç limitleri

Bara No.	Jeneratör birimi	a (\$/MWh ²)	b (\$/MWh)	c (\$)	P_{\min} (MW)	P_{\max} (MW)
1	P _{G1}	0.00375	2.00000	0	50	200
2	P _{G2}	0.01750	1.75000	0	20	80
5	P _{G3}	0.06250	1.00000	0	15	50
8	P _{G4}	0.00835	3.25000	0	10	35
11	P _{G5}	0.02500	3.00000	0	10	30
13	P _{G6}	0.02500	3.00000	0	12	40

Çizelge 1’de IEEE 30 baralı test sisteminin yakıt maliyet katsayıları ve güç sınır değerleri verilmiştir [6]. Bu katsayı değerleri ve kısıtlamalarla en düşük yakıt maliyeti (1)’de hesaplanmaktadır.

Çizelge 2. IEEE 30 baralı test sistemi emisyon katsayıları

Bara No.	Jeneratör birimi	α (kg/MWh ²)	β (kg/MWh)	γ (kg)
1	P _{G1}	0.0126	-1.1000	22.9830
2	P _{G2}	0.0200	-0.1000	25.3130
5	P _{G3}	0.0270	-0.0100	25.5050
8	P _{G4}	0.0291	-0.0050	24.9000
11	P _{G5}	0.0290	-0.0040	24.7000
13	P _{G6}	0.0271	-0.0055	25.3000

Çizelge 2’de IEEE 30 baralı test sistemi emisyon katsayıları verilmiştir [6]. Bu katsayı değerleri ve kısıtlamalarla en düşük emisyon (2)’de hesaplanmaktadır.

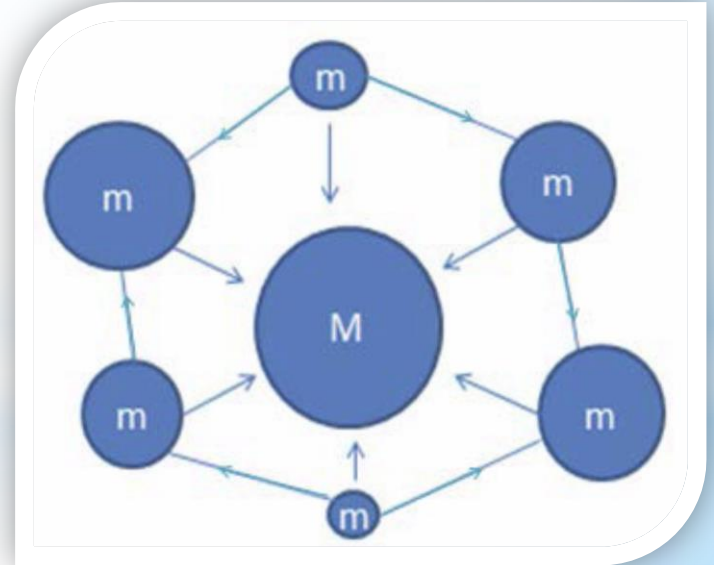
* YERÇEKİMSEL ARAMA ALGORİTMASI (GSA)

- * Güç sistemlerinde yakıt maliyeti ve emisyon hesaplamaları sezgisel tabanlı optimizasyon algoritmaları ile yapılabilmektedir. Bu şekilde daha hızlı ve etkin akış analizleri elde edilmektedir.
- * Bu sezgisel tabanlı optimizasyon yöntemlerden biri de yerçekimsel arama algoritması (Gravitational Search Algorithm-GSA)'dır.
- * GSA, Rashedi ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş Newton'un kütle çekim ve hareket yasasından esinlenilmiş güncel, fizik tabanlı sezgisel optimizasyon algoritmasıdır [7].

- * Arama uzayındaki tüm kütleler Newton'un evrensel çekim kanununa göre birbirlerini çekerler ve yerçekimi kuvveti ile birbirlerine kuvvet uygularlar. Bu şekilde tüm kütleler bir birleri ile etkileşim sağlar. Yerçekimi kuvvetine maruz kalan kütleler arama uzayı içerisinde hareket ederek en uygun sonuca erişmeye çalışırlar [8] (Resim 2.).
- * Arama uzayında kütlesi büyük olan sonuç diğer sonuçları kendine çekerek etkilemektedir. Bu şekilde arama uzayı küresel minimumdan yerel minimuma doğru çekilmektedir ve optimum sonuca ulaşılmaktadır (Resim 3.).



