

İLETİM SİSTEMLERİNDEKİ AKTİF GÜÇ KAYBINININ SEZGİSEL YÖNTEMLERLE MINİMİZASYONU

Volkan YAMAÇLI¹ Kadir ABACI²

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin Üniversitesi

¹vyamacli@mersin.edu.tr, ²kabaci@mersin.edu.tr

ÖZET

Bu çalışma PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu) ve YAK (Yapay Arı Kolonisi) sezgisel optimizasyon algoritmaları kullanarak enerji tasarrufu amacıyla enerji iletim sistemlerinde toplam güç kaybının minimize edilmesini konu almaktadır. Sezgisel algoritmalar yaklaşım metoduyla çözüme varan klasik ve nümerik algoritmalara göre, Lagrange ve Newton gibi, daha hızlı ve daha verimli sonuç elde edebilir. PSO ve YAK algoritmaları iyi bilinen ve literatürde sık biçimde kullanılan doğa temelli sezgisel optimizasyon algoritmalarıdır. Bu çalışmada seçilen 5-baralı güç sistemini simüle ve optimize etmek için MATLAB m-file kullanılarak oluşturulan PSO ve YAK algoritmaları kullanılmıştır. Bu sezgisel optimizasyon algoritmalarının toplam güç kaybı en aza indirerek enerji tasarrufu sorunu için matematiksel yöntemlere göre daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir.

I. Giriş

Optimal güç akışı, güç sistemlerinin doğrusal olmayan kısıtlı ve bazen birleşik optimizasyon sorunlarından biridir. Bu tür sorunların çözümü için çeşitli algoritmalar literatürde yer almaktadır. Optimal güç akışı problemi Carpentier'den bu yana sürekli geliştirilmiştir 1962 [1].

Bu çok boyutlu, doğrusal olmayan matematiksel programlama problemini çözmek için verimli algoritmalar geliştirmek yıllar almıştır. Birçok farklı matematiksel yaklaşım literatüre denenmiş ve sunulmuştur [2]. Sistemin toplam üretim maliyetini azaltmak amacıyla generatör güçlerinin optimizasyonu güç sistemlerinde en yaygın problemlerden biridir. Bazı durumlarda toplam maliyet, sistemin güç kaybında artış olmasına rağmen azaltılmaktadır. Günümüzde yeraltı kaynakları tükenme eğilimindedir ve bu nedenle güç sistemlerindeki toplam güç kaybını en aza indirmek için, güç kaybının optimizasyonu önemli bir yer tutmaya başlamıştır.

Çeşitli matematiksel yöntemler ve doğa temelli yapay algoritmalar güç akışı problemleri toplam üretim maliyetini azaltmak için kullanılır, dolayısıyla bu

yöntemler güç kaybını en aza indirmek için de güç akış problemlerine uygulanabilirler.

Diferansiyel Gelişim [3], Yapay Arı Kolonisi [4], Parçacık Sürü Optimizasyonu [5], Genetik Algoritma [6] optimal güç akışı çözümü ve toplam güç kaybını optimize etmek amacıyla literatürde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Şekil 3'de verilen 5-baralı test güç sistemi PSO, YAK ve B-Katsayıları yöntemini kullanan Lagrange metodlarıyla aktif güç kaybını optimize etmek amacıyla çözülmüştür.

Sonuçlar incelendiğinde sezgisel yöntemlerin, verilen güç sistemini klasik yöntemlere nazaran daha verimli ve daha iyi yaklaşım yapan bir biçimde çözüme ulaştırdığı görülmektedir.

II. GÜÇ AKIŞI ANALİZİ

A. Güç Akışı

Bir güç sistemine uygulanan güç akışı probleminde, baraların gerilim değerleri ile generatörlerin gerçek ve reaktif güç değerleri güç akışı analizi ile aranmaktadır.

Sistem denklemleri çeşitli biçimlerde formüle edilebilir. Ancak genellikle güç sistemlerinin analizi için en uygun olacak biçimde düğüm gerilim yöntemi kullanılır.

Düğüm akımları belirlendiğinde, güç sisteminin lineer denklem kümesi düğüm gerilimleri [7] ile çözülebilir.

