

# Evrimsel Algoritmalar ile Elektrik Dağıtım Şebekelerinin Restorasyonu

## Service Restoration in Electric Distribution Systems Using Evolutionary Algorithms

Buğra Akduman<sup>1</sup>, Belgin Türkay<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Elektrik Mühendisliği Bölümü  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
akdumanbugra@yahoo.com, turkayb@itu.edu.tr

### Özet

*Çalışmada, elektrik dağıtım şebekesi restorasyonu problemi için evrimsel algoritma temeline dayanan uygun ve hesaplanabilen bir çözüm yaklaşımının bulunması amaçlanmaktadır. Dağıtım sisteminde bir arıza meydana geldiğinde, arızalı bölge en kısa sürede sistemden izole edilerek, mümkün olan en çok sayıda yükün tekrar enerjilendirilmesi gerekmektedir. Elektrik dağıtım sistemlerinin yeniden uygun çalışma koşullarına dönmesi ve enerjisiz kalan kısımların en aza indirilmesi, dağıtım şebekesinin restorasyonu problemidir. Bu problemin çözümü, sisteme ait amaç ve kısıtlara uygun olarak anahtarlama yapısının değiştirilmesi ile en uygun işletme yapısının bulunmasıdır. Anahtarlama yapısının değiştirilmesi, restorasyon probleminin çok sayıda sınırlara sahip karmaşık bir optimizasyon problemine dönüştürür. Bundan dolayı, yapılan çalışmada en uygun çözümü bulabilmek için evrimsel algoritmalar kullanılmıştır. Bu çalışmada, açık ring olarak işletilen bir elektrik dağıtım şebekesine evrimsel algoritmalarla genetik algoritma uygulanarak elde edilen sistem modeli ve analiz sonuçları verilmiştir.*

### Abstract

*This study proposes an efficient and computationally feasible solution approach based on evolutionary algorithms to the distribution system restoration problem. When a fault occurs in a distribution system, the faulted area should be isolated from the system and as much load as possible has to be restored to this area. The solution of this problem, which can be defined as obtaining an optimum system configuration providing minimization of de-energized areas on the system after a fault occurred, is known as service restoration in distribution networks. This is achieved by finding an optimal operation configuration via changing the status of sectionalizing switches, taking into account the objectives and the constraints of the system. This makes the distribution system restoration problem a complex combinatorial optimization problem with multiple constraints. Therefore, to solve this problem, an evolutionary algorithm approach is proposed. The proposed evolutionary algorithm is applied to a radial configured distribution system model and analysis results are presented.*

Şebekelerde meydana gelebilecek kısa devre, frekans artması veya azalması, aşırı yüklenmeler, gerilim yükselmesi veya düşmesi vb. gibi nedenler ile sistem enerjisinin kesilmesi veya sistem çökmesi sonucu; enerjisiz bölgelerin meydana gelmesi; bununla birlikte, arızanın olmadığı bölgelerde bile enerjisiz kalma durumlarının ortaya çıktığı görülmektedir. Oluşabilecek bu gibi durumlarda, sistemde bulunan yüklere sahip olan tüketicilerin en az şekilde etkilenmeleri amaçlanır. Bu amaç kapsamında, sistem yüklerinin en hızlı şekilde karşılanması ve sistemin tekrar işletme koşullarına geri dönmesi gerektiği gibi; arızanın olduğu bölgenin de sistemden izole edilerek diğer bölgelerin bu arızadan etkilenmesinin en aza indirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, arızanın olmamasına rağmen enerji kesintisi yaşayan bölgelerin de en kısa sürede enerjilendirilmesi söz konusu amaç içinde en önemli paya sahiptir. Bahsedilen durumlar nedeniyle, elektrik dağıtım sistemlerinin tekrar en uygun çalışma koşullarına dönmesi ve enerjisiz kalan kısımların (bölgelerin) en aza indirilmesi veya sıfırlanması için, dağıtım şebekelerinin restorasyonu problemini çözmek gerekmektedir.

