

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EVİRİMSEL ALGORİTMALAR İLE ELEKTRİK DAĞITIM
ŞEBEKELERİNİN RESTORASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Buğra AKDUMAN**

Anabilim Dalı : Elektrik Mühendisliği

Programı : Elektrik Mühendisliği

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EVİRİMSEL ALGORİTMALAR İLE ELEKTRİK DAĞITIM
ŞEBEKELERİNİN RESTORASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Buğra AKDUMAN
(504071021)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 01 Haziran 2010

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Belgin TÜRKAY (İTÜ)
Eş Danışman : Yrd. Doç. Dr. Şima UYAR (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Serhat ŞEKER (İTÜ)
Prof. Dr. İbrahim EKSİN (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Lale T. ERGENE (İTÜ)**

HAZİRAN 2010

Bana her koşulda desteklerini esirgemeyen Aileme,

ÖNSÖZ

Yazdığım bu yüksek lisans tez projesinin konusu belirlenirken, günümüzde geçerliliği yüksek olan yeni bir konu olmasına, pratik uygulama içermesi ve endüstride uygulanabilir olmasına özen gösterilmiştir. Tez çalışması danışmanı hocamın da kararıyla “Evrimsel Algoritmalar İle Elektrik Dağıtım Şebekelerinin Restorasyonu” konusuna karar verilmiştir.

Bu akademik çalışmanın yürütülebilmesi için bilimsel çalışmalara ve araştırmaya teşvik eden, bana yol gösteren ve tez çalışmamı en iyi şekilde tamamlamama yardımcı olan sevgili hocalarım Doç. Dr. Belgin Türkay ve Yrd. Doç. Dr. A. Şima Uyar’a, lisans ve yüksek lisans dönemi boyunca her türlü yardımı esirgemeyen saygı değer İTÜ Elektrik Mühendisliği Bölümü hocalarına, arkadaşlarıma ve en önemlisi de benim bugünlere gelmemde büyük emeği olan canımdan çok sevdiğim aileme sonsuz saygı ve teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2010

Buğra Akduman
(Elektrik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİ	5
2.1 Radyal (Dallı) Şebekeler	5
2.2 Halka (Ring) Şebekeler	6
2.3 Ağ (Gözlü) Şebekeler	7
3. RESTORASYON PROBLEMİ	11
3.1 Restorasyon Probleminin Yapısı ve Özellikleri	11
3.2 Restorasyon Probleminin Amacı.....	11
3.3 Restorasyon Probleminin Belirlenmesi	13
3.3.1 Hazırlama	13
3.3.2 Sistem düzenlenmesi	13
3.3.3 Yük restorasyonu	13
3.4 Restorasyon Problemi Çözüm Yöntemleri.....	14
3.4.1 Sezgisel yaklaşım	15
3.4.2 Bilgi tabanlı yaklaşım	15
3.4.3 Matematiksel programlama.....	16
3.4.4 Esnek hesaplama	17
3.5 Restorasyon Probleminin Uygulama Alanları.....	18
4. EVRİMSEL ALGORİTMALAR	19
4.1 Genel Yapısı	19
4.2 Evrimsel Algoritmanın Aşamaları	21
4.2.1 Uygunluk fonksiyonu.....	23
4.2.2 Başlangıç topluluğunun oluşturulması.....	24
4.2.3 Uygunluk fonksiyonunun hesaplanması	26
4.2.4 Evrimsel algoritma operatörleri	27
4.2.4.1 Elitizm	27
4.2.4.2 Seçim	27
Rulet çarkı seçim kriteri	28
Turnuva seçim kriteri	31
Sıralı seçim kriteri	32
4.2.4.3 Çaprazlama	32
Tek noktalı çaprazlama	32
İki noktalı çaprazlama	33

Çok noktalı çaprazlama	34
Düzenli çaprazlama	34
4.2.4.4 Mutasyon	35
4.3 Evrimsel Algoritmanın Sonlandırma Şartları	36
5. MATEMATİKSEL MODEL	37
5.1 Amaç Fonksiyonu	37
5.2 Sınır Denklemleri	38
6. ÖRNEK UYGULAMALAR	43
6.1 Örnek Şebekenin Yapısı ve Kabuller	43
6.2 Uygulanan Yöntem	47
6.3 Sonuçlar	54
6.3.1 Uygulama 1	54
6.3.2 Uygulama 2	57
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	61

KISALTMALAR

GA	: Genetik Algoritma
MATLAB	: Matrix Laboratory
MP	: Matematiksel Programlama
IEEE	: Institute of Electrical and Electronical Engineers
Ör	: Örnek
PSERC	: Power Systems Engineering Research Center
kV	: Kilo Volt
MVA	: Mega Volt-Amper
MW	: Mega Watt
MVA_r	: Mega Volt-Amper Reaktif
kA	: Kilo Amper
r	: Direnç
x	: İndüktans
P	: Aktif Güç
Q	: Reaktif Güç

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : Değişkenlerin kodlanması ile bireyin elde edilmesi.....	24
Çizelge 4.2 : Tek noktalı çaprazlama.	33
Çizelge 4.3 : İki noktalı çaprazlama.	34
Çizelge 4.4 : Çok noktalı çaprazlama.	34
Çizelge 4.5 : Düzenli çaprazlama.	35
Çizelge 6.1 : Beslemelerdeki aktif ve reaktif güçler.....	45
Çizelge 6.2 : Baralardaki aktif, reaktif ve kompanzator güçleri.....	45
Çizelge 6.3 : Bara gerilim ve açı değerleri.	46
Çizelge 6.4 : Hat bilgileri.....	46
Çizelge 6.5 : Hatlardaki yük akışı sonuçları.....	51
Çizelge 6.5 : (devam) Hatlardaki yük akışı sonuçları.....	52
Çizelge 6.6 : Uygulama için baralara ait yük akışı sonuçları.	55
Çizelge 6.7 : Uygulama için hatlara ait yük akışı sonuçları ve kayıplar.	56

