

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Armoni Araması Yöntemi ile Elektrik Dağıtım Sistemlerinin Yeniden Yapılandırılması: Elektrikli Araçların Etkisi**

Oğuzhan CEYLAN\*

*Kadir Has Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, İstanbul  
(ORCID: 0000-0002-0892-6380)*

---

### **Öz**

Bilindiği üzere son yirmi yılda elektrik güç sistemleri yoğun değişimler yaşamıştır. Elektrik piyasalarının yapısı değişmiş, tüm dünyada elektrik dağıtım sistemlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının ve elektrikli araçların (EA) kullanımı gün geçtikçe artmıştır. Pek çok ekonomik ve çevresel getirisi bulunan EA'ların menzillerinin sınırlı olması, neredeyse her gün şarj edilmelerini gerektirmekte ve bu da elektrik güç sistemine ek yük getirmektedir. Bu çalışmada elektrik dağıtım sistemlerinde çok sayıda EA olması durumunda karşılaşılan gerilim problemleri ve kayıpları minimize etmek için yeniden yapılandırma yaklaşımı incelenmektedir. Eniyileme probleminin çözümü için armoni araması yöntemi (AAY) kullanılmaktadır. Ortaya konan yaklaşımla, sistemde farklı sayıda EA ve dağıtık generatör olması durumları dikkate alınarak IEEE 33 bara test sisteminde çözümlenmekte ve ardından sonuçlara yer verilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Elektrik dağıtım sistemleri, yeniden yapılandırma, eniyileme, armoni araması yöntemi.

---

## **Reconfiguration of Electrical Distribution Systems by Harmony Search Method: Impact of Electrical Vehicles**

---

### **Abstract**

As known power systems have faced dramatic changes for two decades. The structure of the electricity markets have changed, the usage levels of renewable energy sources and electrical vehicles (EV) increased more day by day in power distribution systems. This study deals with encountered problems of distribution systems with large number of EVs. EVs have several advantages in terms of environmental and economical facts however generally their driving range is limited, hence they have to be recharged nearly every day and this brings additional load to the system. This study aims at solving voltage problems and power loss problems in distribution systems in the existence of large number of electrical vehicles. Optimization problem is solved by harmony search (HS) algorithm. Proposed approach is tested on IEEE 33 bus test system with distributed generators and results are presented.

**Keywords:** power distribution systems, reconfiguration, optimization, harmony search method.

---

### **1. Giriş**

Elektrik güç sistemleri son yıllarda büyük değişimlerden geçmektedir. İlk akla gelenleri, elektrik idaresinin dikey yapıdan yatay yapıya geçmesi ve özellikle dağıtım sistemlerinin özelleşmesidir. Dünyadaki bu eğilime ülkemiz de ayak uydurmuştur. Ayrıca, özellikle, bilişim teknolojilerinin, elektronik teknolojilerinin hızlı ilerleyişi, bu teknolojilerin elektrik güç sistemlerinde daha sık kullanılmasına sebep olmuştur. Bu yoğunluk nedeniyle karmaşıklaşan sistemin daha “akıllı” bir şekilde işletilmesi zarureti doğmuş ve “akıllı şebeke” kavramı ortaya çıkmıştır.

---

\*Sorumlu yazar: [oguzhan.ceylan@khas.edu.tr](mailto:oguzhan.ceylan@khas.edu.tr)

Geliş Tarihi: 22.02.2019, Kabul Tarihi: 01.07.2019

Fosil kökenli kaynakların yüksek maliyeti ve zararları ile diğer çevresel kaygıların etkisiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik güç sistemlerinde kullanımı hızla artmıştır. *EA* gelişimi ve kullanımı da benzer bir seyir izlemiştir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın güncel bir raporuna [1] göre 2016 yılında dünya çapında toplam 750 bin *EA* satılmıştır. Gene aynı rapora göre, *EA* satışı ve kullanımı önümüzdeki yıllarda daha da artacaktır. *EA*'ların ortalama menzilleri pek fazla değildir. Sözelimi Nissan Leaf'in güncel menzili yaklaşık 171 kilometredir (106 mil) [2]. ABD'de yapılan bir araştırmaya [3] göre 2001 yılında günlük ortalama araba kullanımı yaklaşık 53 kilometredir (33 mil). Bir *EA* sahibinin aracını işe gidip gelmek için kullanacağı düşünüldüğünde, İstanbul gibi büyükşehirlerde günde ortalama 70 km yol gideceği varsayılabilir. Bu da *EA*'ların gidilen yola göre her gün ya da iki günde bir şarj edilmesini gerektirir.

Elektrik dağıtım sistemleri radyal yapıdaki sistemlerdir. Bu tip sistemlerde gerilim, hat sonundaki düğüm noktasına doğru gittikçe (sistemdeki yüklerden ötürü) düşer. Sistem gerilimi, kademe ayarlı transformatörlerle ve kapasitörlerle kontrol edilebilir [4]. Son zamanlarda geliştirilen inverter teknolojisi de gerilim kontrolünde kullanılabilir [4,5]. Elektrik dağıtım sistemlerinde karşılaşılan gerilim kontrolü probleminin ve sistem kayıplarının fazla olması probleminin üstesinden gelmenin bir yolu da yeniden yapılandırma olarak adlandırılan sistem topolojisini anahtarlarla değiştirmektir. Literatürde bu konuda çok fazla çalışma yapılmıştır. Bunlardan ilki, Merlin ve arkadaşlarının çalışmasıdır [6]. Problem, karışık tamsayı programlama ile modellenerek çözülmüştür. Sonraki yıllarda da benzer çalışmalarla yeni modeller önerilmiştir [7-17].