Resim 2. Kütleler arası kuvvet.



Resim 3. Kütlelerin birbirleri ile etkileşimi.

Bu çalışmada kullanılan GSA algoritmasının uygunluk fonksiyonu, kütle hesabı, kuvvet hesabı, ivme hesabı, hız ve konum güncellemesi gibi adımları bulunmaktadır [7].

Uygunluk fonksiyonu ile en iyi ve en kötü uygunluk değeri hesaplanır. Eğer problem minimize yapılmak isteniyorsa (5) ve (6) kullanılır.

$$best(t) = \min ((fit)_j(t)) \quad (5)$$

$$worst(t) = maks((fit)_j(t)) \quad (6)$$

Eğer problem maksimize edilmek isteniyorsa (7) ve (8) kullanılır;

$$best(t) = maks ((fit)_j(t)) \quad (7)$$

$$worst(t) = min((fit)_j(t)) \quad (8)$$

Burada j değeri ; $j = \{1, \dots, N\}$, $(fit)_j(t)$: j. kütlenin t. Jenerasyondaki uygunluk değerini, $best(t)$ ve $worst(t)$ ise sırasıyla t. jenerasyondaki en iyi ve en kötü çözümü ifade etmektedir.

Kütle hesabı (9), (10), (11)'de olduğu gibidir.

$$M_{ai} = M_{pi} = M_{ii} = M_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (9)$$

$$m_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \quad (10)$$

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^N m_j(t)} \quad (11)$$

M_{ai} :i. kütleinin aktif yerçekimsel kütlesi, M_{pi} i. kütleinin pasif yerçekimsel kütlesi, M_{ii} i. kütleinin eylemsizlik kütlesi, M_i eylemsizlik kütlesidir, $m_i(t)$ t. jenerasyondaki i. kütleinin deęeridir.

Kuvvet hesabı (12), (13) ve (14)'te olduğu gibidir.

$$R_{ij}(t) = \|x_i(t), x_j(t)\|_2 \quad (12)$$

$$F_{ij}^d(t) = G(t) \frac{M_{pi}(t) M_{aj}(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (13)$$

(12)' de tanımlanan $R_{ij}(t)$, t. jenerasyondaki i. ve j. kütleleri arasındaki mesafeyi vermektedir.

(13)'de tanımlanan $F_{ij}^d(t)$, t. jenerasyonda d. boyuttaki i ve j kütleleri arasındaki kuvveti; $G(k)$, yerçekimi sabitini; ε , kullanıcı tarafından atanan sabit ve küçük bir değeri; $x_j^d(t)$ ve $x_i^d(t)$ ise t. jenerasyonda i ve j kütlelerinin d. boyuttaki konumlarını belirtir.

Toplam kuvvet ;

$$F_i^d(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^N rand_j F_{ij}^d(t) \quad (14)$$

olarak hesaplanır. Burada $rand_j$, $[0,1]$ aralığında rastgele değişen bir sayıdır.

İvme hesabı;

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_{ii}(t)} \quad (15)$$

olarak tanımlanır. Burada; $a_i^d(t)$: t. jenerasyonda d. boyuttaki i. kütleinin ivmesini verir.

Hız ve konum güncellemesi hesabı ise (16)'da yeni hızın ve (17)'de konumun belirlenmesi şeklindedir.

$$V_i^d(t+1) = rand_i V_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (16)$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + V_i^d(t+1) \quad (17)$$

GSA kullanılarak yapılan yakıt maliyeti ve emisyon hesabı optimizasyonu için kullanılan algoritmanın adımları ve akış diyagramı:

- * Adım 1: GSA başlangıç değerlerini ata, yakıt maliyeti ve emisyon katsayıları ile güç sınırlarını gir.
- * Adım 2: Amaç fonksiyonu olan yakıt maliyeti ve emisyon denklemlerini oluştur. Rastgele değerlerden oluşan N adet kütleli belirle.
- * Adım 3: Her bir kütle için; sırasıyla uygunluk fonksiyonu, kütle hesabı, kuvvet hesabı, ivme hesabı, hız ve konum güncellemesi işlemlerini gerçekleştir.
- * Adım 4: En iyi ve en kötü çözüm değerlerini al.
- * Adım 5: Durdurma kriteri sağlanmadıysa; Adım 3'e git.