Fakat bir güç sisteminde düğüm akımları bilinmemektedir. Bu nedenle düğüm denklemlerinin bara admitans matrisi kullanılarak oluşturulması gerekmektedir.

$$[I_{BARA}] = [Y_{BARA}][V_{BARA}]$$

Böylece güç sistemi denklemleri çok boyutlu ve doğrusal-olmayan hale gelmektedir, dolayısıyla sistemin çözümünde iteratif yaklaşım kullanılmaktadır.

B. Newton-Raphson Metodu

Newton-Raphson yöntemi iteratif bir biçimde çalışan, en yaygın güç akışı çözüm yöntemlerinden biridir. Bu yöntem Taylor serisi açılımı dayanan ve kısa sürede çözüme iyi derecede yaklaşan klasik bir yöntemdir.

Bara değişkenleri; n toplam bara sayısı, i ve j bara numaraları olarak belirtilmektedir [2].

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (2)$$

Aktif ve reaktif güç denklemleri ise (3) ve (4) numaralı eşitliklerde; θ_{ij} , δ_i ve δ_j sırasıyla Y_{ij} , V_i ve V_j sistem değişkenlerinin açısı olarak belirtilir.

$$P_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (4)$$

Newton-Raphson iteratif yöntemi ile işlenen ve kullanılan temel denklem sistemi ise (5) ile verilen, $B=J \times X$ denklemdir.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}$$

Burada J_1 , J_2 , J_3 ve J_4 J-jacobian matrisinin alt matrisleridir. B , ΔP ve ΔQ 'nun; X ise $\Delta \delta$ ve ΔV 'nin matrisleridir.

J-jacobian matrisinin köşegen ve köşegen olmayan elemanları [7],

$$(1) J_{1_d} = \sum_{j \neq 1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (6.1)$$

$$J_{1_{off-d}} = -|Y_{ij}| |V_i| |V_j| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i$$

$$J_{2_d} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} \sum_{j \neq 1}^n |Y_{ij}| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (6.2)$$

$$J_{2_{off-d}} = -|V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i$$

$$J_{3_d} = \sum_{j \neq 1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (6.3)$$

$$J_{3_{off-d}} = -|Y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i$$

$$J_{4_d} = -2|V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} \sum_{j \neq 1}^n |Y_{ij}| |V_j| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (6.4)$$

$$J_{4_{off-d}} = -|V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i$$

B ve X matrislerinin elemanları ise,

$$\Delta P_i^{(k+1)} = P_i^{(k+1)} - P_i^k \quad (7)$$

$$\Delta Q_i^{(k+1)} = Q_i^{(k+1)} - Q_i^k$$

$$\Delta \delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k+1)} - \delta_i^k \quad (8)$$

$$\Delta V_i^{(k+1)} = V_i^{(k+1)} - V_i^k$$

olarak belirlenir. (k=iterasyon sayısı)

$\Delta \delta$ ve ΔV 'nin başlangıç değerleri genellikle kullanıcı tarafından belirlenerek sırasıyla 0 ve 1 olarak atanır. Newton-Raphson algoritması (5) ile verilen eşitlikteki ΔP ve ΔQ elemanlarının belirlenen bir değere yaklaşmasına kadar devam eder. Bu yaklaşım değeri genellikle $1e-6$ olarak seçilmektedir.

C. B-Katsayıları Kayıp Hesaplama Tekniği

Ekonomik dağıtım yaklaşımı, ceza faktörleri ya da artan kayıplar her zaman çözüm algoritması en önemli noktalardandır ve B-katsayısı yöntemi muhtemelen en popüler klasik tekniklerden biridir. Güç kaybı George tarafından geliştirilen ve kuadratik formdaki bara üretim denklemleri ve B-katsayıları kullanılarak ifade edilmektedir [8].

$$P_m = \sum_{i=1}^{NG} D_{m,i} P_{G_i} \quad m = 1, \dots, NL$$

$$P_L = \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j=1}^{NG} B_{ij} P_{G_i} P_{G_j}$$