Bilindiği üzere, eniyileme problemleri, analitik ya da sayısal yöntemler kullanarak çözülebilir [18]. Ancak, elektrik güç sistemlerinin karmaşıklığı, sayısal yöntemlerin daha sık kullanılmasına neden olmuştur. Sayısal yöntemler, "türev tabanlı olanlar" ve "türev tabanlı olmayanlar" olarak sınıflandırılabilirler. Türev tabanlı yöntemler kullanıldığında yakınsama sorunuyla karşılaşılabilir. Bunun da etkisiyle türev tabanlı olmayan popülasyon tabanlı veya doğa esinli yöntemlere son zamanlarda sıkça başvurulmaktadır. Bu yöntemler ilk başta belirli bir arama uzayında rastgele çözüm adayları oluştururlar. Sonraki aşamalarda, (doğadaki olguları da kullanarak) önceki çözüm adaylarının kombinasyonları ya da arama uzayındaki rastgele üretilen değerler belirli olasılıklarla kullanılır ve böylece yeni çözüm adayları oluşturulur. Üretilen yeni çözüm adaylarının eski çözüm adaylarının en kötülere ile kıyaslanması sonucu daha iyi çözüm adaylarına ulaşılır. Elektrik dağıtım sistemlerinde yeniden yapılandırma probleminde de ilk kez popülasyon tabanlı yöntemlerden genetik algoritmalar [10] kullanılmıştır. Parçacık sürüsü eniyilemesi [11], tabu araması yöntemi [12-13], karınca kolonisi algoritması [14], ateşböceği algoritması [15], guguk kuşu algoritması [16] daha sonra kullanılan akıllı yöntem tabanlı yaklaşımlara örnek olarak verilebilir. Benzer şekilde, *AAY* [17] ile de probleme çözüm aranmıştır.

Bu çalışmada, 2001 yılında caz müziğinden etkilenilerek geliştirilen bir yöntem olan *AAY* kullanılarak elektrik dağıtım sisteminde yeniden yapılandırma problemi çözülecektir. Sistemde farklı sayıda *EA* ve dağıtık generatör bulunduğu varsayılmaktadır. Yakın gelecekte dağıtım sistemlerinde çok sayıda *EA* ve dolayısıyla gerilim sorununun bulunacağı düşünülmektedir. İşte bu çalışmaya da sorunların giderilmesi ve kayıpların azaltılması amacı yön vermektedir. Ayrıca bazı *EA*'lar dağıtım sisteminde şarj olurken, diğerlerinin yollarda bulunacağı açıktır. Bu sebeple, çalışmada farklı durumların benzetimleri yapılacak ve farklı yük durumları için sonuçlar üretilecektir.

Çalışmanın bir sonraki bölümünde ortaya konan elektrik dağıtım sistemi eniyileme modeline yer verilecektir. Ayrıca *AAY* ile eniyileme probleminin çözülüş biçimi ve *AAY*'nin yeniden yapılandırma probleminde uygulanmasına değinilecektir. IEEE 33 Düğüm test sistemlerinde farklı sayıda *EA* ve dağıtık generatörün bulunduğu durumlar için benzetim sonuçları verilecek ve yorumlanacaktır.

## 2. Model

Elektrik dağıtım sistemlerinde gün içinde yükler sabit değildir ve sürekli değişmektedir. Öte yandan çok sayıda *EA*'nın varlığı sisteme ek bir yük getirecektir. Yeniden yapılandırma probleminde amaç fonksiyonu, sistemdeki kayıpların azaltılması ve gerilim sapsmasının azaltılması olacaktır. Amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$F = \text{Hat kayıpları} + \text{gerilim sapsması} \quad (1)$$

$$F = \left( \sum_{i=1}^{N_{hat}} R_i I_i^2 \right) + k(V_i - 1)^2 \quad (2)$$

Burada  $R_i$  sistemdeki her hattaki direnci,  $I_i$  sistemdeki her hattaki akımı,  $V_i$  sistemdeki düğüm gerilimlerini göstermektedir. Hat kayıplarının mertebesi ile gerilimin 1 per unit değerinden sapmasının mertebesinin aynı seviyede olmaması nedeniyle gerilim sapmasının başına bir  $k$  katsayısı eklenmiştir. Eniyileme kısıtı olarak sistemin radyal yapısının bozulmaması göz önüne alınmıştır:

$$Radyal = 1 \quad (3)$$

Burada (3) ifadesi, sistemin radyal yapısının korunmasının bir kısıt olarak eniyileme problemine eklendiğini gösterir.

### 3. Armoni Araması Yöntemi

AAY 2001 yılında Geem ve arkadaşları tarafından geliştirilen [19, 20] popülasyon tabanlı bir eniyileme yöntemidir. Yöntem, caz müzisyenlerinin daha iyi bir ezgi bulabilmek için yaptıkları doğaçlamamın benzetimine dayalıdır. Popülasyon tabanlı yöntemlerin ilk akla geleni doğada güçlü olanın hayatta kalabilmesi ilkesine dayanan genetik algoritmalarıdır [21, 22]. Sonraki yıllarda, doğadaki kuş sürülerinin yiyecek arama davranışlarının modelleyen parçacık sürüsü eniyilemesi [23], karıncaların yemek ararken salgıladıkları feromon salgısına göre yön bulmalarını temel alan karınca sürüsü eniyilemesi [24] gibi yöntemler de ortaya konulmuştur. Çalışmada AAY'nin seçilme sebebi, yöntemin hızlı bir şekilde en iyi çözüme yakın çözümleri elde edebilme yeteneğidir [25].

AAY ile eniyileme probleminin çözümüne başlamadan önce Armoni Arama Boyutu (AAB), armoni hafızası değerlendirme oranı (AHDO) ve perde ayarlama değeri (PAD) belirlenir. Genelde, AAB değişken sayısının 10-15 katı arasında bir değer olarak saptanır. Öte yandan AHDO ve PAD yöntemin davranışını belirleyen iki temel parametredir. AHDO parametresi kullanılarak, yeni elde edilecek çözüm adaylarının ne kadarının eski çözüm adaylarından ya da armoni hafızasından (AH) ve ne kadarının arama uzayı içerisinde rastgele seçileceği belirlenir. Üretilen her yeni çözüm adayının belirli bir olasılıkla, belirlenen bant genişliği (BG) oranında bulunduğu konumdan saptırılması PAD'a bağlıdır. Belirtilmelidir ki, aşağıda ayrıntılı biçimde anlatılan AAY yönteminde oluşturulan tüm rastgele sayılar 0 ile 1 arasında oluşturulmaktadır. AHDO genelde 0.7-0.9 arasında bir değer olarak belirlenir. PAD değerinin 0.05 ile 0.3 arasında belirlenmesi sıkça gözlemlenir [19, 20, 25].