* GSA ALGORİTMASININ IEEE-30 BARALI GÜÇ SİSTEMİNE UYGULAMASI

- * IEEE 30 baralı test sisteminde aktif güç olarak 6 adet jeneratör barası bulunmaktadır. Bu baraların üretmiş olduğu güçlere göre yakıt maliyeti ve emisyon hesaplanmaktadır.
- * Çalışmamızda bu güç sistemine eklenen ve maksimum güç kapasitesi 100 MW olan bir rüzgâr çiftliği oluşturulmuştur. Rüzgâr çiftliğindeki her bir rüzgâr türbinin en fazla 2 MW güç ürettiği ve toplamda 50 adet rüzgâr türbini olduğu farz edilmiştir.
- * Oluşturulan rüzgâr çiftliği sisteme 7. aktif güç jeneratörü olarak eklenmiştir. Rüzgâr çiftliğinin güç sisteminin istediği gücü maksimum sınırlar ile vereceği ve rüzgâr hızının sabit olup 12 m/sn. olduğu kabul edilmiştir.
- * Bu çalışmada talep edilen aktif güç 200 MW ve 300 MW olarak alınmış ve bu iki ayrı talebe göre hesaplamalar yapılmıştır. Talep edilen güç ile aktif baraların ürettiği toplam gücün bir birine eşit olması gerekmektedir.

* Sezgisel optimizasyon algoritmaları ile çalışma yapılırken belirli bir iterasyon sayısına göre belirli şartlar altında çalıştırıp problemi çözmek ve en uygun sonucu bulmak gerekmektedir. Bu yüzden algoritma, 50 iterasyon ile 30 kez koşturulmuş ve bu 30 çalışmanın en iyi sonucu ele alınmıştır. GSA'da en iyi çözüm belirlenirken en düşük yakıt maliyeti göz önüne alınmıştır. Denklem (1)'deki minimum yakıt maliyetine göre denklem (2)'deki emisyon hesabı yapılmıştır.

* İlk olarak **rüzgar çiftliği eklenmeden** oluşan yakıt maliyeti ve emisyon hesaplanmış ve Çizelge 3'deki gibi belirtilmiştir.

Çizelge 3. Talep edilen 200 MW güç ve 300 MW güç için en iyi yakıt maliyeti ve emisyon