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Tek taraftan beslenen dallı şebeke yapısı.....	6
Şekil 2.2 : Halka şebeke.	7
Şekil 2.3 : Ağ şebeke yapısı.....	7
Şekil 3.1 : Restorasyon aşamaları.....	13
Şekil 3.2 : Kapalı ring ve karmaşık bir dağıtım şebekesi örneği.....	18
Şekil 4.1 : Basit bir evrimsel algoritma.	21
Şekil 4.2 : Evrimsel algoritmanın yapısı.....	22
Şekil 4.3 : Evrimsel algoritma ile problem çözümü.	22
Şekil 4.4 : Uygunluk fonksiyonu değerlerine göre bireylerin seçilme ihtimallerinin rulet çarkında gösterilmeleri.....	30
Şekil 6.1 : Uygulama için kullanılan elektrik dağıtım şebekesi.	44
Şekil 6.2 : Genetik yapı zinciri.	48
Şekil 6.3 : MATLAB’da bara verilerinin tanımı.	48
Şekil 6.4 : MATLAB’da hat verilerinin tanımı.	49
Şekil 6.5 : Baralardaki yük akışı sonuçları.	50
Şekil 6.6 : Elde edilen yeni sistemin genetik yapı zinciri.....	55
Şekil 6.7 : MATLAB’da çizdirilen en iyi sonuç.....	57

EVİRİMSEL ALGORİTMALAR İLE ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİNİN RESTORASYONU

ÖZET

Bu tez çalışması, elektrik dağıtım şebekesi restorasyonu problemi için evrimsel algoritma temeline dayanan uygun ve hesaplanabilen bir çözüm yaklaşımının bulunmasını amaçlamaktadır. Son yıllarda elektrik güç sistemlerinin büyümesi ve gelişmesi, yüklerin beslenme sürekliliği açısından birçok probleme neden olmaktadır. Dağıtım sisteminde bir arıza meydana geldiğinde, arızalı bölge en kısa sürede sistemden izole edilerek, mümkün olan en çok sayıda yükün tekrar enerjilendirilmesi gerekmektedir. Bu durum, var olan sistemin işletme yapısının bozulmadan, enerjisiz yüklerin, arızalı bölgeden, enerjili bölgelere transfer edilmesiyle gerçekleşir. Elektrik dağıtım sistemlerinin tekrar uygun çalışma koşullarına dönmesi ve enerjisiz kalan kısımların en aza indirilmesi, dağıtım şebekesinin restorasyonu problemi ile ilgilidir. Bu problemin temelinde, enerjisiz bölgelerin etkilerinin en aza indirilmesi vardır. Bu da, sisteme ait sınır ve kısıtlara uygun olarak anahtarlama yapısının değiştirilmesi ile en uygun işletme yapısının bulunması ile gerçekleşir. Anahtarlama yapısının değiştirilmesi, restorasyon probleminin çok sayıda sınırlara sahip karmaşık bir optimizasyon problemi olmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı, problem çözümünün en uygun olabilmesi için kullanılması gereken yöntem, evrimsel algoritmalarlardır. Bu çalışmada, açık ring olarak işletilen bir elektrik dağıtım şebekesine evrimsel algoritmalarla genetik algoritma uygulanarak elde edilen sistem modeli ve analiz sonuçları verilmiştir.

Anahtar Kelimeler – Dağıtım şebekesi restorasyonu, yük restorasyonu, güç sistemlerinin yeniden yapılandırılması, servis restorasyonu, çok amaçlı restorasyon, evrimsel algoritmalar.

SERVICE RESTORATION IN ELECTRIC DISTRIBUTION SYSTEMS USING AN EVOLUTIONARY ALGORITHM

SUMMARY

This study proposes an efficient and computationally feasible solution approach based on evolutionary algorithms to the distribution system restoration problem. In recent years, the enlargement and development of electrical power systems have introduced various problems related to the continuity of load feeding. 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. This is done by transferring de-energized loads from out-of-service areas through the distribution system without violating or disturbing the existing operation constraints. 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. The main concern of this problem is to minimize the impact of the outage on the system. 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 and obtain feasible solutions of good quality, with an acceptable amount of computational effort, an evolutionary algorithm approach is proposed. The proposed evolutionary algorithm is applied to a radially configured distribution system model and analysis results are presented.

Keywords – Distribution system restoration, Load restoration, Power system reconfiguration, Service restoration, Multiobjective optimization, Evolutionary algorithms.

1. GİRİŞ

Teknolojideki gelişmelere bağlı olarak, enerjiye duyulan gereksinim gün geçtikçe katlanarak artmaktadır. Bu nedenle, enerjisiz kalma durumu tahammül edilemez bir hal almaya başlamıştır. Ayrıca, teknolojinin ve endüstrinin gelişmesi sonucu artan elektrik enerji tüketimini karşılamak için mevcut elektrik enerji şebekelerinin büyütülmesi de gerekmektedir. Artan enerji ihtiyacını karşılamak için mevcut şebekelerin optimum işletilmesi ve optimum tasarlanması da bir gereklilik haline gelmektedir.

Son yıllarda elektrik dağıtım sistemlerinin büyümesi ve geliştirilen yeni tekniklerin sistemlere uygulanması, birtakım problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu problemlerden en önemlisi; sistemde 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 gelmesidir. 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.

Bu tez çalışmasında, günümüzde önemi gün geçtikçe artan elektrik dağıtım şebekelerinin restorasyonu hakkında bilginin verilmesi ve bu bilgiler doğrultusunda örnek bir sistem üzerinde incelemeler yapılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla, radyal olarak işletilen bir elektrik dağıtım şebekesinin herhangi bir bölgesinde bir arıza oluştuğunda, geliştirilen matematiksel modele uygun olarak, bir evrimsel algoritma yardımıyla en uygun işletme yapısı belirlenmiştir.

Programın uygulanabilirliği açısından, dağıtım şebekelerinin restorasyonu ve yeniden şekillendirilmesi ile ilgili araştırmalar yapılmış, önceden yapılmış çalışmalar [1-8] incelenmiştir. Günümüzde gelişen programlama teknikleri ile problemlerin herhangi bir uygun algoritma ile çözülebileceği görülmektedir. Bu amaçla restorasyon problemlerinde günümüze kadar yapılan çalışmalarda, sezgisel [9-16], bilgi tabanlı [17-19], esnek hesaplama [20] ve matematiksel programlama [21,22] 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 [9,14,23-27]. 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 [4].

Ucak C., daha sonra geliştirdiği algoritma ile yüklerin tek tek enerjilendirilmesi ilkesine dayanan bir çalışma yapmıştır [5]. 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 [3].