#### 3.1. İlk Çözüm Adaylarının Oluşturulması

AAY ile bir eniyileme probleminin çözümünde, ilk olarak daha önceden belirlenmiş bir arama uzayı içinde AH kadar, boyutu AAB olacak kadar rastgele çözüm adayları oluşturulur. En küçük değeri bulunması istenen fonksiyon aşağıda gibi olsun:

$$\text{Enküçük} F(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (4)$$

Bu fonksiyon için arama uzayı  $x_i^{\text{enküçük}} \leq x_i \leq x_i^{\text{enbüyük}}$  olacaktır. Burada  $x_i^{\text{enküçük}}$ ,  $x_i$  ve  $x_i^{\text{enbüyük}}$  sırasıyla, bir değişkenin alabileceği en küçük değeri, bir değişkenin değerini ve bir değişkenin alabileceği en büyük değeri göstermektedir. Buna göre AAB m ise, rastgele m adet çözüm adayı belirtilen değerler arasında aşağıdaki gibi oluşturulur ve (5)'de gösterildiği gibi AH matrisinde saklanır.

$$AH = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_n^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_n^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1^m & x_2^m & \dots & x_n^m \end{bmatrix} \quad (5)$$

AH matrisinin her satırı, en küçükleştirilecek fonksiyonda yerine konularak fonksiyon değeri hesaplanır. Sona, doğaçlama aşaması gündeme gelir. Bu aşama hafıza değerlendirmesi, perde

ayarlaması ve rastgele üretim aşamalarından oluşur. Doğaçlama aşamasındaki işlemler aşağıda anlatılmaktadır.

### 3.2. Doğaçlama

Bu aşamada  $AH$  kullanılarak yeni bir çözüm adayı oluşturulur. Yeni çözüm adayı ( $\mathcal{C}A$ ) aşağıdaki gibi gösterilirse:

$$\mathcal{C}A = [x_1^{yeni} \quad x_2^{yeni} \quad \dots \quad x_n^{yeni}] \quad (6)$$

$\mathcal{C}A$ 'nın elemanları  $AHDO$ 'ya göre belirlenir. Aşağıda verilen olasılıklarla  $\mathcal{C}A$ 'nın her yeni elemanı ya  $AH$ 'den seçilir ya da arama uzayı içinden (7) ifadesinde gösterildiği gibi rastgele oluşturulur:

$$x_i^{yeni} = \begin{cases} x_i^{yeni} \in \{x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^m\}, \text{ rastgele sayı} < AHDO \text{ ise} \\ x_i^{enküçük} \leq x_i^{yeni} \leq x_i^{enbüyük}, \text{ rastgele sayı} > AHDO \text{ ise} \end{cases} \quad (7)$$

Oluşturulan yeni çözüm adayı  $PAD$ 'a göre bir miktar azaltılıp, arttırılabilir. Bu işlem genetik algoritmalarındaki mutasyon işleminin muadili olarak düşünülebilir ve perde ayarlaması olarak adlandırılır. Oluşturulan rastgele sayıya göre işlem aşaması aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$x_i^{yeni} \text{ için perde ayarlama kararı} \leftarrow \begin{cases} \text{evet, rastgele sayı} < PAD \text{ ise} \\ \text{hayır, rastgele sayı} > PAD \text{ ise} \end{cases} \quad (8)$$

Buna göre eğer perde ayarlama kararı olumlu ise, oluşturulmuş olan yeni çözüm adayı aşağıda gösterilen biçimde değiştirilecektir:

$$x_i^{yeni} = x_i^{yeni} \mp BG * \text{rastgele sayı} \quad (9)$$

### 3.3. $AH$ 'nin Değiştirilmesi

Bu aşamada elde edilen yeni çözüm adayı,  $AH$  içindeki en kötü çözüm adayı ile karşılaştırılır. Eğer yeni çözüm adayı daha iyi amaç fonksiyonu üretiyorsa,  $AH$  içindeki en kötü amaç fonksiyonu üreten çözüm adayının yerini alır.

### 3.4. Durma Koşulunun Sınanması

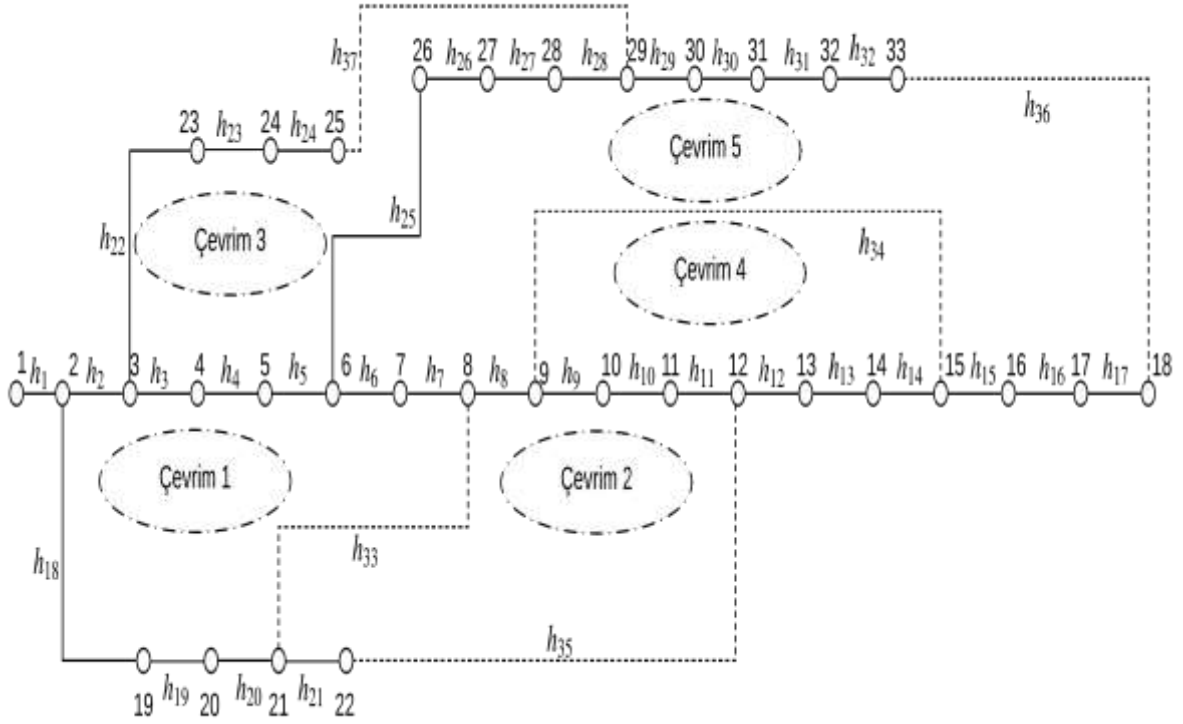
Önceden belirlenen bir durma koşulu sağlanıncaya kadar doğaçlama ve  $AH$ 'nin değiştirilmesi işlemi yinelenir. Durma koşulu olarak belirli bir sayıda yineleme sayısı seçilebilir. Bir adımda elde edilen en iyi çözüm değeri belirli bir yineleme adımı boyunca değişmiyor ya da çok az değişiyorsa bu da bir durma koşulu olarak belirlenebilir.