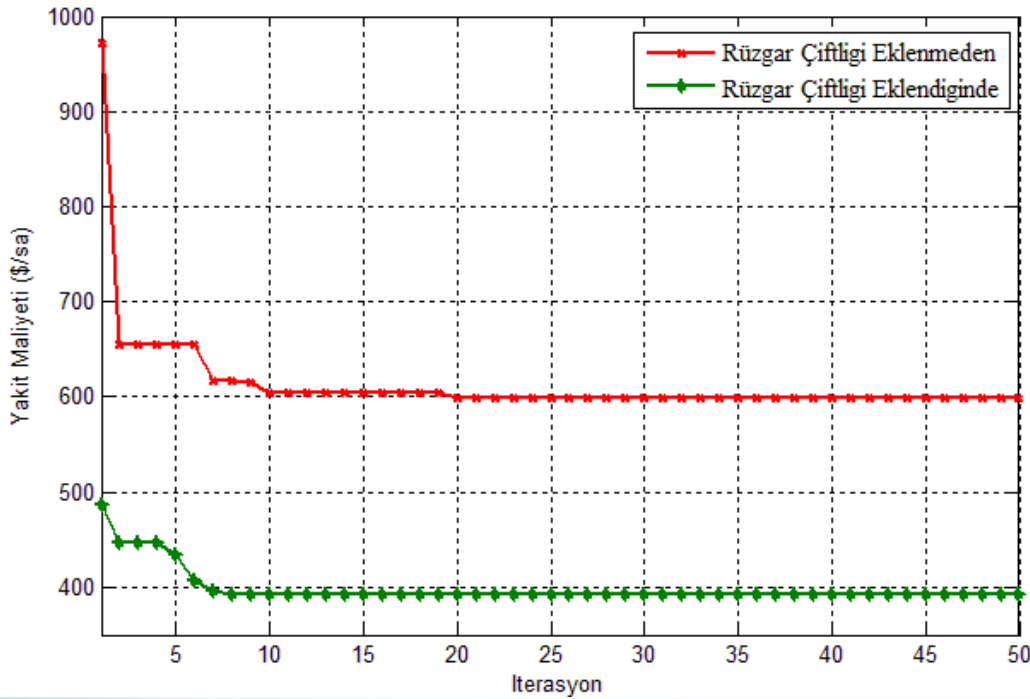
200 MW Talep Edilen Güç İçin		300 MW Talep Edilen Güç İçin	
Jeneratör birimi	GSA ile en iyi çözüm	Jeneratör birimi	GSA ile en iyi çözüm
P_{G1} (MW)	57.615	P_{G1} (MW)	193.273
P_{G2} (MW)	28.805	P_{G2} (MW)	26.024
P_{G3} (MW)	42.067	P_{G3} (MW)	23.701
P_{G4} (MW)	29.348	P_{G4} (MW)	17.795
P_{G5} (MW)	13.613	P_{G5} (MW)	19.086
P_{G6} (MW)	28.580	P_{G6} (MW)	20.895
En İyi Yakıt Maliyeti (\$/sa)	599.463	En İyi Yakıt Maliyeti (\$/sa)	843.271
Emisyon (kg/sa)	419.619	Emisyon (kg/sa)	1032.631
Koşma Zamanı (sn.)	1.424	Koşma Zamanı (sn.)	1.654

* Daha sonra ise **rüzgar çiftliği eklendiğinde** oluşan yakıt maliyeti ve emisyon hesaplanmış ve Çizelge 4'deki gibi belirtilmiştir.

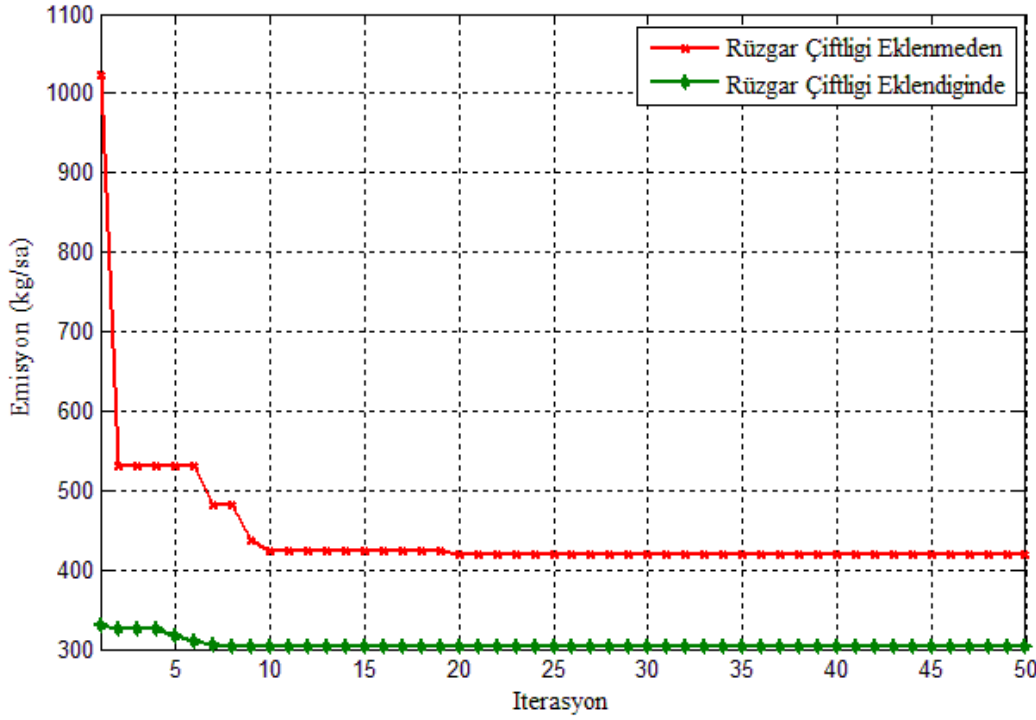
Çizelge 4. Rüzgâr çiftliği sisteme 7. aktif güç jeneratörü olarak eklendiğinde talep edilen 200 MW güç ve 300 MW güç için en iyi yakıt maliyeti ve emisyonu