Araştırma aşamasında, dağıtım şebekelerinin restorasyonu ve yeniden şekillendirilmesi ile ilgili önceden yapılmış çalışmalar [1]-[10] incelenmiştir. Günümüzde gelişen programlama teknikleri ile problemlerin herhangi bir uygun algoritma ile çözülebileceği görülmektedir. Bu amaçla restorasyon problemlerinde günümüze kadar yapılan çalışmalarda, sezgisel [3], bilgi tabanlı [5], [6], esnek hesaplama [7] ve matematiksel programlama [8], metotları üzerinde incelemelerde bulunulmuştur. Çalışmaların çoğunda, önceleri bilgi tabanlı ve matematiksel programlama kullanılmasına karşın, daha sonra karmaşık ve kombinasyonel problem çözümlerinde sezgisel ve esnek hesaplama yöntemlerinin daha uygun olduğu görülmüştür. Son zamanlarda, evrimsel algoritmalar, restorasyon probleminin çözümünde uygulanmaya başlamıştır [3], [9]. Bu yöntem ile daha iyi sonuçların elde edildiği görülmüştür. Evrimsel algoritmalar doğa ve evrim kurallarına göre oluşmuş tahminsel yöntemlerdir. Bu nedenle karmaşık problemlere uygulanabilirliği artarak global en uygun sonuçlara ulaşıldığı kanıtlanmıştır.

Baran M. E. tarafından yapılan çalışmada, toplam şebeke kayıplarını minimum yapan en uygun dağıtım şebekesi tasarımı ve yük dengesi problemi ele alınmıştır [10]. Ucak C.,

daha sonra geliştirdiği algoritma ile yüklerin tek tek enerjilendirilmesi ilkesine dayanan bir çalışma yapmıştır [11]. Burada daha çok sisteme ait dinamik koşullar göz önünde bulundurulmuştur. Grainger J. J. ve Civanlar S.'nin örnekledikleri model, problemi uygulayan ve geliştiren bir çok kişiye kaynak olmuştur. İçerisinde iki farklı amaç ve çok sayıda kısıt bulunan bu çalışmada, hatların yeniden yapılandırılması ve yeni uygun şebeke yapısının oluşturulması ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. MP ile sisteme ait anahtarlama yapılarının değiştirilmesi sağlanarak uygun topoloji elde edilmiştir. Ayrıca çalışma sırasında, problemin hangi tür şebekelere uygulanabildiği konusunda detaylı bilgi de verilmiştir [2]. Yakın zamanda ise PSERC tarafından Liu C. C., Vittel V. ve Tomsovic K. Başkanlığındaki komisyon tarafından 2009 yılında bir çalışma yapılmıştır [12]. Çalışmada generatör kalkışı, iletim ve dağıtım sistemi ile güç sistemlerinin restorasyonu problemleri örnek sistemler üzerinde geliştirilen algoritmalar uygulanarak incelemeler yapılmıştır. Üç farklı problem için de en uygun çözüm yöntemleri belirtilmiş ve sonuçlar verilmiştir.

## 1. Restorasyon Problemi

Dağıtım şebekelerinin restorasyonu, şebekede bulunan işletme yapısına göre mevcut anahtarların konumlarının (açık veya kapalı), belirlenen optimizasyon problemine ait amaç ve kısıtlar çerçevesinde değiştirilmesi ilkesine dayanan analiz işlemidir [13]. Açık ring olarak işletilen dağıtım şebekelerine uygulanabilir. Kapalı ring şebekelerde, dağıtım şebeke restorasyonu problemleri çözümü zorlaşmakta ve en uygun (optimum) çözümlere ulaşılmasının zaman almasına neden olmaktadır [2]. Buradan da anlaşılabileceği üzere, restorasyon problemi, karmaşık kombinyasyonel, bilgi ve detay isteyen, tecrübe ve deneyim gerektiren bir optimizasyon problemi çözümüdür [13]. Problemin çözümü için sisteme ilişkin anahtarlama konumları, özellik ve topolojileri, toplam hat kümesi ve özellikleri veya hat dizisinin bilinmesi gerekmektedir. Problemin yapısı gereği, sınır denklemi sayısı fazladır. Restorasyon probleminin amacı, dağıtım şebekelerinde bulunan açık ve kapalı anahtarların yapılarının herhangi bir arıza anında değiştirilerek, arızalı bölgeyi sistemden izole etmek ve kalan bölgelerin en uygun şekilde beslenmelerini sağlamak için uygun anahtarlama topolojisinin bulunmasıdır. Restorasyon problem çözümünün bir diğer amacı da, yüksek öneme sahip yüklerin en önce sisteme dahil edilmek istenmesidir. Çözüm sırasında oluşturulan algoritmada, her yükün önemine karşılık gelen, 0 ve 1 arasında yüzdelik bir katsayı atanır. En önemli yükün katsayısı 1 olmak kaydıyla, diğer yükler sıfıra doğru belirlenen katsayılar ile çarpılıp algoritmaya sokulur. Restorasyon işlemi gerçekleştirilirken veya gerçekleştirildikten sonra sisteme ait bazı özelliklerin de korunması veya bazı hatalı değişikliklerin de meydana gelmemesi gerektiği unutulmamalıdır. Bu nedenle, bir elektrik dağıtım şebekesi restorasyonu problemi için;