Yakın zamanda ise PSERC tarafından Liu C. C., Vittel V. ve Tomsovic K. Başkanlığındaki komisyon tarafından 2009 yılında bir çalışma yapılmıştır [28]. Çalışmada generatör kalkış, 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.

Daha önce yapılan çalışmalarda, sadece bir amaç baz alınarak, sınır denklemlerine göre incelemeler gerçekleştirilmiştir. Tezde ise beslemenin maksimizasyonu, kayıpların minimizasyonu, anahtarlama sayısı minimizasyonu ve güç dengesinin sağlanması gibi çok sayıda amaç birarada bulunmaktadır. Bahsedilen amaçlar kullanılarak, sınır denklemlerine göre evrimsel algoritmalarla restorasyon gerçekleştirilmiştir.

Tezin giriş bölümünde, yapılan çalışma ile ilgili bilgi ve çalışmanın amacı verilmiştir. İkinci bölümde, elektrik dağıtım şebekelerinin yapısı, çeşitleri, işletme özellikleri ve karakteristik yapıları hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, oluşturulan algoritmanın yapısını meydana getiren restorasyon problemine ait yapı ve özellikler, problemin amacı, son olarak da çözüm yöntemleri üzerinde durulmuştur. Dördüncü bölümde ise, evrimsel algoritmaların yapısı ve özellikleri, evrimsel programlamanın mantığı ile ilgili bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde, optimizasyon problemine ait amaç ve sınır denklemleri verilerek, ilgili açıklamalar yapılmıştır. Altıncı bölümde, problemin ve algoritmanın uygulandığı örnek test sistem tanıtılarak, algoritmanın nasıl uygulandığı ve hangi aşamaların gerçekleştirildiğine dair bilgiler verilerek, çalışma sırasında elde edilen sonuçlar açıklanmıştır. Son bölüm olan sonuç ve öneriler kısmında, değerlendirmeler yapılmış ve ileride yapılabilecek yeni çalışmalardan bahsedilmiştir.

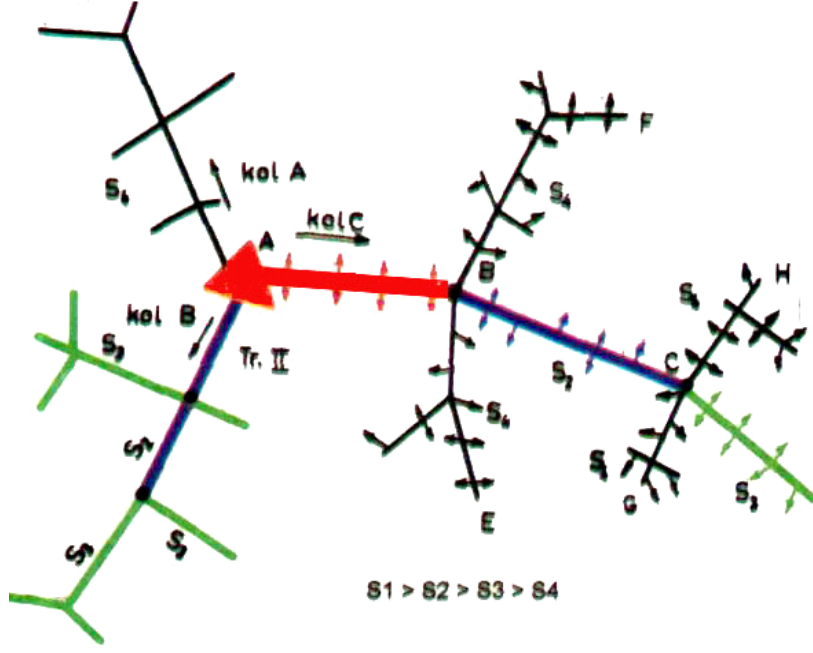
2. ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİ

Elektrik enerjisinin üretildiği santraller çoğu zaman yerleşim birimlerine uzaktır. Elektrik enerjisinin tüketicilere ulaştırılması için tesis edilen iletim ve dağıtım şebekeleri, iletim ve dağıtımın yapılacağı bölgelerin özelliklerine göre; en uygun, güvenli ve kesintisiz enerji verebilecek nitelikte olmalıdır. Bu nedenle, tüketicilerin enerjilendirilmesi, yani yüklerin karşılanmasında önemli bir rol oynar. Elektrik şebekelerinin kurulmasında tüketicilerin, kesintisiz olarak beslenmesi ana kuraldır. Bu kuralları yerine getirebilmek için değişik şebeke sistemleri geliştirilmiştir. Dağıtım şebeke sistemleri [29]:

- 1) Dallı (radyal) şebekeler
 - 2) Halka (ring) şebekeler
 - 3) Ağ (gözlü) şebekeler
- olmak üzere üç çeşittir.

2.1 Radyal (Dallı) Şebekeler

Beslemesi genellikle tek kaynaktan yapılan ve şekli ağacın dallarına benzeyen şebeke türüne dallı şebeke denir. Dallı şebekede dağıtım transformatörüne yakın olan kısımlarda kullanılan ve kalın kesitli hatlara ana hat denir. Transformatörden uzaklaştıkça incelen ve son tüketiciye kadar ulaşan hatlara (dallara) da branşman hatları denir. Şekil 2.1'deki A, B ve C kollarındaki kalın kesitli hatlar ana hatları; E, F, G ve H gibi ince kesitli hatlar da branşman hatlarını göstermektedir.