## 4. Armoni Araması Yönteminin Elektrik Dağıtım Sistemi Yeniden Yapılandırma Probleminde Uygulanması

$AAY$  ile çözüme başlamadan önce sistem radyal yapısının bozulmamasının sınanması gerekir; bunun için bu çalışmada [11]'de verilen aşağıdaki yaklaşım kullanılır.

### 4.1. Radyal Yapının Korunması

Yeniden yapılandırma probleminde radyal yapı bozulmadan anahtarlama noktaları bulunacak ve açık hatlar belirlenecektir. Örnek bir sistem olarak aşağıdaki şekilde devre yapısı verilen 33 düğüm noktalı sistem incelenir.



Şekil 1. 33 düğüm noktalı dağıtım sistemi

Çözümüne başlamadan önce sistemdeki düğüm sayısı  $D$  ve hat sayısı  $H$  ise  $H - D$  adet açık hat belirlenmesi gerekir. Şekil 1'deki dağıtım sisteminde 5 adet açık hat bulunmaktadır. Buna göre çözüm adayları sayısı 5 olacaktır.

Normal yaklaşımda tüm hatlar çözüm adayları olarak belirlenebilir. Ancak, bu arama uzayının büyümesine ve hesaplama süresinin uzamasına neden olur. Dolayısıyla, [11]'deki yaklaşım bu çalışmada referans alınmaktadır. Buna göre çözüme başlamadan önce sistemdeki çevrimler ve bu çevrimlere ait hatlar elde edilir; ayrı ayrı vektörlerde tutulur ve bunlar Çevrim Vektörleri (ÇV) olarak adlandırılır. Örneğin yukarıda verilen 33 düğüm noktalı sistem için ÇV aşağıda verilmektedir.

$$\begin{aligned}
 \text{ÇV}_1 &= [h_2 \ h_3 \ h_4 \ h_5 \ h_6 \ h_7 \ h_{18} \ h_{19} \ h_{20} \ h_{33}] \\
 \text{ÇV}_2 &= [h_8 \ h_9 \ h_{10} \ h_{11} \ h_{33} \ h_{35}] \\
 \text{ÇV}_3 &= [h_3 \ h_4 \ h_5 \ h_{22} \ h_{23} \ h_{24} \ h_{25} \ h_{26} \ h_{27} \ h_{28} \ h_{37}] \\
 \text{ÇV}_4 &= [h_9 \ h_{10} \ h_{11} \ h_{12} \ h_{13} \ h_{14} \ h_{34}] \\
 \text{ÇV}_5 &= [h_6 \ h_7 \ h_8 \ h_{15} \ h_{16} \ h_{17} \ h_{25} \ h_{26} \ h_{27} \ h_{28} \ h_{29} \ h_{30} \\
 &\quad h_{31} \ h_{32} \ h_{33} \ h_{34} \ h_{36}]
 \end{aligned} \tag{10}$$

Sonra elde edilen çevrim vektörleri arasında ortak hatlardan oluşan Ortak Hatlar Vektörleri (OHV) bulunur. Gene aynı sistem için bunlar aşağıda yer almaktadır:

$$\begin{aligned}
 \text{OHV}_{12} &= \text{ÇV}_1 \cap \text{ÇV}_2 = [h_{33}] \\
 \text{OHV}_{13} &= \text{ÇV}_1 \cap \text{ÇV}_3 = [h_3 \ h_4 \ h_5] \\
 \text{OHV}_{14} &= \text{ÇV}_1 \cap \text{ÇV}_4 = [] \\
 \text{OHV}_{15} &= \text{ÇV}_1 \cap \text{ÇV}_5 = [h_6 \ h_7] \\
 \text{OHV}_{23} &= \text{ÇV}_2 \cap \text{ÇV}_3 = [] \\
 \text{OHV}_{24} &= \text{ÇV}_2 \cap \text{ÇV}_4 = [h_9 \ h_{10} \ h_{11}] \\
 \text{OHV}_{25} &= \text{ÇV}_2 \cap \text{ÇV}_5 = [h_8]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
OHV_{34} &= \zeta V_3 \cap \zeta V_4 = [ ] \\
OHV_{35} &= \zeta V_3 \cap \zeta V_5 = [h_{25} \quad h_{26} \quad h_{27} \quad h_{28}] \\
OHV_{45} &= \zeta V_4 \cap \zeta V_5 = [h_{34}]
\end{aligned} \tag{11}$$

Elde edilen bilgiler kullanılarak, bağımsız ada oluşturacağı için kullanılmayacak düğüm bilgisini içeren vektörler oluşturulur ve Engellenmiş Vektörler (*EGV*) olarak adlandırılır. Bunlar birden fazla *OHV*'nin kesişimi olarak ortaya çıkmaktadır. 33 düğüm noktalı sistemde bu vektörler ve ada oluşmasına neden oldukları düğüm noktaları aşağıda gösterilmektedir:

$$\begin{aligned}
EGV_{125} &= OHV_{12} \cap OHV_{25} \cap OHV_{15} = [8] \\
EGV_{135} &= OHV_{13} \cap OHV_{15} \cap OHV_{35} = [6] \\
EGV_{245} &= OHV_{25} \cap OHV_{45} \cap OHV_{24} = [9] \\
EGV_{1235} &= OHV_{12} \cap OHV_{13} \cap OHV_{25} \cap OHV_{35} = [6 \quad 8] \\
EGV_{1245} &= OHV_{12} \cap OHV_{45} \cap OHV_{15} \cap OHV_{24} = [9] \\
EGV_{12345} &= OHV_{12} \cap OHV_{13} \cap OHV_{35} \cap OHV_{15} \cap OHV_{24} = [6 \quad 8 \quad 9]
\end{aligned} \tag{12}$$

Yukarıda verilen bilgiler ışığında, bir çözüm adayı için aşağıda belirtilen 3 kural ortaya konmuştur:

- 1) Çözüm adayı oluşturulurken seçilen i. hat,  $\zeta V_i$ 'de olmalıdır.
- 2) Bir *OHV*'den sadece bir hat seçilebilir.
- 3) *EGV*'deki, *OHV*'ler aynı anda bir çözüm adayı içinde bulunamaz.