- 1) Restorasyon probleminde, besleme dışı kalan bölgelerin en kısa zamanda yeniden enerjilendirilmesi hedeflenmektedir. Bu durum, sistem operatörlerinin servis dışı kalan bölgelerinin en kısa zamanda yeniden enerjilendirmesi ile mümkündür.
- 2) Enerjisiz kalan bölgelerde, mümkün olan en çok sayıda yükün restorasyonu ile bu bölgelerin minimize edilmesi hedeflenmelidir.

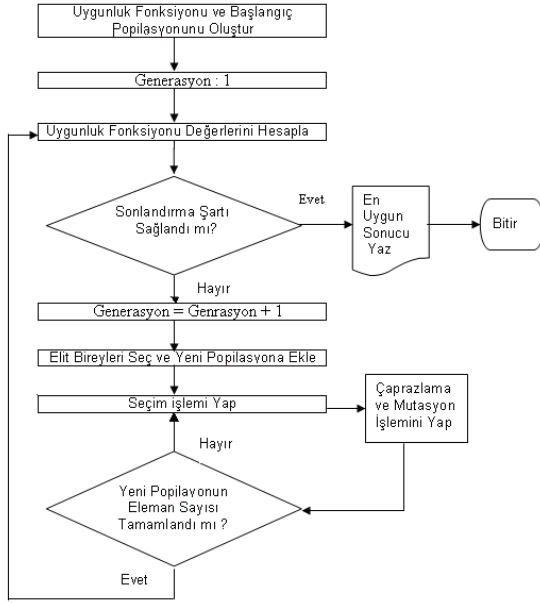
- 3) Restorasyonda gerekli anahtarlama sayısı minimum olmalıdır. Gereğinden fazla anahtarlama işlemi gerçekleştirilirse; anahtarlama eleman ömürleri kısalmış ve anahtarlama kayıpları artmaktadır.
- 4) Restore edilmiş sistemin topolojisi veya yapısı ile konfigürasyonu; orijinal sistem ile çok yakın özellikler göstermelidir.
- 5) Restorasyon sonrasında, arıza öncesindeki, açık ring işletme yapısı korunmalıdır.
- 6) Restorasyon sonrası şebekede aşırı yük olmamalıdır.