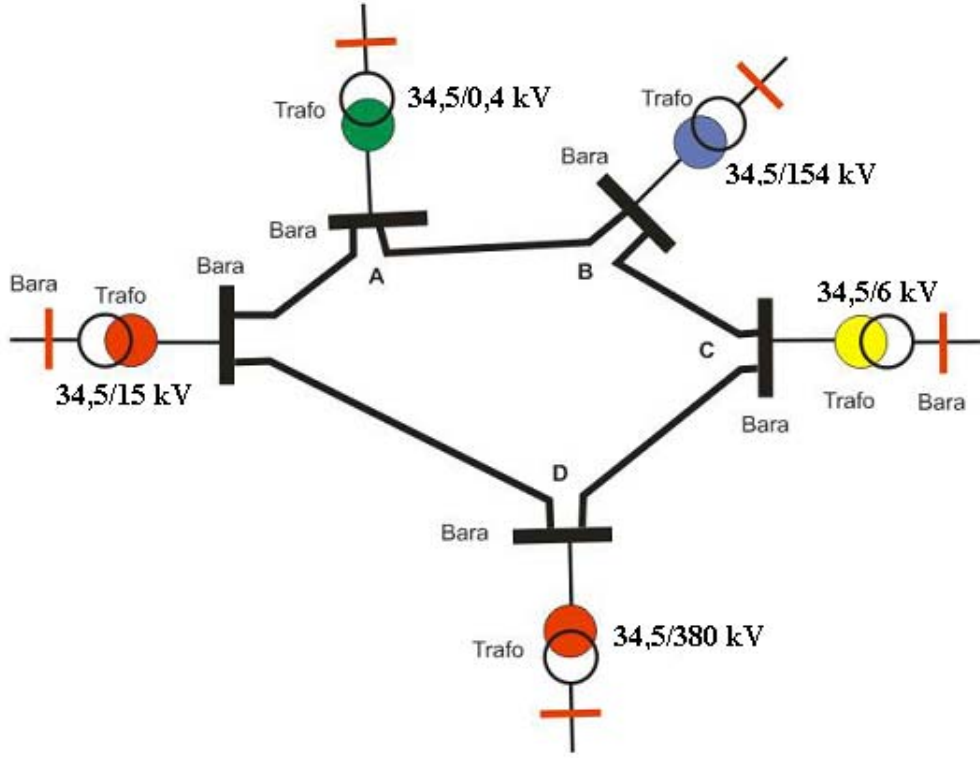
Şekil 2.1 : Tek taraftan beslenen dallı şebeke yapısı.

Şekil 2.1’de gösterilen tipteki şebekeler, tesis bedellerinin ucuz, bakım ve işletmelerinin kolay olması, oluşan arızaların kolay tespit edilmesi gibi sebeplerden dolayı tercih edilir. Bu avantajları yanında sakıncalı olan özellikleri de vardır. Dallı şebekelerde arıza olduğunda çok sayıda tüketici enerjisiz kalabilir. [29].

2.2 Halka (Ring) Şebekeler

Bir bölgenin beslemenin birden fazla kaynak ile yapıldığı ve bölge içindeki bütün transformatörlerin birbirine paralel şekilde kapalı bir sistemin oluşturduğu şebeke tipine halka şebeke denir.

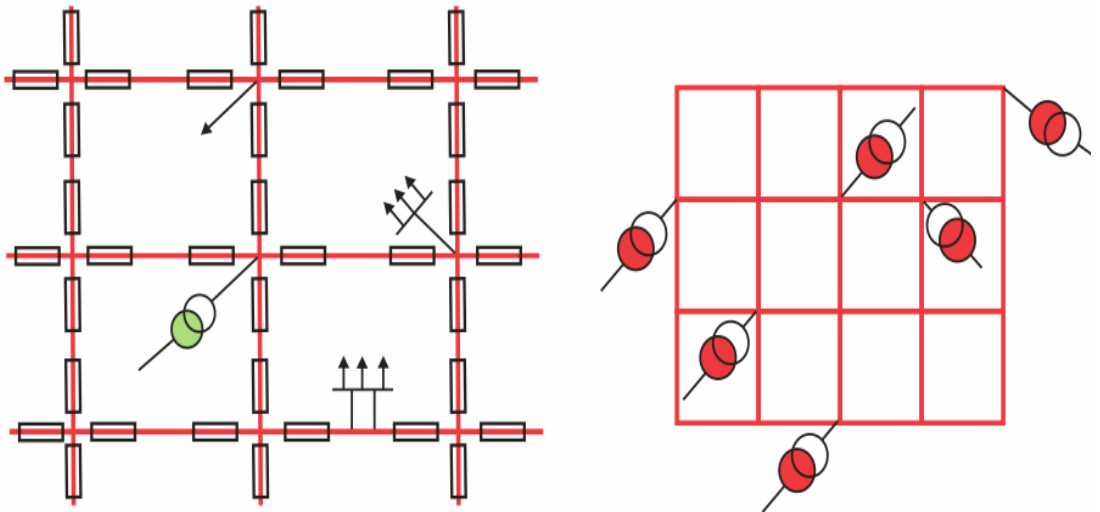
Halka şebekelerde (kapalı ring) besleme noktası birden fazla olduğu için halka içerisinde bir arıza olması halinde; sadece arızalı olan kısım devre dışı kalarak beslemenin kesintisiz devamlılığı sağlanır.



Şekil 2.2 : Halka şebeke.

2.3 Ağ (Gözlü) Şebekeler

Bir bölgedeki beslemenin birden fazla transformatör ile yapıldığı ve tüketicileri besleyen hatların bir gözlü yapı oluşturulduğu şebeke tipine ağ şebeke denir. Ağ şebekeler arıza durumunda tüketicilerin minimum enerji kesintisine maruz kaldığı şebekelerdir [29].



Şekil 2.3 : Ağ şebeke yapısı.

Elektrik orta gerilim dağıtım şebekeleri, tasarım açısından enerji sürekliliğini sağlamak için kapalı ring şeklinde tasarlanmalarına rağmen, işletme kolaylığı açısından genellikle açık ring (radyal) olarak işletilirler. Şebeke yapısı küçük olduğunda, şebekeden sorumlu operatörler, kendi deneyimlerine bağlı olarak, sistemi kolayca en uygun şekilde işletebilirler. Ancak sistemin genişlemesi, sistem elemanlarının sayısının ve işletme senaryolarındaki karmaşık yapının artması sonucunda, kontrol ve işletme zorlaşarak; herhangi bir hata veya arıza durumunda istenmeyen kayıplar ve sistem çökmeleri ile karşılaşılabilir. Bu durumdan en çok tüketiciler yani yüklerin bulunduğu kısımlar etkilenir. Bu sonuç tamamen işletme yapısına aykırı ve istenmeyen bir durumdur [29,32].