200 MW Talep Edilen Güç İçin		300 MW Talep Edilen Güç İçin	
Jeneratör birimi	GSA ile en iyi çözüm	Jeneratör birimi	GSA ile en iyi çözüm
P_{G1} (MW)	52.677	P_{G1} (MW)	106.496
P_{G2} (MW)	26.414	P_{G2} (MW)	29.203
P_{G3} (MW)	15.732	P_{G3} (MW)	15.031
P_{G4} (MW)	11.106	P_{G4} (MW)	12.818
P_{G5} (MW)	11.488	P_{G5} (MW)	14.508
P_{G6} (MW)	12.633	P_{G6} (MW)	25.471
P_{G7} (MW)	70.659	P_{G7} (MW)	97.351
En İyi Yakıt Maliyeti (\$/sa)	392.827	En İyi Yakıt Maliyeti (\$/sa)	632.501
Emisyon (kg/sa)	303.783	Emisyon (kg/sa)	518.245
Koşma Zamanı (sn.)	1.367	Koşma Zamanı (sn.)	2.130

- * Rüzgar çiftliği sisteme eklenmeden önce ve eklendikten sonra oluşan en iyi yakıt maliyeti ve buna bağlı olarak değişen emisyon etkisi 200 MW talep edilen güç için Şekil 1 ve Şekil 2, 300 MW talep edilen güç için Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir.

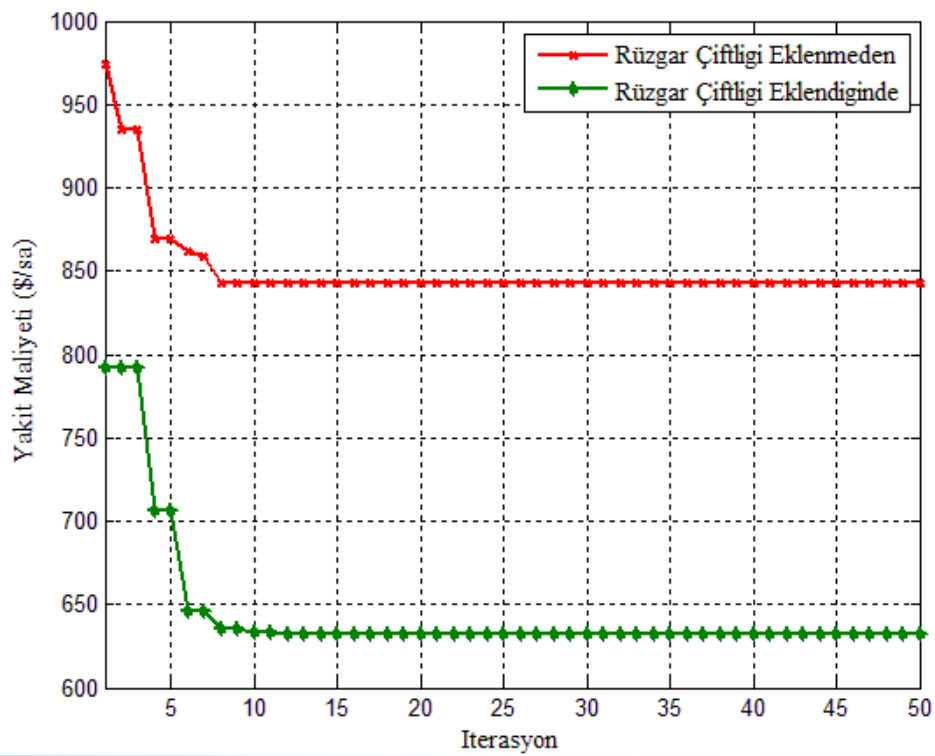


Şekil 1. Talep edilen 200 MW güç için rüzgâr çiftliği eklenmeden ve eklendikten sonra oluşan yakıt maliyeti eğrisi