## 2. Evrimsel Algoritmalar

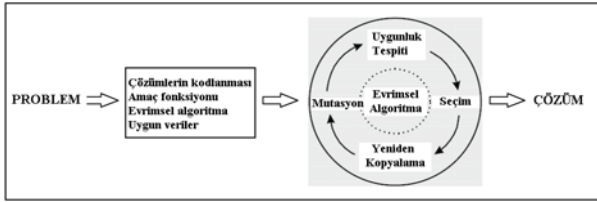
Evrimsel algoritmalar, en iyi olan yaşar prensibine dayalı olarak, Darwin'in evrim teorisi düşüncesini temel alarak oluşturulan algoritma çeşididir. Evrimsel algoritma, bir veri grubundan özel bir veriyi bulmak için kullanılır. Bu özelliği ile ideal bir optimizasyon metodu olarak kabul edilir. Evrim Teorisi ile kabul edilen en iyinin yaşaması ve zayıf olanın elenmesi kuralına bağlı olarak, algoritma sürekli iyileşen çözümler üretir. Kötü olan çözümler ise elenir. Evrimsel algoritma, rastgele oluşturulan ve birçok çözüm takımının içinde bulunduğu, topluluk adı verilen gen havuzu ile çalışmaya başlar. Her bir değişkene bir kromozom denir. Kromozomlar, genlerin kombinasyonlarından oluşur ve uygunluk fonksiyonu değişkenlerinin tamamını bünyesinde bulunduran bireyleri oluştururlar. Fonksiyonun tüm değişkenlerinin yan yana sıralanması ile genlerden oluşan birey meydana getirilir. Topluluğu bir matris gibi düşünersek, birey bu matrisin bir satırıdır. Bireylerin tümünün bulunduğu havuz ise topluluk olarak adlandırılır. Her bir bireyin genleri değişik şekillerde kodlanır. En yaygın olanı kodlama, ikilik (binary) sayı sistemi olarak bilinen kodlamadır. Bu sistemde kromozomlar 0 ve 1 genlerinin kombinasyonlarından oluşurlar. Topluluğun devamı biyolojik kurallara bağlıdır. Topluluğun her bir bireyi için uygunluk fonksiyonu değerleri hesaplanır. Kromozomlardan başarılı olanlar, yani uygunluk fonksiyonu değerleri, aranan kriterlere yakın olanlar bir seçim yöntemi ile seçilirler. Aranan kriterlerden çok uzak olanlar ise elenirler. Neslin devamı bir sonraki jenerasyondaki başarılı bireyler arasında gerçekleşir. Başarılı bireyler ebeveyn olarak kabul edilmek sureti ile aralarında üreme meydana getirilerek yeni bireyler oluşturulur. Bu olaya evrimsel algoritmada çaprazlama denir. Çaprazlama ebeveynlerin bazı genlerini yeni bireyler üzerine kopyalamaları işlemidir. Çaprazlama (üreme) sonucunda yeni bireyler elde edilir. Yeni bireylerin ebeveynlerinin kopyası olması olasılığını önlemek için bu bireyler mutasyona uğratılır. Mutasyon ile rast gele bazı genler değişikliğe uğratılır. Örneğin bireyin gen zincirinin herhangi bir kısmında 0 var ise, bu değer 1 veya 1 ise 0 olur. Algoritmada mutasyon oranı, yani değişikliğe uğrama oranı, genellikle topluluk sayısına göre belirlenir [14]. Sonuçta, başarılı bireylerin genleri, alt nesillere aktarılırken, zayıf olan bireylerin genleri ise zamanla yok olur. Yeni nesiller oluştuğça gen havuzunun da kalitesi gittikçe artar. Başlangıçta havuz içinde bir çok başarısız birey bulunmasına karşılık jenerasyon ilerledikçe havuzun çoğunluğunu başarılı bireyler oluşturur. En sonunda tüm bireyler aranan ideal bireye dönüşür. Bu taktirde optimizasyon sonuçlanmış olur.

Evrimsel algoritma çalışmasında programın sonlandırma şartı olarak nesil sayısı, programın çalışma süresi veya belirli bir

sürede sürekli aynı sonuçların elde edilmesi olarak belirlenebilir.



Şekil 1: Evrimsel algoritmanın yapısı



Şekil 2: Evrimsel algoritma ile problem çözümü

### 3. Matematiksel Model

#### 3.1. Amaç Fonksiyonları

- Beslemenin maksimize edilmesi

$$\max \sum_{i=1}^n W_i \cdot I_i \quad (1)$$

Burada,  $I_i$ ,  $i$  inci düğüm yük akımı,  $n$  toplam düğüm sayısı,  $W_i$  her bir yük ile ilişkili, yüklerin önemlerine ilişkin bir ağırlık katsayısıdır [15].

- Yük kapasitesinin maksimizasyonu

$$\max \sum_{k \in R} L_k \cdot y_k \quad (2)$$

Burada,  $L_k$  k'inci baradaki yük,  $y_k$  karar değişkeni ve  $R$  enerjisiz kalan yüklerin kümesidir [15].

#### 3.2. Sınır Fonksiyonları

- Hatlardaki akan güçler ve hat gerilimleri cinsinden kayıp hesabı ve minimizasyonu

$$\min \sum_{i=1}^{n_b} k_i \cdot r_i \cdot \frac{P_i^2 + Q_i^2}{|V_i|^2} \quad (3)$$

Burada,  $n_b$  sistemdeki hatların kümesi,  $P_i$   $i$  hattındaki aktif güç,  $Q_i$   $i$  hattındaki reaktif güç,  $V_i$   $i$  hattının gerilimi,  $r_i$   $i$  hattının direnci,  $k_i$   $i$  hattının topolojik durumudur. Hat devrede ise =1, değilse =0 alınır [16].