Aktif güç kaybı denklemi,

$$\frac{\partial P_L}{\partial P_{G_i}} = 2 \sum_{j=1}^{NG} B_{ij} P_{G_j} \quad (10)$$

(10) numaralı denklemin türevi alınırsa,

$$B_{ij} = \frac{\partial^2 P_L}{2 \partial P_{G_i} \partial P_{G_j}} \quad (11)$$

Sistem kaybı iletim hatlarındaki kayıpların toplamı olarak ifade edilebilmektedir dolayısıyla,

$$P_L = \sum_{m=1}^{NL} R_m P_m^2 \quad (12)$$

(1) eşitliği (12)'de yerine yazılırsa,

$$P_L = \sum_{m=1}^{NL} R_m \left(\sum_{i=1}^{NG} D_{m,i} P_{G_i} \right)^2 \quad (13)$$

Böylece (11) ve (13) denklemleri birleştirilerek (14) toplam aktif güç kaybı formülü elde edilir.

$$B_{ij} = \sum_{m=1}^{NL} R_m D_{m,i} D_{m,j} \quad (14)$$

Burada;

B_{ij} kayıp katsayısı ,

P_L toplam aktif güç kaybı,

NG generatör sayısı,

NL iletim hattı sayısı,

R_m m iletim hattının direnci,

P_m m iletim hattından akan güç,

D_m m iletim hattındaki üretim faktörü'dür.

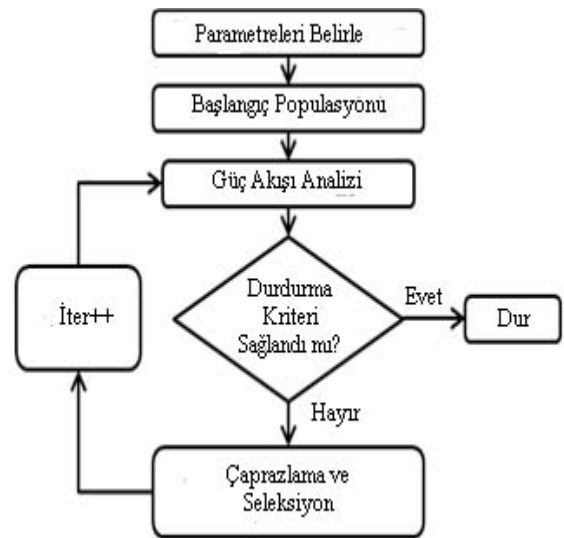
III. SEZGİSEL OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ

Doğrusal olmayan sistemlerin optimizasyonu matematik ve mühendislik alanında zor bir problemdir. Klasik matematiksel metotlar kullanarak doğrusal olmayan ve çok boyutlu bir sistemin maksimum ve minimum noktalarını kesin olarak tahmin etmek zahmetlidir. Dolayısıyla, sezgisel optimizasyon yöntemleri kullanarak bu tip sistemlerin maksimum ve minimum yaklaşımları çok daha hızlı ve kesin bir biçimde yapılabilir.

A. Parçacık Sürü Optimizasyonu

Parçacık sürü optimizasyon metodu, doğada yaşayan canlı sürülerinin yiyecek veya yön bulma davranışlarını esas alan bir yöntemdir. Bu yöntemde belirli sınırlar içinde çeşitli yönlere dağılan sürü parçacıkları, en iyi yiyecek kaynağını bulmaya yönelik çalışırlar. İlk iterasyonlar sonucunda elde edilen en iyi değer, rastgele olarak geride kalmış olan diğer parçacıklara etki ederek en iyi yiyecek kaynağı yönüne doğru hızlanma sağlamakta ve yaklaştırmaktadır.

Algoritmanın akış diyagramı Şekil 1 ile verilmiştir.