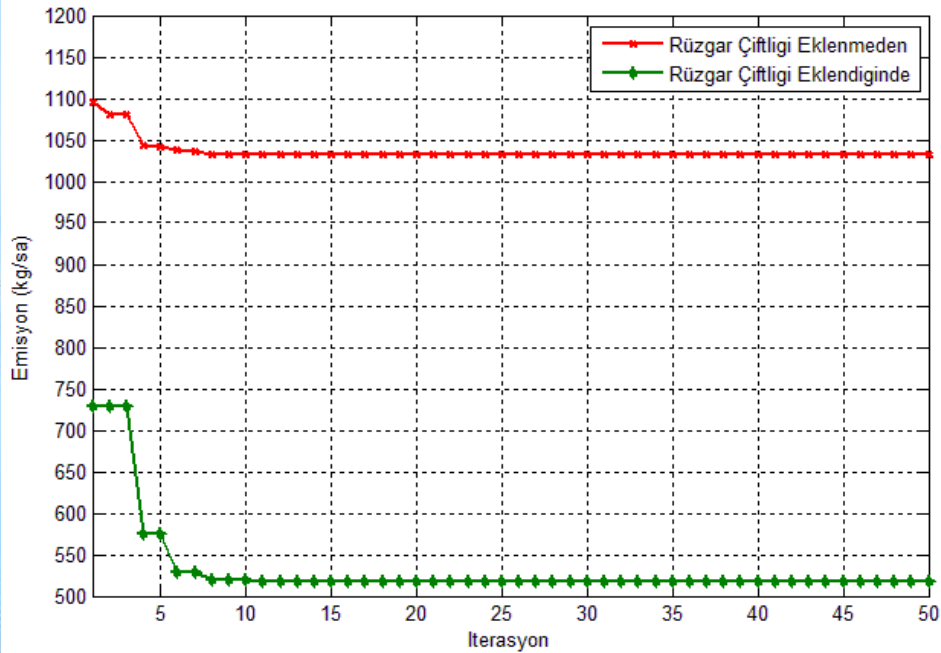


Şekil 2. Talep edilen 200 MW güç için rüzgar çiftliği eklenmeden ve eklendikten sonra oluşan emisyon eğrisi

* Şekil 1 ve Şekil 2’de talep edilen 200 MW güç için yakıt maliyeti düştükçe emisyon değerinin de buna bağlı olarak düştüğü, rüzgar çiftliği eklendiğinde ise hem yakıt maliyetinde hem de emisyon değerinde kayda değer bir düşüş olduğu görülmektedir. GSA’da çalıştırılan iterasyon sayısına göre amaç fonksiyonu olan minimum yakıt maliyeti için en uygun rüzgâr çiftliği aktif güç değeri Çizelge 4’te görüldüğü üzere 70.659 MW olarak hesaplanmıştır. Her bir rüzgâr türbinin en fazla 2 MW güç ürettiği ele alındığında yaklaşık 35 tane rüzgâr türbinin aktif olarak çalıştığını gösterir.



Şekil 3. Talep edilen 300 MW güç için rüzgâr çiftliği eklenmeden ve eklendikten sonra oluşan yakıt maliyeti eğrisi



Şekil 4. Talep edilen 300 MW güç için rüzgar çiftliği eklenmeden ve eklendikten sonra oluşan emisyon eğrisi

* Şekil 3 ve Şekil 4’te talep edilen 300 MW güç için amaç fonksiyonu olan minimum yakıt maliyeti düştükçe emisyon değerinin düştüğü, rüzgar çiftliği eklendiğinde de yakıt maliyetinin düştüğü ve emisyon değerinin de yarıya yakın düştüğü görülmektedir. Çizelge 4’te talep edilen 300 MW güç için rüzgâr çiftliğinin sisteme 97.351 MW güç sağladığı görülmektedir. Bu da yaklaşık 49 tane rüzgâr türbinin aktif olarak çalıştığını gösterir.