- Sistemde bulunan ve yükleri besleyen uygun yük kaynağının kapasite limiti

$$\sum_{e \in F_q} P_e \cdot X_e \leq G_q \quad q \in S \quad (4)$$

Burada,  $P_e$   $e$  dalına giren güç  $P_e \geq 0$  kabul edilir,  $X_e$   $e$  dalına ait karar değişkeni,  $F_q$   $q$  düğümü ile başlayan dal kümesi,  $S$  enerjilendirilmiş baralar kümesi,  $G_q$  enerjilendirilmiş  $q$  barasındaki restorasyon gücüdür.

- Üretim-talep arasındaki güç dengesi

$$\sum_{k \in T_i} P_k - \sum_{k \in F_i} P_k - L_i \cdot y_i = 0 \quad i \in N \quad (5)$$

Burada,  $T_i$   $i$  barasına bağlı dallar kümesi,  $L_i$   $i$  inci baradaki yük,  $N$  bara kümesi [17].

- Hatların taşıyabilecekleri limitler

$$P_k - U_k \cdot X_k \leq 0 \quad (6)$$

Burada,  $U_k$   $k$  hattından akan güç,  $P_k$ :  $k$  hattının güç kapasitesi,  $X_k$   $k$  hattına ait restorasyon katsayısı. Eğer  $k$  hattı restorasyona girerse 1, girmezse 0 değerini alır [16].

- Baralarındaki gerilim limitleri

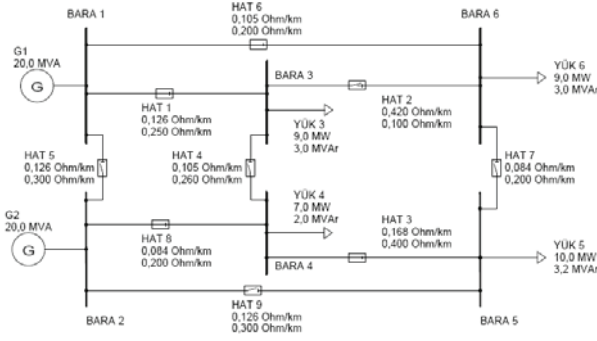
$$V_{i \min} \leq V_i \leq V_{i \max} \quad i \in N \quad (7)$$

- Açık ring işletme sınırı

Restorasyon probleminde kullanılan elektrik dağıtım şebekelerinde, oluşan arızaların kolay tespit edilmesi ve değişken sayısının az olması gibi sebeplerden dolayı açık ring olarak işletme tercih edilir. Problem çözümünden sonra elde edilecek en uygun işletme modelinin de aynı yapıda olması gerekmektedir.

### 4. Örnek Uygulama

Bu bölümde, önceki bölümlerde bahsedilen yapı ve özelliklere uygun bir elektrik dağıtım şebekesi üzerinde restorasyon problemi uygulaması yapılmıştır. Evrimsel algoritmanın yanı sıra, amaç ve kısıt denklemlerine uygun sonuçların elde edilip edilemediğinin anlaşılabilmesi için yük akışı analizine de ihtiyaç vardır. Bu nedenle,  $n$ -baralı bir elektrik dağıtım şebekesi için çözüm yapılabilecek bir yük akışı programı geliştirilmiştir.



Şekil 3: Örnek sistem [11]

Aşağıda tablo1, 2 ve 3'te sisteme ait bilgiler verilmiştir:

Tablo 1: Generatör aktif ve reaktif güçleri

| Generatör | Aktif güç [MW] | Reaktif güç [MVar] |
|-----------|----------------|--------------------|
| 1         | 17             | 10,5               |
| 2         | 16             | 12                 |

Tablo 2: Baralardaki yüklere ait aktif ve reaktif güçleri

| Bara | Aktif güç [MW] | Reaktif güç [MVar] |
|------|----------------|--------------------|
| 3    | 9,0            | 3,0                |
| 4    | 7,0            | 2,0                |
| 5    | 10,0           | 3,2                |
| 6    | 9,0            | 3,0                |

Tablo 3: Hatlara ait bilgiler

| Bar a A-B | Hat | Direnç [Ω/km] | İndüktans [Ω/km] | Akım taşıma kapasitesi [A] |
|-----------|-----|---------------|------------------|----------------------------|
| 2-3       | 1   | 0,126         | 0,25             | 77                         |
| 3-6       | 2   | 0,42          | 0,1              | 350                        |
| 4-5       | 3   | 0,168         | 0,4              | 45                         |
| 3-4       | 4   | 0,105         | 0,26             | 165                        |
| 1-2       | 5   | 0,126         | 0,3              | 125                        |
| 2-6       | 6   | 0,105         | 0,2              | 230                        |
| 5-6       | 7   | 0,084         | 0,2              | 65                         |
| 1-4       | 8   | 0,084         | 0,2              | 220                        |
| 1-5       | 9   | 0,126         | 0,3              | 212                        |