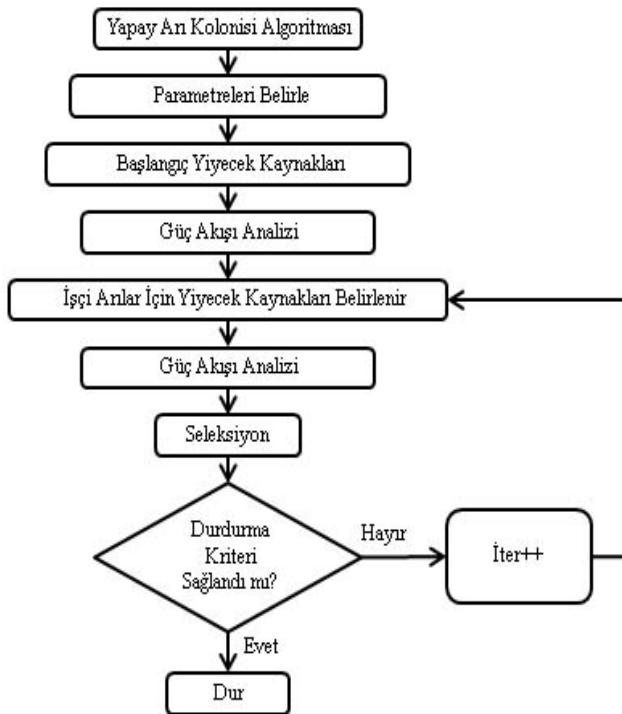


Şekil 1. PSO Akış Diyagramı

B. Yapay Arı Kolonisi Algoritması

Yapay arı kolonisi algoritması, Derviş Karaboğa [9] tarafından 2005 yılında bal arılarının davranışlarını temel alarak ortaya atılan sezgisel bir algoritmadır. Bu metot diferansiyel gelişim ve parçacık sürü optimizasyonu gibi basit ve anlaşılırdır [10].

YAK, diğer sezgisel algoritmalarla aynı prosedürü kullanır fakat buna ek olarak geliştirilemeyen yiyecek kaynağının terk edilmesi özelliğine de sahiptir. Algoritmanın akış diyagramı Şekil 2 ile verilmiştir.



Şekil 2. YAK akış diyagramı

PSO ve YAK için ilk popülasyon üretme denklemi (15) ile verilmektedir.

$$x_{ij} = x_{\min}^j + rand(x_{\max}^j - x_{\min}^j) \quad (15)$$

Ayrıca PSO ve YAK algoritmaları için yeni kaynak üretme denklemi ise sırasıyla (16) ve (17) ile verilmektedir.

$$v_i = w \cdot x_{best} + K(x_{r1} - x_i) - F(x_{r2} - x_{r3})$$

$$x_i \neq x_{r1} \neq x_{r2} \neq x_{r3}$$

$$v_{ij} = x_{ij} + r_{ij}(x_{ij} - x_{hj}) \quad h \neq i \quad (17)$$

Burada;

i popülasyon ve j ise boyut değişkeni,
w ağırlık değişkeni,

x_{\max} maksimum güç üretimi,

x_{\min} minimum güç üretimi,

x_i i. iterasyonda elde edilen güç,

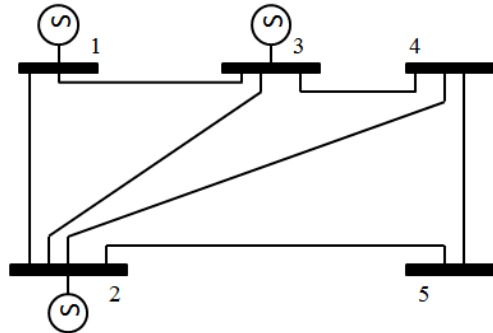
x_{r1}, x_{r2}, x_{r3} rastgele seçilen popülasyonlar

h rastgele seçilen yiyecek kaynağı,

r_{ij} [-1,1] arasında bir rastgele sayı.

IV. SİMÜLASYON

Şekil 3 ile verilen 5-baralı güç sistemindeki aktif güç kayıpları PSO ve YAK algoritmalarının MATLAB ortamında m-file olarak kullanılması ile optimize edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, literatürde verilen B-katsayıları yöntemi kullanan Lagrange metodu ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. 5-baralı güç sistemi[7]

Üretim maliyet denklemleri (18) ile verilmiştir. C_1 , C_2 ve C_3 generatör numaralarına göre olan maliyet denklemini vermektedir.

$$C_1 = 200 + 7P_1 + 0.008P_1^2$$

$$C_2 = 180 + 6.3P_2 + 0.009P_2^2$$

$$C_3 = 140 + 6.8P_3 + 0.007P_3^2$$

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3 \quad (\$/h) \quad (18)$$

Generatörlerin gerilim değerleri sırasıyla $V_1=1.06$, $V_2=1.045$, $V_3=1.03$.