Elektrik dağıtım şebekelerinde meydana gelen arızaların yaklaşık %75'lik kısmı çevresel faktörlerden, %25'lik kısmı ise sistemin tasarımındaki ve işletilmesi sırasındaki yanlışlıklardan kaynaklanmaktadır [9]. Çevresel faktörlerden dolayı sistemlerde meydana gelecek hatalar için herhangi bir restorasyon problemi tanımlanamamaktadır. Çünkü herhangi bir t zaman anında çevresel faktörlerin nasıl bir etki yapacağına önceden kestirilmesi çok zordur. Ancak geri kalan %25'lik kısım için en uygun işletme yapısı elde edilebilir. Bu yapının elde edilmesi yani restorasyon probleminin çözümü ile sistemin enerji sürekliliği sağlanarak toplam verimin artması sağlanabilir.

Elektrik dağıtım şebekeleri, yapısı ve işletme şekillerine göre birtakım karakteristik özelliklere sahiptir [33]:

- 1) Elektrik dağıtım şebekeleri karmaşık bir yapıya sahip olup, çok sayıda anahtarlama çeşitliliğine sahiptir.
- 2) Eleman yapısı gereği, çeşitli (değişik) yapıdaki elektriksel elemanların bir araya gelerek işletilmesi ile elektriksel olarak lineer olmayan bir yapıya sahiptirler.
- 3) Kapalı ring işletme yapısına göre tasarlanıp, kolay işletme ve ekonomik faktörlerden dolayı çoğunlukla açık ring yapıda işletilirler.
- 4) Yapılarında birçok eleman bulduklarından, çok sayıda elektriksel parametre ve bilgiye sahiptirler. Özellikle transformatör, motor ve hat parametreleri, sistemdeki en çok veriye sahip olan eleman parametrelerinin başında gelmektedir.

Optimum dağıtım şebekesi tasarımı ve işletilmesinde sağlanması gereken özellikler ise:

- Şebekede kesintisiz enerji beslemesinin sağlanması,
- Şebeke ısı dayanım sınırlarını aşılmaması,
- Şebekede oluşan en büyük gerilim düşümünün kabul edilebilir değerler içerisinde olması,
- Şebekede meydana gelen kayıpların kabul edilebilir sınırlar içerisinde olması,
- Şebeke maliyetinin minimum olmasıdır.

3. RESTORASYON PROBLEMİ

3.1 Restorasyon Probleminin Yapısı ve Özellikleri

Dağıtım şebekelerinin restorasyonu, şebekede bulunan işletme yapısına göre mevcut anahtarların konularının (açık veya kapalı), belirlenen optimizasyon problemine ait amaç ve kısıtlar çerçevesinde değiştirilmesi ilkesine dayanan analiz işlemidir [34].

Restorasyon problemi, bölüm 2’de bahsedilen yapıya sahip olan elektrik dağıtım şebekelerine uygulanır. Kapalı halka şebekelerde, dağıtım şebeke restorasyonu problemleri çözümü zorlaşmakta ve en uygun (optimum) çözümlere ulaşılmasının zaman almasına neden olmaktadır [3]. Yapıdan da anlaşılacağı üzere, restorasyon problemi, kompleks (karmaşık) kombinasyonel, bilgi ve detay isteyen, tecrübe ve deneyim gerektiren bir optimizasyon problemi çözümdür [35]. Problemin çözümü için sisteme ilişkin anahtarlama konuları, özellik ve topolojileri, toplam hat kümesi ve özellikleri veya hat dizisinin bilinmesi gerekmektedir. Problemin yapısı gereği, sınır denklemi sayısı fazladır. Bölüm 2’de de bahsedildiği gibi doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, çözüm işlemleri sırasında yapılan yük akışı analizi, çok sayıda iterasyona sokularak yapılır.

3.2 Restorasyon Probleminin Amacı

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. Adım adım sistemdeki anahtarların açılıp kapanması ile tek tek yükler devreye alınarak, tüm sistemin çalışma koşullarının iyileştirilmesi hedeflenir.

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 yüzdeler bir katsayı atanır. En önemli yükün katsayısı 1 olmak kaydıyla, diğer yükler sıfıra doğru belirlenen katsayılar ile çarpılıp algoritmaya sokulur. Bu kısım ile ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm 5.1’de açıklanmıştır.

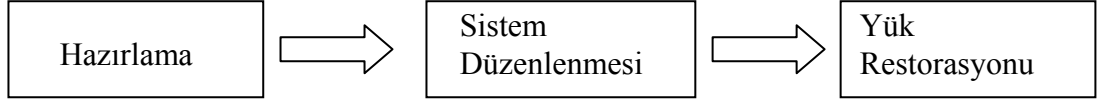
Bir diğer amaç ise; şebekeye ait belirlenen matematiksel modeldeki amaç ve kısıtlar doğrultusunda, açık ring yapının bozulmaması şartıyla, arıza sonrası en uygun çalışma yapısının algoritma yardımı ile hesaplanmasıdır.

Çalışmanın amacı [27,36];

- 1) Mümkün olduğunca en fazla sayıda yükün restore edilerek, enerjisiz kalan bölge sayısının en aza indirilmesi (yük besleme maksimizasyonu),
- 2) Anahtarlama elemanlarının her yaptığı açma kapamada, güç kayıpları meydana geldiğinden, anahtarlama sayısının en aza indirilmesi (anahtarlama sayısı minimizasyonu),
- 3) Sistem güç kayıplarının en aza indirilmesi (kayıp minimizasyonu),
- 4) Açık ring yapının korunması,
- 5) Bara gerilimlerinin ve sistem frekansının izin verilen sınırlar içinde kalması,
- 6) Özellikle hatlarda olmak üzere, şebekede bulunan elektriksel elemanların aşırı yüklenmesinin engellenmesi,
- 7) Öneme sahip yüklerin önceliğinin belirlenmesi amacıyla yukarıda belirtildiği gibi katsayı verilmesidir.

3.3 Restorasyon Probleminin Belirlenmesi

Elektrik dağıtım şebekelerinin restorasyonu;



Şekil 3.1 : Restorasyon aşamaları.

aşamaları ile yapılır.

3.3.1 Hazırlama

Arıza sonrasındaki sistem konfigürasyonunun oluşturulması ve restorasyon stratejisinin karar verilmesi aşamasıdır. Sisteme ait bütün eleman verileri bir havuzda toplanır ve her elemana ait veriler düzenlenir.