Yapılan çalışmada, restorasyon problemi uygulanmış olan örnek test şebeke Şekil 3'te verilmiştir [11]. Şekildeki dağıtım şebekesi, görüldüğü gibi kapalı ring yapıda tasarlanmış ancak açık ring (radyal) olarak işletilmektedir. 4 barasında yük bulunan, toplam 6 bara ve 9 hattan oluşan sistemde, 9 anahtardan 2, 4, 5, 7 ve 9 numaralı anahtarlar açık, diğerleri kapalı olarak işletilmektedir. Restorasyon yapılmadan önce sistem ile ilgili bazı kabuller yapılmıştır;

- Sistemdeki tüm yüklerin dengeli olduğu kabul edilmiştir.
- Hataların devreye giriş ve çıkışları sırasında oluşan dinamik değişimler yani geçici hal durumları ihmal edilmiştir,
- Baralar arasındaki hatların Şekil 3'ten de görülebildiği gibi tek olduğu ve bu hatlar için sadece

bir adet anahtarın var olduğu kabul edilip, sistemde hat sayısı kadar anahtar sayısının olduğu kabul edilmiştir.

- Orta gerilim dağıtım şebekesinde modelleme yapıldığı için hatların süseptans değerleri "0" alınmıştır.

Analize başlamadan önce, evrimsel algoritma yönteminin probleme uygulanabilmesi için öncelikle şebekenin genetik olarak şifrelenmesi gerekmektedir. Şifreleme işlemi 2'li sistemde 1 ve 0 lardan oluşan dizi halinde yapılır. Şifreleme aşamasında hatlarda bulunan ve kabul ettiğimiz gibi hat sayısı kadar anahtar kullanılır. Anahtarların konumları 2'li sistemde şifrelenerek, şebekenin topolojisini oluşturan genetik yapı zinciri oluşturulur. Örnek sisteme ait genetik yapı zinciri; 1 0 1 0 0 1 0 1 0 olur. Genetik yapı belirlendikten sonra, MATLAB'da yazılan yük akışı algoritması uygulanarak, mevcut durumdaki çekilen aktif ve reaktif güçler ile toplam kayıplar belirlenerek kayıt edilir.

İkinci aşamada, rastgele olacak şekilde ve 2'li sistemde bir başlangıç topluluğu oluşturuldu. Algoritma içine Population [topluluk sayısı x hat sayısı] büyüklüğünde bir matris olarak atandı. Topluluk sayısı 50, hat sayısı da sistemdeki toplam hat sayısı olan 9 alındı. Sonuçta Population = initbp(50,9) rastgele 1 ve 0'dan oluşan bir matris elde edildi. Daha sonra probleme uygun olarak iterasyon sayısı belirlendi. Örnek alınan test sistemi için bu değer 20 olarak alındı. İterasyon sayısının belirlenmesinden sonra, rastgele oluşturulan topluluktaki her bireye karşılık gelen hat matrisleri, MATLAB'da yazılan kodlar ile otomatik olarak belirlendi. Algoritmanın uygulandığı bölümde ilk olarak, probleme ait uygunluk fonksiyonu, istenilen amaç ve sınır denklemlerine göre belirlendi ve yeni topluluklar oluşturuldu. Oluşturulan topluluktaki bireyler, yani hat matrisleri, yazılan yük akışı programına birer birer gönderilerek birey sayısı kadar aktif, reaktif güçler ile kayıp güç değerleri elde edildi. Hangi birey için yük akışı analizi yapıldıysa, o bireye ait sonuçların MATLAB'ın kendi hafızasında kaydetmesi sağlandı. Evrimsel algoritma uygulama aşamasına ait koşullar;

```
gaoptimset('PopulationType', 'bitstring',
'PopulationSize', 50,
'EliteCount', 1,
'CrossoverFraction', 0.8,
'Display', 'iter',
'Generations', 100,
'StallGenLimit', 100, 'TimeLimit', 300,
'StallTimeLimit', 300,
'SelectionFcn', {@selectiontournament, 2},
'CrossoverFcn', {@crossovertwopt},
'MutationFcn', {@mutationuniform, 0.11}
'PlotFcns', {@gaplotbestf});
```