- * Talep edilen 200 MW ve 300 MW güçler için kazanç Çizelge 5’te gösterilmiştir. Kazanç hesaplanırken Çizelge 3’te gösterilen yakıt maliyeti ve emisyon değerleri ile rüzgar çiftliği eklendiğinde oluşan ve Çizelge 4’te gösterilen yakıt maliyeti ve emisyon değerleri farkı alınmıştır.

Çizelge 5. Rüzgâr çiftliği eklendiğinde talep edilen 200 MW ve 300 MW güçler için kazanç

Kazanç Türü	200 MW Talep Edilen Güç İçin	Kazanç Türü	300 MW Talep Edilen Güç İçin
Yakıt Maliyeti (\$/sa)	206,68	Yakıt Maliyeti (\$/sa)	210,770
Emisyon (kg/sa)	115.836	Emisyon (kg/sa)	514,386

* SONUÇ

- * Bu çalışmada geleneksel enerji kaynaklarından oluşan bir güç sistemine, yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan rüzgâr çiftliği eklendiğinde bu çiftliğin yakıt maliyetine ve emisyona olan olumlu etkileri incelenmiştir. Talep edilen 200 MW güç için Çizelge 5'te yakıt maliyeti kazancı saatte 206.68 \$ olarak emisyon kazancı ise 115.836 kg olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde talep edilen 300 MW güç için Çizelge 5'te yakıt maliyeti kazancı saatte 210.77 \$, emisyon kazancı ise 514.386 kg olarak hesaplanmıştır. Saat birimini yıla çevirdiğimizde kazanç miktarının çok daha büyük olduğu görülebilmektedir.

- * Rüzgâr çiftlikleri yakıt maliyetini azaltarak fosil kaynaklara bağımlılığı azaltmakta ve emisyonu düşürerek çevre kirliliğini önlemektedir. GSA ile yapılan bu çalışmada, algoritmanın sınırlı ve lineer olmayan güç akış problemine etkin, hızlı bir çözüm getirdiğini ve bu tür güç problemlerine uygulanabileceği görülmüştür.

**DİNLEDİĞİNİZ İÇİN
TEŞEKKÜR EDERİM.**

* KAYNAKLAR

- * [1] Topçu, S., Menteş Ş. S., Yurdanur, S. Ü., Aslan Z., 2001. Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin belirlenmesinde Yer Seçiminin Önemi: Sinop Örneği, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası, II. Çevre ve Enerji Kongresi*, İstanbul, s. 145-154.
- * [2] Peker Z., 2001. Rüzgâr Enerjisinin Çevresel Etkileri ve Bu Etkilerin Azaltılmasında Planlamanın Rolü, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası, II. Çevre ve Enerji Kongresi*, İstanbul, s. 36-40.
- * [3] Huneault M., Galiona F.D., 1991. A Survey of the Optimal Power Flow Literature, *IEEE Trans. On Power Systems*, Vol.6(2), s. 762-770.
- * [4] Talaq J., F., El-Hawary M., 1994. A summary of Environmental/Economic Dispatch Algoritihms, *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 9(3), s. 1508-1516.
- * [5] Lamont J., Obessis E., 1995. Emission Dispatch Models and Algorithms for the 1990's, *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 10(2), s. 941-947.
- * [6] Alsac O, Stott B.,1974. Optimal load flow with steady-state security, *IEEE Trans Power Apparatus System* , Vol. 93(3) , s. 745–751.
- * [7] Rashedi, E., Nezamabadi-pour, H., Saryazdi, S., 2009. GSA: A Gravitational Search Algorithm, *Information Sciences* , Vol. 179 (13), s. 2232–2248.
- * [8] Yalçın ,N., Çakır,S., Kesler,M., Kazak,N.,2012, Yerçekimsel Arama Algoritması ile PID Denetleç Parametrelerinin Tespiti, *ELECO '2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, s. 725-729.
- * [9] Duman, S., Guvenc, U., Sonmez Y., Yorukeren N., 2012, Optimal power flow using gravitational search algorithm, *Energy Conversion and Management*, Vol. 59, s. 86-95.
- *