3.3.2 Sistem düzenlenmesi

Düzenlenen veriler, tüm sistem yapısına uygun bir şekilde yerleştirilerek bu aşama tamamlanır. Burada daha çok elektrik dağıtım şebeke yapısı, sisteme ait frekansın sabitlenmesi ve gerilim profilinin belirlenmesi üzerinde durulur.

3.3.3 Yük restorasyonu

Asıl amaç olarak sistemdeki yüklerin devamlılığı sağlanmak istendiğinden, bu aşama genellikle anahtarlama elemanlarındaki değişimler ile sağlanmaya çalışılır. Ayrıca yük restorasyonu aşaması için arıza sonrası yavaş yavaş hatların tekrar enerjilendirilmesi ile sistem kesilmesi etkilerinin minimize edilmesi sağlanır.

Restorasyon planlaması yapılırken, şebekeye ilişkin eleman verileri haricinde birtakım bilgilerin de elde edilmesi söz konusudur. Bunlardan bazıları;

- Transformatör, hat, motor ve sisteme ait yüklenme oranlarının belirlenmesi,
- Sistem dengesizlik durumu ve oranlarının belirlenmesi,
- Eğer varsa aşırı yüklenmelerin nerede ve ne kadar olduğu,
- Baralara ait gerilim, frekans ve faz açısı değerleri,
- Büyük öneme sahip yüklere ait veriler,
- Sistemin tümü için geçerli olan çalışma senaryoları ve anahtarlama yapısı.

Yukarıda belirtilen ilk dört madde, sisteme ait yapılacak bir güç akışı analizi sonucu ile belirlenir. Bu da, restorasyona başlamadan önce güç akışı analizi yapılma gerekliliği olduğunu göstermektedir.

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. Bunun nedeni, eğer gereğinden fazla anahtarlama işlemi gerçekleştirilirse; anahtarlama eleman ömürlerinin kısalmasına ve istenmeyen anahtarlama kayıplarına neden olmaktadır.
- 4) Restore edilmiş sistemin topolojisi veya yapısı ile konfigürasyonu; baştaki orijinal sistem ile çok yakın özellikler göstermelidir. Böylece eski sistem ile yeni oluşturulan sistemin işletme yapısı birbiri ile hemen hemen aynı veya benzer olacaktır.
- 5) Arıza öncesinde, şebekenin elektriksel sistemine ait açık ring yapı söz konusu olduğundan, restorasyon sonrasında da bu işletme yapısı korunmalıdır.
- 6) Sistemdeki hiçbir eleman, restorasyon sonrası aşırı yüklü konumda olmamalıdır.

3.4 Restorasyon Problemi Çözüm Yöntemleri

Elektrik dağıtım şebekelerinin restorasyonunda, sistem çökmesi veya kesilmesi sonrası oluşan enerjisiz bölgelerin minimizasyonu için yapılacak hızlı ve verimli anahtarlama operasyonu gerçekleştirebilmek için, sisteme ait bir matematiksel modelin oluşturulması gerekmektedir. Oluşturulan bu matematiksel model, kurulan algoritmada çözüme ulaşabilmek için kullanılır. Restorasyon boyunca öneme sahip yükler korunacak ve bazı yükler devreden çıkacak veya ihmal edilecek şekilde

algoritmaya uygulanarak çözüm elde edilir. Bu tür çözümlere indirgeme metoduyla çözüm denir. Bu sayede algoritmada hacmin azalması ve çözümlere ulaşma hızının artması sağlanır. En önemli nokta ise; çözüm yapılırken, frekans, gerilim gibi elektriksel parametrelerin kararlı olduğu kabul edilir. Kurulan matematiksel modelin çözümü için;

- 1) Sezgisel (Heuristic) yaklaşım
- 2) Bilgi tabanlı (Knowledge-based) yaklaşım
- 3) Matematiksel programlama
- 4) Esnek hesaplama (Soft-computing), özellikle çözüm için neural networks, evrimsel algoritma, bulanık mantık teorisi gibi

algoritma yöntemleri kullanılır. Bu algoritmaların temelinde dinamik programlama, restorasyon dizini, iç nokta teorisi, seviye tabanlı metotlar, karmaşık sayı programlama teknikleri mevcuttur. Aşağıda bu dört algoritma yaklaşımına ait açıklamalar ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.4.1 Sezgisel yaklaşım

Optimizasyon problemlerine sezgisel kurallar ile belirlenen bir uzay içinde limitler oluşturularak lojik olarak programlama yapılır. Bilgi, deneyim ve tecrübe gerektiren bir yaklaşımdır. Oluşturulan lojik algoritma hem komplekstir, hem de fazla yer kapladığından işlemler uzun sürer. Genellikle verilen optimizasyon problemine ait sistem sınırlarına göre bir en uygun sonuç bulmak için herhangi bir algoritma metoduna sahip olunmadığı zamanlarda kullanılır. Doğru sonuçlara ulaşılabilirdiği gibi kesin olmayan ve doğruluğu kanıtlanamayan sonuçlar da elde edilebilir. Eğer kesin doğru sonuçlar ve bu sonuçların da kanıtlanabilirliği söz konusu ise bu algoritma yöntemi kullanılamaz. Ancak bahsedilen durumlar çok fazla öneme sahip değilse, bu yöntemle yazılan algoritmadan hızlı sonuç elde edilmesi yani algoritma çalışma süresinin kısalığı avantaj olarak düşünülüp, kullanılabilir [9-16].