Örnek olarak yukarıdaki dağıtım sisteminde bir çözüm adayı (*ÇA*) aşağıdaki gibi olsun:

$$\zeta A = [h_2 \quad h_{22} \quad h_{23} \quad h_{13} \quad h_{32}] \tag{13}$$

Bu *ÇA* radyal yapıyı korumadığı için geçerli bir çözüm adayı olarak ortaya çıkmayacaktır. Nedeni de  $h_{22}$  hattının  $\zeta V_2$  elemanı olmamasıdır; yani yukarıda belirtilen 1. Kural ihlal edilmiş olacaktır. Bir başka *ÇA* aşağıda verilen gibi ise:

$$\zeta A = [h_2 \quad h_{21} \quad h_{26} \quad h_{14} \quad h_{28}] \tag{14}$$

Bu *ÇA* da radyal yapıyı korumadığı için geçerli bir çözüm adayı olmayacaktır. Kolaylıkla görülebileceği gibi  $h_{26}$  ve  $h_{28}$  hatlarının *OHV*<sub>35</sub> içindedir. Dolayısıyla yukarıda belirtilen 2. Kural ihlal edilmiş olacaktır. 3. Kuralı ihlal eden bir *ÇA* aşağıda verilmektedir:

$$\zeta A = [h_3 \quad h_{21} \quad h_{28} \quad h_{14} \quad h_7] \tag{15}$$

Burada  $h_3$ ,  $h_7$  ve  $h_{28}$  sırasıyla, *OHV*<sub>13</sub>, *OHV*<sub>15</sub> ve *OHV*<sub>35</sub>'in elemanlarıdır. Bunlar da *EGV*<sub>135</sub>'i oluşturdukları için bu çözüm adayı da geçerli olmayacaktır. Aşağıdaki *ÇA* incelenirse:

$$\zeta A = [h_2 \quad h_{21} \quad h_{22} \quad h_{12} \quad h_{32}] \tag{16}$$

Burada kolaylıkla görülebileceği gibi  $h_2$ ,  $h_{21}$ ,  $h_{22}$ ,  $h_{12}$  ve  $h_{32}$  sırasıyla  $\zeta V_1$ ,  $\zeta V_2$ ,  $\zeta V_3$ ,  $\zeta V_4$  ve  $\zeta V_5$  elemanlarıdır. Yukarıda belirtilen hiçbir kural ihlal edilmediği için bu *ÇA* geçerli bir çözüm adayı olur.

#### 4.2. Armoni Araması Yöntemi ile Problemin Çözülmesi

Yeniden yapılandırma probleminin çözümü için ilk olarak dağıtım sistemi bilgileri kullanılarak  $\zeta V$ 'ler oluşturulur. Ayrıca *AAB*, *AHDO* ve *PAD* parametre değerleri belirlenir, maksimum yineleme sayısına karar verilir.

Daha sonra yukarıda verilen kuralları ihlal etmeyecek şekilde, *AAB* kadar *ÇA*, sistemde belirlenen  $\zeta V$ 'ler kullanılarak bu değerlerden rastgele oluşturulur ve böylece *AH* elde edilir. *ÇA*'ların

oluşturduğu yapılandırmalar Matpower yazılımı kullanılarak gerçekleştirilir ve bu yeni durumlar için yük akışı analizi gerçekleştirilir. Bilindiği üzere, yük akışı, sistem yapısı ve sistemdeki bileşenlerin aldıkları değerlere bağlı olarak her zaman yakınsamaz. Yakınsamayan durumlar için  $\text{CA}$ 'lar göz ardı edilerek, yeni  $\text{CA}$  değerleri oluşturulur. Yük akışı analizi gerçekleştirildikten sonra, sistemdeki toplam kayıp değerleri ve sistem düğüm gerilim büyüklükleri saklanır. Her bir  $\text{CA}$  için amaç fonksiyonu değeri bulunur.

Doğaçlama aşamasında yeni bir  $\text{CA}$  oluşturulur. Tüm  $\text{CA}$  elemanları için teker teker oluşturulan rastgele sayılara bakılır. Bunlar  $\text{AHDO}$ 'dan küçükse  $\text{CA}$ 'nın ilgili elemanı rastgele bir şekilde daha önceki  $\text{CA}$ 'lar içinden seçilir. Aksi durumda  $\text{CA}$ 'nın ilgili elemanı ilgili  $\text{CV}$ 'den rastgele seçilir. Bu aşamada oluşturulan yeni  $\text{CA}$ 'nın yukarıda belirtilen kuralları ihlal edip etmediği kontrol edilir. Kurallar ihlal edilmiyorsa süreç devam eder, aksi durumda yeni bir  $\text{CA}$ , en baştan oluşturulur.

Doğaçlama, yeni  $\text{CA}$ 'nın  $\text{PAD}$ 'a göre değiştirilip değiştirilmeyeceğine karar verilmesiyle devam eder. Buna göre, oluşturulan bir rastgele sayı  $\text{PAD}$ 'dan küçükse,  $\text{CA}$ 'nın ilgili elemanı,  $\text{CV}$ 'deki bir önceki ya da bir sonraki eleman ile yer değiştirir. Eğer  $\text{CV}$ 'nin en son elemanı ile işlem yapılıyorsa, bir sonraki eleman olarak  $\text{CV}$ 'nin ilk elemanı,  $\text{CV}$ 'nin ilk elemanı ile işlem yapılıyorsa, bir önceki eleman olarak  $\text{CV}$ 'nin son elemanı kabul edilir. Tüm bu işlemler tamamlandıktan sonra, oluşan yeni  $\text{CA}$ 'nın yukarıda belirtilen kurallara uygunluğu tekrar kontrol edilir; eğer bir sorun varsa, yeni  $\text{CA}$ ,  $\text{CV}$ 'ler arasından rastgele oluşturulur.