Lagrange metodu da verilen güç sistemine (16) optimizasyon amacıyla uygulanmıştır [7].

Simülasyon sonuçları Tablo 1, Şekil 4 ve Şekil 5 ile verilmiştir. Sonuçlardan

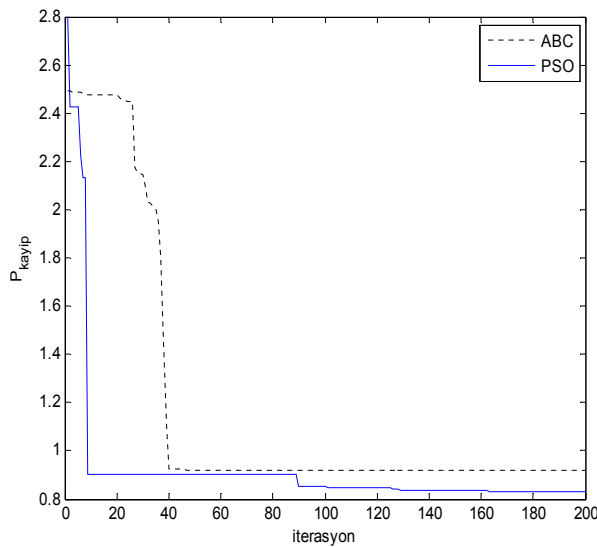
görülmektedir ki, üretim maliyeti az bir miktarda artsa dahi aktif güç kaybı ideal bir şekilde minimize edilebilmektedir.

Şekil 4 ve 5'de görüldüğü üzere, PSO ve YAK algoritmaları yaklaşık olarak aynı değerlere yakınsamaktadırlar. YAK yöntemi ile minimum aktif güç kaybı daha az iterasyonla daha kısa sürede elde edilmiştir.

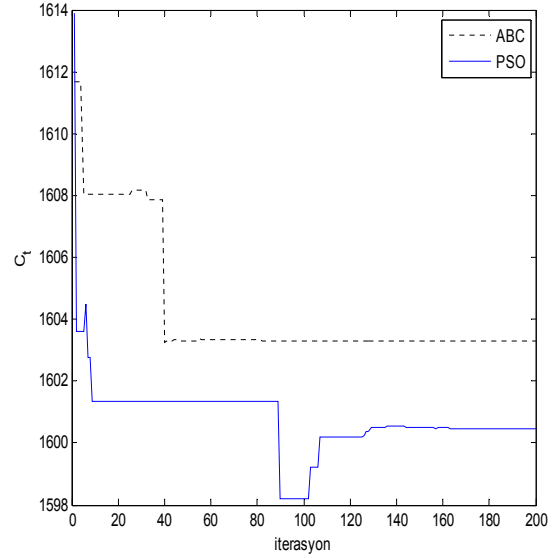
Bu simülasyon çalışmasının asıl amacı aktif güç kaybını minimize etmek olmasında rağmen, toplam üretim gücünün de kabul edilebilir bir şekilde azaltıldığı verilen iterasyon grafiklerinden görülmektedir.

TABLO.1 SİMÜLASYON SONUÇLARI

Param.	Metot		
	PSO	YAK	Lagrange
P_1	72.850 MW	72.933 MW	23.649 MW
P_2	34.312 MW	34.379 MW	69.518 MW
P_3	42.837 MW	42.687 MW	58.990 MW
P_{total}	150.830 MW	150.900 MW	152.154 MW
P_{loss}	0.83 MW	0.92 MW	2.154 MW
C_{total}	1600.31 \$/h	1602.34 \$/h	1596.96 \$/h



Şekil 4. Toplam aktif güç kaybı



Şekil 5. Toplam üretim maliyeti

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, klasik matematiksel metotlardan biri olan Lagrange metodu ile sezgisel metotları karşılaştırılmıştır. Verilen sezgisel optimizasyon yöntemlerinin lineer olmayan sistemlerdeki üstünlüğü açıkça görülmektedir.