3.4.2 Bilgi tabanlı yaklaşım

EĞER-0 ZAMAN kurallarının belli bir problemi çözmek amacıyla önceden bilgisayara yerleştirildiği sisteme bilgi-tabanlı sistem denir. Bilgi tabanlı yaklaşım iki kısımdan oluşur: Birincisi bilginin kullanımı, ikincisi ise sonuç çıkarımıdır. Bu

yöntem restorasyon problemi çözümlerinde başarılı sonuçlar verir. Verilerin toplanması ve bilgi birikimi gerektirdiğinden yüksek maliyetli olmasının yanı sıra çözüme ulaşmanın zaman alması en büyük dezantajlarıdır. Örneğin bir elektrik sisteminin arıza kayıtları için geliştirilmiş “eğer-o zaman” kuralları bilgisayara yüklenip, bu kurallardan oluşmuş programla arızanın durumu tesbit edilebiliyorsa bu sisteme bilgi tabanlı sistem denilebilir. Karar destek sistemleri gibi bilgi tabanlı sistemler de gerçek bilgilere dayalı olup ayrıca onlardan farklı olarak sezgisel (heuristik) bilgileri olan sezgi ve çıkarımdan da yararlanılmaya çalışır. Hem gerçek bilgiler hem de sezgisel bilgiler, konu hakkındaki alanda uzman olan “alan uzmanından” elde edilir. Bilgi- tabanlı sistem bu insan destekli bilgiyi belirli bir uzmanlık alanındaki insan düşünce sürecini örnek almak için kullanır. Bu iş bir kere başarılıdıktan sonra bilgi-tabanlı sistem çok bilgili bir karar vericinin mantığına yakın bir performans gösterebilir. Bu da çözüm sonuçlarının çok geç elde edilebileceği anlamına gelmektedir Ancak bu işlemler uzun soluklu olup, kesin sonuca ulaşamayabilir [17–19].

3.4.3 Matematiksel programlama

Matematiksel programlama, optimizasyon modelinin kurulması ve çözümün elde edilmesi işlemine verilen genel isimdir. Optimizasyon modelleme geleneksel olarak matematiksel programlama olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde de "matematiksel programlama" ve "optimizasyon" kavramları eşanlamlı olarak kullanılmaktadır. Matematiksel programlama problemi, belirli kısıtlar altında bir amaç fonksiyonunun optimize edilmesinden oluşmaktadır. Diğer bir deyişle, karar değişkenleri olarak nitelendirilen fonksiyon değişkenlerinin kısıtların tümünü sağlayan (uygun çözüm bölgesinde bulunan) ve amaç fonksiyonunu optimize eden sayısal değerlerini bulma problemidir.

Dağıtım şebekesindeki her bir dal ve anahtarlama elemanları programda işlenir. Böylece, çok kombinasyonlu çözümler yapılması zamanın uzamasına neden olur. Anahtarlama elemanları için, 0 ve 1 den oluşan değerler tanımlanır. 0-anahtarın kapalı konumda olduğunu, 1 ise açık konumda olduğunu belirtmek için kullanılır.

Tipik bir matematik program aşağıdaki gibi ifade edilebilir; n değişken sayısı ve m kısıt sayısı olmak üzere;

Optimum: $z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

$$\begin{array}{l} \text{Kısıtlar: } g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \dots\dots\dots \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{array} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \leq \\ \\ = \\ \geq \end{array} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} b_1 \\ b_2 \\ \\ b_m \end{array}$$

Bu ifadeye, m sayıda farklı kısıt $\leq, =, \geq$ sembollerinden birisini içerebilir. Her g_i fonksiyonu ve b_i katsayıları sıfır seçilirse kısıtsız matematiksel programlar elde edilir. Burada, f amaç fonksiyonu ve g_i kısıt fonksiyonları lineer (doğrusal) ise matematik program lineer programlama, diğer durumlarda ise lineer olmayan programlama adını alır.

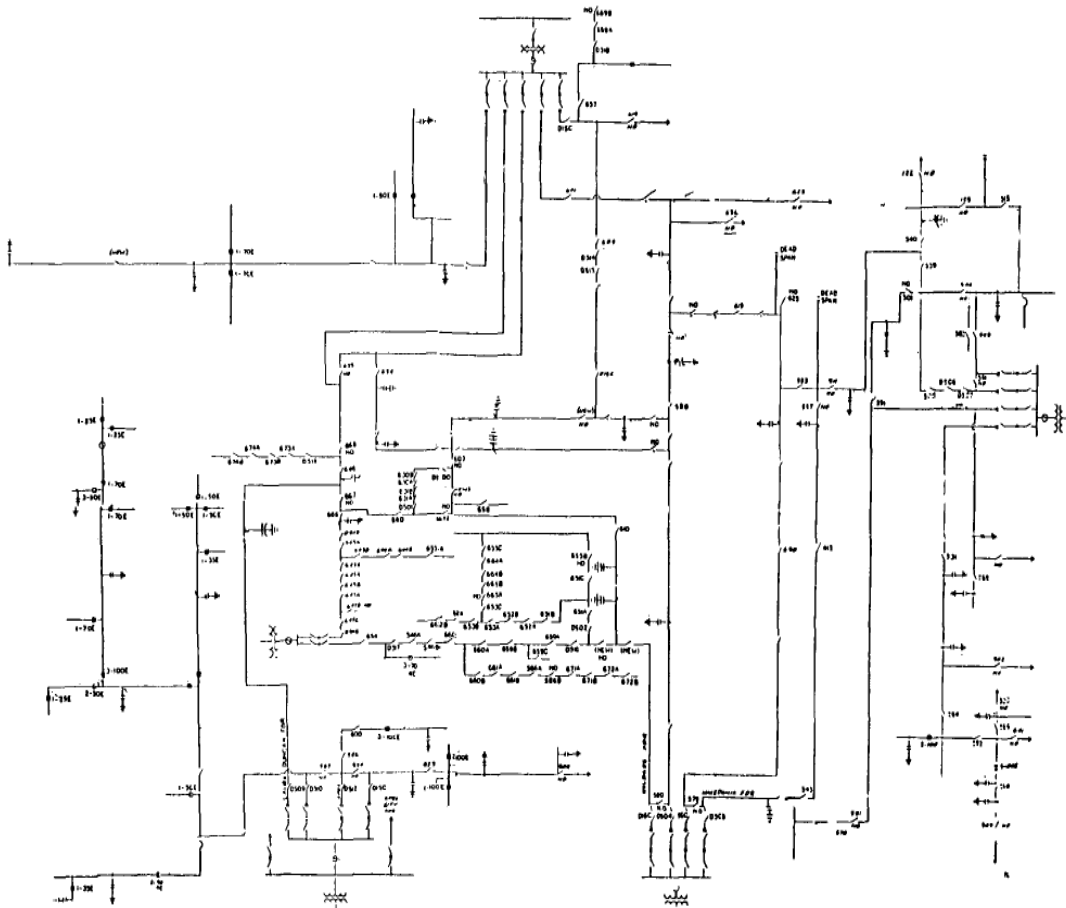
Matematik programlama modellerinde, f fonksiyonu optimize edilecek yani maksimize ya da minimize edilecek amaç fonksiyonudur. g_i fonksiyonlarının herbiri ise birer kısıt belirtmektedir. Kısıt sayısında herhangi bir sınır bulunmamaktadır. Kısıtların hepsi birlikte bir uygun (optimum) çözüm bölgesi belirlerler. Optimal çözüm değeri veya değerleri bu bölgeye ait bir değer olmaktadır. Kısıtlar, sisteme ait sınırlayıcı özellikleri barındıran fonksiyonlar kümesidir [21,22,37].