Yeni  $\text{CA}$  oluşturulduktan sonra, yeni yapılandırma için yük akışı analizi gerçekleştirilir ve amaç fonksiyonu değeri hesaplanır. Elde edilen bu değer  $\text{AH}$  içindeki en kötü amaç fonksiyonu değeri ile karşılaştırılır. Eğer bundan daha küçük bir değer elde edilmişse  $\text{AH}$ 'deki  $\text{CA}$  yerine oluşturulan yeni  $\text{CA}$  yerleştirilir.

Sonra doğaçlama aşamasının en başına dönülür ve tüm işlemler önceden belirlenmiş bir durma koşuluna erişilinceye kadar devam ettirilir. Durma koşulu olarak önceden belirlenen maksimum yineleme sayısı ve çözümdeki değişimlerin durması belirlenebilir. Burada belirtilen çözüm yönteminin, akış şeması aşağıda verilen Şekil 2'de gösterilmektedir.

## 5. Benzetimler ve Sonuçlar

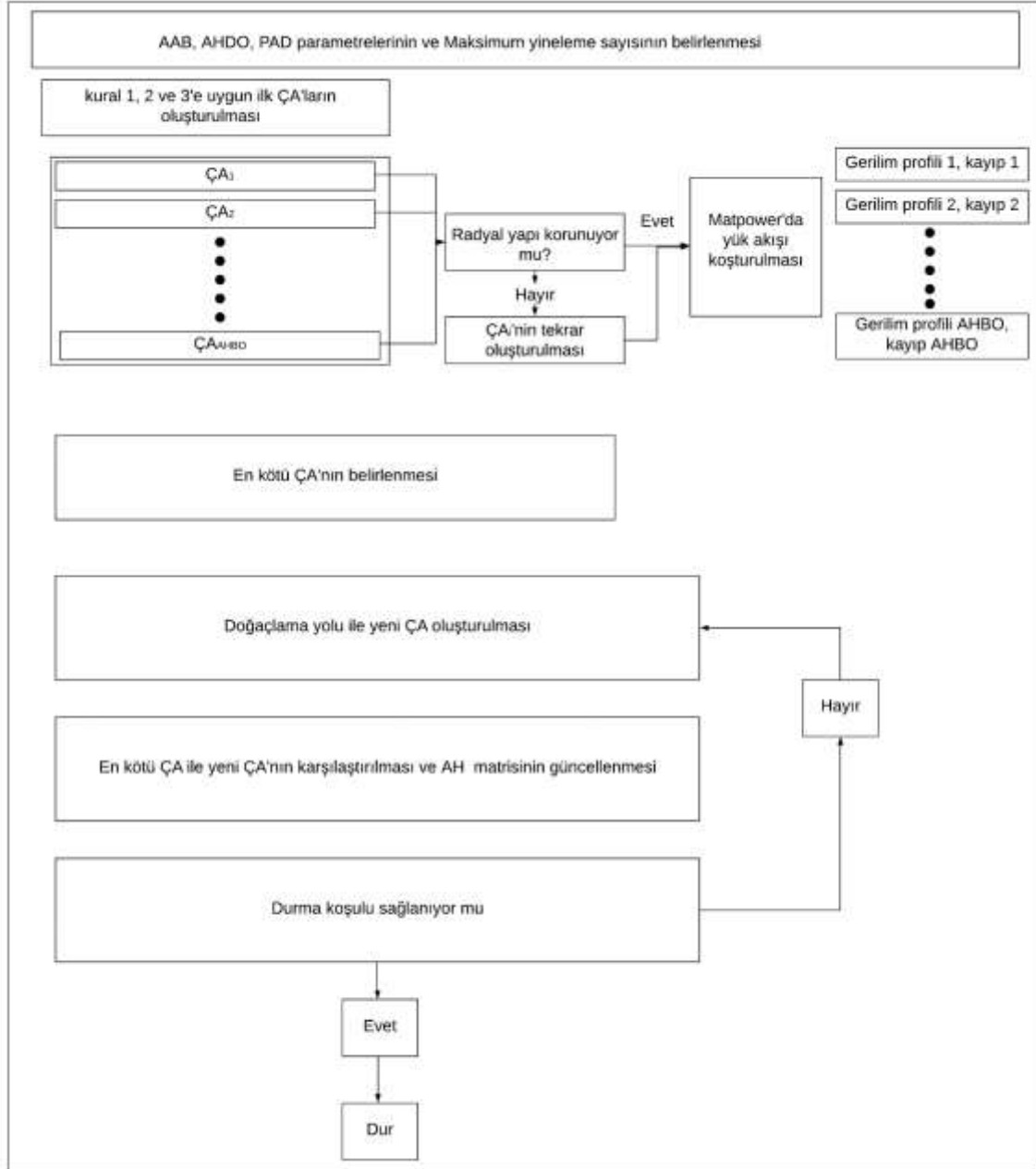
Yukarıda anlatılan yeniden yapılandırma problemi için, 33 düğüm noktalı test sisteminde dört farklı durum test edilmiştir. Bunlardan birincisinde sistem yüklerinin referans değerinde olduğu varsayılmış, ikincisinde sistemde 4 adet  $\text{EA}$  şarj istasyonu, 3 adet dizel generatör ( $\text{DG}$ ) ve 250  $\text{EA}$  olması durumu varsayılmış, üçüncüsünde aynı durumda 500  $\text{EA}$  olması varsayılmış ve sonuncusunda  $\text{EA}$  sayısı 1000 olarak varsayılmıştır.

Benzetimler için Matlab'de armoni araması kodu yazılmış, yük akışı analizi için Matpower [26] programı kullanılmıştır. Testler 33 düğüm noktalı dağıtım sisteminde gerçekleştirilmiştir. İlk durumda sistemdeki referans yük değerleri [7] kullanılmış ve sistemde herhangi bir  $\text{EA}$  ya da  $\text{DG}$  olmadığı varsayılmıştır. İkinci, üçüncü ve dördüncü test durumlarında Şekil 2'de gösterildiği gibi 4, 10, 11 ve 26 numaralı düğüm noktalarında  $\text{EA}$  şarj istasyonu olduğu varsayılmış ve 13, 14 ve 22 numaralı düğüm noktalarında 300  $\text{kW}$ 'lık  $\text{DG}$  olduğu varsayılmıştır.