Bu koşulları açıklarsak; topluluk sayısı 50 olan, 1 ve 0'lardan oluşan rastgele oluşturulan matriste, 1'lik elitizm ile uygun olan bir birey belirlenerek, yeni topluluğa gönderildi. Daha sonra programın kendi içinde tanımlanması gereken jenerasyon ve zaman sınırları belirlenip, oluşan yeni toplulukta 2'li turnuva seçimi yapılarak yeni bir topluluk elde edildi. Seçim işlemi aşamasından sonra iki noktalı çaprazlama yapıldı. 0,8 çaprazlama oranı ile topluluk içindeki bireylerin genleri birbirleri ile çaprazlanarak yeni bireyler ve yeni bir topluluk oluşturuldu. Üçüncü olarak mutasyon aşamasına geçildi. Mutasyon oranı (1/birey uzunluğu) olarak 0.11 alındı ve birey genlerine uygulanarak yeni topluluk elde edildi. Bu

bireyler de son olarak yük akışı programına gönderildi. Yük akışı sonrasında elde edilen birey sayısı kadar güç akışı verileri kendi aralarında karşılaştırılarak, güç değerlerinin maksimum, kayıpların minimum ve anahtarlama sayısının en az olduğu bireye ait sonuç, en uygun çözüm olarak alındı. En uygun çözüm, algoritmanın sonunda MATLAB’da çizdirilmiştir. Çözüme ait bireyin gen yapısı ise, arıza sonrası oluşturulan en uygun işletmeye ait anahtarlama topolojisi olarak alındı. Bu yapıya göre tekrar yük akışı analizi yapılarak elde edilen değerlerin, Bölüm 4’teki amaç ve sınır denklemlerine uygun olup olmadığı kontrol edildi. Eğer istenilen sonuçlar elde edilemez ise, bahsedilen işlemler uygun sonuç bulunana kadar tekrarlanır.

Örnek sistemin 4 numaralı barasında bir arıza meydana geldiğinde, arızanın sistemden izole edilebilmesi için, 3 ve 8 numaralı anahtarlar açılacaktır. Açılan anahtarlar sonrası oluşan genetik şifre yapısı 1 0 0 0 0 1 0 0 0 olarak elde edilir. Yapılan çalışma için oluşturulan evrimsel algoritmaya, arıza sonrası oluşan genetik yapı sokulur. Arıza öncesinde yapılan yük akışı sonucunda, aktif kayıplar 0.386MW, reaktif kayıplar ise 0.825MVar olarak hesaplanmıştır. Arıza sonrası oluşan yapı, daha önce bahsedilen koşullarına uygun olarak algoritmaya sokulup, en uygun anahtarlama yapısı belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuçta, yeni sistemde, 2, 3, 4, 5, 6, 8 numaralı anahtarların açık, diğer anahtarların kapalı olduğu bir yapı elde edilmiştir. Bu yapıya göre yük akışı yapıldığına oluşan aktif kayıplar 0.356MW, reaktif kayıplar ise 0.776 olarak elde edilmektedir.

| Bus No. | Voltage Mag. | Angle Degree | Bara açılırları ise yandaki şekilde görüldüğü gibi %5 sınırının altına inmemektedir. Ayrıca diğer bir sınır koşulu olan üretim-tüketim dengesi koşulu da tüm yüklerin beslenebilir olmasından dolayı sağlanmıştır. |
|---------|--------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1       | 1.000        | 0.000        |                                                                                                                                                                                                                    |
| 2       | 1.000        | 0.000        |                                                                                                                                                                                                                    |
| 3       | 0.981        | -1.094       |                                                                                                                                                                                                                    |
| 5       | 0.953        | -2.958       |                                                                                                                                                                                                                    |
| 6       | 0.979        | -3.949       |                                                                                                                                                                                                                    |