Sezgisel algoritmaların toplam aktif güç kaybının minimizasyonunda kullanılabileceği simülasyon sonuçlarında da görülmektedir. Ayrıca YAK algoritmasının PSO algoritmasına nazaran daha kararlı bir biçimde yakınsadığı aşıkardır.

Böylece, sezgisel optimizasyon metotlarının mühendislik alanındaki birçok problemde olduğu gibi güç sistemlerindeki doğrusal olmayan ve çok boyutlu optimizasyon problemlerine de uygulanabileceği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] M.R. AlRashidi and M.E. El-Hawary, "Hybrid particle swarm optimization approach for solving discrete OPF problem considering the valve loading effects," IEEE Trans. on Power Systems, vol. 22, pp. 2030–2038, 2007.
- [2] U. Leeton, D. Uthitsinthorn, U. Kwannetr, N. Sinsuphun and T.

- Kulwiranichpong, "Power loss minimization using optimal power flow based on particle swarm optimization," ETI-CON 2010 Int. Conference, 19-21 May 2010.
- [3] K. Vaisakh, M. Sridhar, K.S. Murthy, "Differential evolution particle swarm optimization algorithm for reduction of network loss and voltage instability," NaBIC, 9-11 Dec. 2009.
- [4] C. Sumpavakup, I. Srikun, and S. Chusanapiputt, "A solution to the optimal power flow using artificial bee colony algorithm," International Conference of Power System Technology, 24-28 Oct. 2010.
- [5] C.B.M. Oliveira, M.F. de Medeiros, J.T. de Oliveira, "New method based in particle swarm optimization for power factor remote control and loss minimization in power systems with wind farms connected," ISAP'09, 8-12 Nov. 2009.
- [6] I.M. Malik, D. Srinivasan, "Optimum power flow using flexible genetic algorithm model in practical power systems," IPEC Conference Proceedings, 27-29 Oct. 2010.
- [7] H. Saadat, Power System Analysis, McGraw-Hill Primis, July 2002.
- [8] Y.C. Chang, W.T. Yang, C.C. Liu, "A new method for calculating loss coefficients," IEEE Trans. on Power Systems, vol. 9, no. 3, pp. 1665-1671, August 1994.
- [9] D. Karaboğa, Yapay Zeka Optimizasyon Teknikleri, Nobel, February 2011.
- [10] C. Öztürk, D. Karaboğa, B. Görkemli, "Artificial Bee Colony Algorithm for Dynamic Deployment of Wireless Sensor Networks," Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, In Press.

Ek A

TABLO.2 BARALARIN GÜÇ DEĞERLERİ

Bar a No.	Aktif ve Reaktif Güç			
	Üretim		Yük	
1	Slack Bus (N/A)		Slack Bus (Sıfır)	
2	40 MW	N/A	20 MW	10 MVAR
3	30 MW	N/A	20 MW	15 MVAR
4	-		50 MW	30 MVAR
5	-		60 MW	40 MVAR

TABLO.3 HAT BİLGİLERİ

Hat (Bara- Bara)	Hat Bilgisi (p.u)	
	Empedans	Suseptans (0.5B)
1-2	0.02+j0.06	0.030
1-3	0.08+j0.24	0.025
2-3	0.06+j0.18	0.020
2-4	0.06+j0.18	0.020
2-5	0.04+j0.12	0.015
3-4	0.01+j0.03	0.010
4-5	0.08+j0.24	0.025

Ek B

TABLO.4 SEZGİSEL ALGORİTMALARIN
PARAMETRELERİ

Parametre	Metot	
	PSO	YAK
Generatörlerin Alt ve Üst Üretim Değerleri	[0,100]	[0,100]
Maksimum İterasyon Sayısı	500	500
Durma Kriteri	$P_{loss} < 1e-12$	$P_{loss} < 1e-12$
Popülasyon & Yiyecek Kaynağı Sayısı	10	10
Hata Sayacı	-	20
CR	0.8	-
K	0.5	-
F	1	-