Testlerde  $\text{AAB}$ ,  $\text{AHDO}$  ve  $\text{PAD}$  sırasıyla 30, 0.8 ve 0.1 alınmıştır. Maksimum yineleme sayısı olarak 2000 belirlenmiş, son 200 yinelemede en iyi sonucun değişimin belirlenen tolerans değeri olan 0.0001'den küçük olması bir başka durma kriteri olarak göz önüne alınmıştır.

İlk testler referans yük değerleri altında yapılmıştır. En iyi amaç fonksiyonu değeri veren  $\text{CA}$ ,  $h_7$ ,  $h_9$ ,  $h_{28}$ ,  $h_{14}$  ve  $h_{32}$  olarak belirlenmiştir. Yeniden yapılandırma öncesi aktif güç kayıpları 202.6771  $\text{kW}$  iken yeniden yapılandırılmış durumda 139.9872  $\text{kW}$  değerine düşmüştür. Yeniden yapılandırma öncesi en düşük gerilim genliği 0.9131  $\text{pu}$  iken, yeniden yapılandırma öncesi bu değer 0.9413  $\text{pu}$  değerine çıkmıştır.

İkinci durumda, en iyi amaç fonksiyonu değerini veren  $\text{CA}$   $h_7, h_9, h_{28}, h_{12}$  ve  $h_{31}$  olarak belirlenmiştir. Yeniden yapılandırma öncesi 217.4138  $\text{kW}$  olan aktif güç kayıpları, yeniden yapılandırma sonrası 137.4057  $\text{kW}$  değerine düşmüştür. Sistemdeki en düşük gerilim genliği ilk durumda 0.9125  $\text{pu}$  iken, 0.9405  $\text{pu}$  değerine çıkarılmıştır.



Şekil 2. AAY ile yeniden yapılandırma probleminin çözülmesi için akış şeması

EA sayısının 500'e çıktığı üçüncü test durumunda en iyi ÇA  $h_7$ ,  $h_{10}$ ,  $h_{28}$ ,  $h_{34}$ , ve  $h_{32}$  olarak bulunmuştur. Aktif güç kayıpları  $332.8879 \text{ kW}$ 'dan  $191.4551 \text{ kW}$  değerine düşürülmüştür. Şarj olan EA sayısı bir önceki test durumuna göre daha fazla olduğu için yeniden yapılandırma öncesi sistemdeki en düşük gerilim genliği değeri  $0.8959 \text{ pu}$  değerine düşmüş, bu değer yeniden yapılandırma sonrası  $0.9372 \text{ pu}$  değerine yükseltilmiştir.

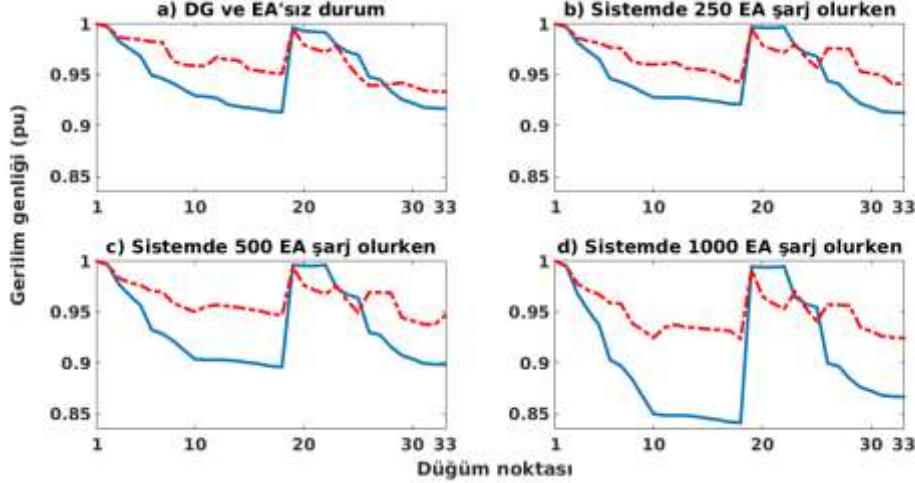
Yapılan en son testlerde EA sayısı 1000'e çıkarılmıştır. Bu durumda en iyi ÇA  $h_7$ ,  $h_{10}$ ,  $h_{28}$ ,  $h_{12}$  ve  $h_{17}$  olarak bulunmuştur. Sistemin yeniden yapılandırma öncesi aktif güç kaybı oldukça fazladır:  $719.3970 \text{ kW}$ , yeniden yapılandırma sonrası kayıplar  $356.9626 \text{ kW}$ 'a indirilmiştir. Gene EA sayısının fazla olmasından ötürü sistem yükü artmış ve en düşük gerilim genliği değeri  $0.8408 \text{ pu}$  olmuştur, yeniden yapılandırma sonrası en düşük gerilim genliği  $0.9237 \text{ pu}$  değerine yükseltilmiştir. Farklı testler için, yeniden yapılandırma öncesi ve sonrası ortalama gerilim genlikleri Tablo 1'de verilmektedir.



**Tablo 1.** Yeniden yapılandırma öncesi ve sonrası sistem ortalama gerilim genlikleri.

EA Sayısı	Yeniden Yapılandırma Öncesi Ortalama Gerilim Genliği	Yeniden Yapılandırma Sonrası Ortalama Gerilim Genliği
0	0.9485 pu	0.9674 pu
250	0.9484 pu	0.9666 pu
500	0.9384 pu	0.9627 pu
1000	0.9060 pu	0.9494 pu

Şekil 3’de ise, tüm testler için, düğüm noktalarındaki gerilim genliği grafikleri yeniden yapılandırma öncesi ve sonrası durumlar için verilmektedir.



**Şekil 3.** Farklı EA sayılarına göre yeniden yapılandırma öncesi ve sonrası, düğüm noktaları gerilim genlik değerleri.

Hem Tablo 1’deki verilerden hem de Şekil 4’deki grafiklerden, yeniden yapılandırma sonrası daha iyi gerilim genliği değerleri elde edildiği kolaylıkla gözlenebilir. Ortalama gerilim genliği değerleri iyileştirilmekte, aynı zamanda daha iyi gerilim profili değeri elde edilmektedir.