## 5. Sonuçlar

Yapılan çalışmada dağıtım şebekesine restorasyon problemi uygulanmıştır. Elektrik dağıtım şebekelerinin yapıları incelendiğinde, çok sayıda anahtarlama elemanlarının olduğu görülmektedir. Anahtarlar kendi aralarında, sistemin işletme yapısına bağlı olarak, kombinasyonel çalışırlar. Bu da sistemin karmaşıklığını arttırmaktadır. Ayrıca, dağıtım şebekelerinde eleman sayısının fazla olması nedeniyle çok sayıda parametre ve bilginin var olması da bu karmaşıklığı arttırmaktadır. Bu nedenle, klasik optimizasyon metodları ile elektrik dağıtım şebekelerin restorasyonu problemi çözümü mümkün olmamaktadır. Bunun için de, evrimsel algoritmaların çözüm yöntemi olarak uygun olduğu görülüp, çalışma sırasında geliştirilen bir evrimsel algoritma, amaç fonksiyonları doğrultusunda, örnek test sistemine uygulanarak uygun sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçların, Bölüm 4’te bahsedilen sınır koşullarına uygun olup olmadığı incelenmiş ve tüm koşulları sağladığı görülmüştür. Bütün bunlar değerlendirildiğinde, elde edilen sonuçların uygun çözümler olduğu söylenebilir. Daha önce yapılan çalışmalarda, sadece bir amaç baz alınarak, sınır denklemlerine göre incelemeler gerçekleştirilmiştir.

## 6. Kaynaklar

- [1] Su, C. T., Lee, C. S., "Feeder Reconfiguration and Capacitor Setting for Loss Reduction of Distribution Systems," *Electric Power System Research*, no. 58, pp. 97–102, Dec. 18, 2001.
- [2] Civanlar, S., Grainger, S., and Yin, H., "Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 3, no. 3, pp. 1217–1223, Temmuz 1988.
- [3] Mendiola, M. C., Chang, C. S., and Elangovan, S., "Fuzzy Expert System for Distribution System Restoration and Contingency Operation," *IEEE Explore Catalogue*, no. 95TH8130, pp. 73–79, 1995.
- [4] Simburger, E. J., "Low Voltage Bulk Power System Restoration Simulation," *IEEE Transactions on Power Apparatus & Systems*, Vol. PAS-100, no. 11, pp. 4479–4484, 1981.
- [5] Sakaguchi, T., "Development of a Knowledge Based System for Power System Restoration," *IEEE Transactions on Power Apparatus & Systems*, Vol. PAS-102, no. 2, pp. 320–329, 1983.
- [6] Nagata, T., "Power System Restoration by Joint Usage of Expert System and Mathematical Programming Approach," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 10, no. 3, pp. 1473–1479, 1995.
- [7] Lee, S., "Service Restoration of Primary Distribution Systems Based on Fuzzy Evaluation of Multi-criteria," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 13, no. 3, pp. 1156–1163, 1998.
- [8] Nagata, T., Hatakemaya, S., and Yasuka, M., "An Efficient Method for Power Distribution System Restoration Based on Mathematical Programming and Operation Strategy," *IEEE Explore*, pp. 1545–1549, 2000.
- [9] Nara K., "Genetic Algorithm for Power Systems Planning," in *Proc. 1997 The 4th International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management*, pp. 60–65, Hong Kong.
- [10] Baran, E., Wu, F., "Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 4, no. 2, pp. 1401–1407, Nisan 1989.
- [11] Liu C. C., Vittal V., Tomsovic K., "Development and Evaluation of System Restoration Strategies from a Blackout," *Power Systems Engineering Research Center*, Eylül 2009.
- [12] Pohlheim, H., "GEATbx Genetic and Evolutionary Algorithm Toolbox for MATLAB Version 3.8 User's Manual," retrieved January 25, 2010, from <http://www.geatbx.com>
- [13] Venkatraman, S., "A Generic Framework for Constrained Optimization Using Genetic Algorithms," *IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, Vol. 9, no. 4, pp.579–584, 2005.
- [14] Solanaki, J. M., Khushalani, S., and Schulz, N. N, A Multi-Agent Solution to Distribution Systems, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 22, no. 3, pp. 1026–1033, Ağustos 2007.
- [15] Nagata, T., Tao, Y., and Kimura, K., A Multi-Agent Approach to Distribution System Restoration, *The 4th IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems*, pp. II/333–336, 2004.
- [16] Zhigang, M., Study on Distribution Network Reconfiguration Based on Genetic Simulated Annealing Algorithm, *Technical Session 3 Protection, Control, Communication and Automation of Distribution Network CIED'08*, pp. 1–7, 2008.
- [17] Vadivoo, N. S., Slochanal, S. M. R., Distribution System Restoration Using Genetic Algorithm with Distributed Generation, *CCSE Modern Applied Science*, Vol. 3, no. 4, pp. 98–109, Nisan 2009.
- [18] Saadat H., "Power System Analysis", WCB/McGraw-Hill, Boston, 1998.