#### 4. Sonuçlar ve Gelecek Çalışmalar

Bu çalışmada elektrik dağıtım sisteminde farklı sayıda EA bulunması durumunda yeniden yapılandırma problemi AAY kullanılarak çözülmüştür. İlk olarak sistemde hiçbir EA bulunmaması durumu göz önüne alınmış, yeniden yapılandırma problemi çözümlenerek sistem kayıpları azaltılmış ve daha iyi bir gerilim profili elde edilmiştir. Sonra, sistemde 3 adet DG tesis edildiği düşünülerek, sırasıyla 250, 500 ve 1000 EA şarj olurken yeniden yapılandırma problemi çözülmüştür. Yapılan tüm testlerde daha iyi gerilim profilleri elde edilmiş ve toplam sistem kayıpları azaltılmıştır. Elektrik dağıtım sistemlerinde, işletimde, gerilim değerlerinin değişen yük miktarına göre sınır değerlerin altına/üstüne çıkması nedeniyle sıklıkla kontrol işlemleri uygulanması gerektiği için, gelecekteki çalışmalarda, sistem gerilim profilinin, ve kayıplarının 15 dakikalık aralıklarla kontrol edilerek iyileştirmesi planlanmaktadır.

#### Kaynaklar

- [1] International Energy Agency (IEA) Global EV Outlook 2017. Two Million and Counting. <https://www.iae.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf>, (Erişim Tarihi: 10.01.2019).
- [2] Nissan ABD Web Sayfası 2019. Nissan Leaf Range and Charging. <https://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/charging-range/range> (Erişim Tarihi: 15.02.2019).
- [3] Davis S., Diegel S. 2006. Transportation Energy Data Book, Center for Transportation Analysis Oak Ridge National Laboratory, 410s., Oak Ridge
- [4] Ceylan O., Liu G., Tomsovic K. 2018. Coordinated distribution network control of tap changer transformers, capacitors and PV inverters, Electrical Engineering, 100: 1133-1146.

- [5] Ceylan O., Liu G., Tomsovic K. 2014. Distribution system voltage regulation by distributed energy resources. 2014 North American Power Symposium (NAPS), pp 1– 5, 7-9 Eylül, Pullman.
- [6] Merlin A., Back H. 1975. Search for a minimal-loss operating spanning tree reconfiguration in an urban power distribution systems. Proceedings of 5th Power System Computation Conference (PSCC), pp 1-18, 1-5 Eylül, Cambridge.
- [7] Baran M.E., Wu F.F. 1989. Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 4 (2): 1401-1407.
- [8] Shirmohammadi D., Hong W.H. 1989. Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line loss reduction, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 4 (1): 1492–1498.
- [9] Civanlar S., Grainger J.J., Yin H., Lee S.S.H. 1988. Distribution feeder reconfiguration for loss reduction. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 3 (3): 1217–1223.
- [10] Nara K., Shiose A., Kiagawa M., Ishihara T. 1992. Implementation of genetic algorithm for distribution system loss minimum reconfiguration. *IEEE Transactions on Power Systems*, 7 (3): 1044-1051.
- [11] Gupta N, Swarnkar A., Niazi K.R. 2011. Reconfiguration of Distribution Systems for Real Power Loss Minimization Using Adaptive Particle Swarm Optimization. *Electric Power Components and Systems*, 39 (4): 317-330
- [12] Young-Jae J., Jae-Chul K. 2000. Network reconfiguration in radial distribution system using simulated annealing and Tabu search. *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting*, pp. 2329-2333, 23-27 Ocak, Singapur.
- [13] Abdelaziz A.Y., Mohamed F.M., Mekhamer S.F., Badr M.A.L. 2010. Distribution system reconfiguration using a modified Tabu Search algorithm. *Electric Power Systems Research*, 80 (8): 943-953.
- [14] Swarnkar A., Gupta N., Niazi K.R. 2011. Adapted ant colony optimization for efficient reconfiguration of balanced and unbalanced distribution systems for loss minimization. *Swarm and Evolutionary Computation*, 1 (3): 129-137.
- [15] Imran, M.A., Kowsalya M. 2014. A new power system reconfiguration scheme for power loss minimization and voltage profile enhancement using fireworks algorithm. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 62: 312-322.
- [16] Nguyen T.T., Truong A.V. 2015. Distribution network reconfiguration for power loss minimization and voltage profile improvement using cuckoo search algorithm. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 68: 233-242.
- [17] Srinivasa Rao R., Narasimham S.V.L., Ramalinga Raju M., Srinivasa Rao A. 2011. Optimal Network Reconfiguration of Large-Scale Distribution System Using Harmony Search Algorithm. *IEEE Transactions on Power Systems*, 26 (3): 1080-1088.
- [18] Rao SS. 2009. *Engineering optimization: theory and practice*. Wiley, 903s. New York.
- [19] Geem ZW., Kim JH., Loganathan G.V. 2001. A new heuristic optimization algorithm: harmony search. *Simulation*, 76: 60–68.
- [20] Lee K.S, Geem Z.W. 2005. A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering optimization: harmony search theory and practice. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 194: 3902–3933.
- [21] Holland J.H. 1975. *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An introductory analysis with applications to biology, control and artificial intelligence*. University of Michigan Press, 232s. Oxford.
- [22] Goldberg D.E. 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimisation and Machine Learning*. Addison-Wesley, 432s. Reading.
- [23] Kennedy J., Eberhart R. 1995. Particle swarm optimization. *IEEE international conference on neural networks*, pp 1942–1948. 27 Kasım-1 Aralık, Perth.
- [24] Dorigo M., Maniezzo V., Colorni A. 1996. Ant System, optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 26 (1): 29-41
- [25] Ceylan O., Özdemir A., Dağ H. 2016. Heuristic methods for postoutage voltage magnitude calculations. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 24: 105-120.
- [26] Zimmerman R.D., Murillo-Sánchez C.E., Thomas R.J. 2011. MATPOWER: Steady-state operations, planning, and analysis tools for power systems research and education. *IEEE Transactions on Power Systems*, 26 (1): 12–19.