3.4.4 Esnek hesaplama

Büyük ölçekli kombinasyonlu optimizasyon problemleri için kullanılır. Hızlı sonuç elde edebilmek için sistemde indirgemeler veya gruplamalar yapılır. Genellikle, sinir ağları, evrimsel algoritma, bulanık mantık algoritmalarında kullanılırlar [20]. Tezde, restorasyon problemi çözümü için global optimum bulan evrimsel algoritmalar kullanılmıştır. Bu sayede, global optimum çözüm elde edilmiştir. Diğer algoritmaların, lokal optimum çözümler verme olasılıkları yüksektir.

3.5 Restorasyon Probleminin Uygulama Alanları

Dağıtım şebekelerinin restorasyonu problemi, tüm açık ring olarak işletilen elektrik dağıtım sistemlerine uygulanabilir. Ancak büyüklüğü fazla, birçok yerden beslemesi olan Şekil 3.2'deki [3] gibi şebekelerde anahtarlama yapılarının fazla olması ve sistemin çok sayıda işletilebilir yapıya sahip olması; bu gibi sistemlerde restorasyon probleminin uygulamalarının uygun olmayacağı görülmektedir. Bu durum hem kapalı hem de açık ring olarak işletilen elektrik dağıtım şebekeleri için geçerlidir. Restorasyonun yapılabileceği örnek sistemlerde, çok sayıda işletme yapısı mevcut olabiliyor ise, her yapı için ayrı en uygun çalışma durumu mevcut olduğundan, tüm sistem için tek bir optimizasyon problemi sonucu ortaya çıkamaz. Çıkan sonuçlar çoğunlukla global optimum değil, yerel (lokal) optimumdur. Oysaki, tüm sistem açısından problem düşünüldüğünde, çözümde istenen, global optimuma ulaşabilmektir.



Şekil 3.2 : Kapalı ring ve karmaşık bir dağıtım şebekesi örneği.

4. EVRİMSEL ALGORİTMALAR

4.1 Genel Yapısı

Evrimsel algoritmalar, en iyi olan yaşar prensibine dayalı olarak, Darwin'in evrim teorisi düşüncesini temel alarak oluşturulan algoritma çeşididir [38]. İlk defa 1975 yılında Michigan Üniversitesi'nden Prof. John Holland tarafından makina öğrenme (machine learning) konusunda en iyileme problemleri için uygulanmıştır. Holland, 1975 yılında yaptığı çalışmaları "Adaptation in Natural and Artificial Systems" adlı kitabında bir araya getirmiştir. Tek bir mekanik yapının öğrenme yeteneğini geliştirmek yerine, böyle yapılardan oluşan bir topluluğun çoğalma, çaprazlama, mutasyon vb. evrimsel süreçlerden geçerek başarılı (öğrenebilen) yeni bireyler oluşturabildiğini görmüştür. Araştırmalarını, arama ve en uygunu bulmak için, doğal seçim ve genetik evrimden yola çıkarak yapmıştır. Yaptığı çalışma boyunca, biyolojik sistemlerde bireyin bulunduğu çevreye uyum sağlayıp daha uygun hale gelmesini örnek alarak, en uygunu bulma ve makina öğrenme problemlerinde, bilgisayar algoritma modeli kullanmıştır. Yaygın olarak kullanılmaya başlanması ise Illinois Üniversitesi'nden Prof. David Goldberg sayesinde olmuştur. 1985 yılında Holland'ın öğrencisi olarak doktorasını veren David E. Goldberg adlı inşaat mühendisi, 1989 da konusunda bir klasik sayılan kitabını yayınlayana dek evrimsel algoritmaların pek pratik yararı olmayan bir araştırma konusu olduğu düşünülüyordu. Goldberg, evrimsel algoritmayı, çok sayıda kollara ayrılmış gaz borularında, gaz akışını düzenlemek ve kontrol etmek için uygulamıştır. Ayrıca kendisinin kullandığı makine öğrenmesi, nesne tanıma, görüntü işleme ve işlemsel arama gibi alanlarda kullanıldığını vurgulamıştır. Goldberg'in gaz boru hatlarının denetimi üzerine yaptığı doktora tezi ona sadece 1985 National Science Foundation Genç Araştırmacı ödülünü kazandırmakla kalmamış, evrimsel algoritmaların pratik kullanımının da olabirliğini kanıtlamıştır. Ayrıca kitabında evrimsel algoritmalara dayalı tam 83 uygulamaya yer vererek genetik algoritmanın dünyanın her yerinde çeşitli konularda kullanılmakta olduğunu göstermiştir. 1992 yılında John Koza, evrimsel algoritmayı

kullanarak çeşitli görevleri yerine getiren programlar geliştirmiş ve bu metoda evrimsel programlama adını vermiştir [38-43].

Evrimsel algoritma biyolojik evrim mekanizmasını esas kabul eden bir araştırma algoritmasıdır ve karmaşık fonksiyonlar için en uygun çözüme ulaşılmasında yardımcı olur [41,44]. Daha önceden uygulanan optimizasyon yöntemleri için çok zor olarak kabul edilen çok değişkenli optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. 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 bir çok 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 bulduran bireyleri oluştururlar. Fonksiyonun tüm değişkenlerinin yan yana sıralanması ile genlerden oluşan birey meydana getirilir. Topluluğu bir matris gibi düşünürsek, birey bu matrisin bir satırıdır. Bireylerin tümünün bulunduğu havuz ise topluluk olarak adlandırılır. Herbir 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 herbir 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 uğrattılır. Mutasyon ile rast gele bazı genler değişikliğe uğrattılır. 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 [40]. Sonuçta, başarılı bireylerin

genleri, alt nesillere aktarılırken, zayıf olan bireylerin genleri ise zamanla yok olur. Yeni nesiller oluştuğunda 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.

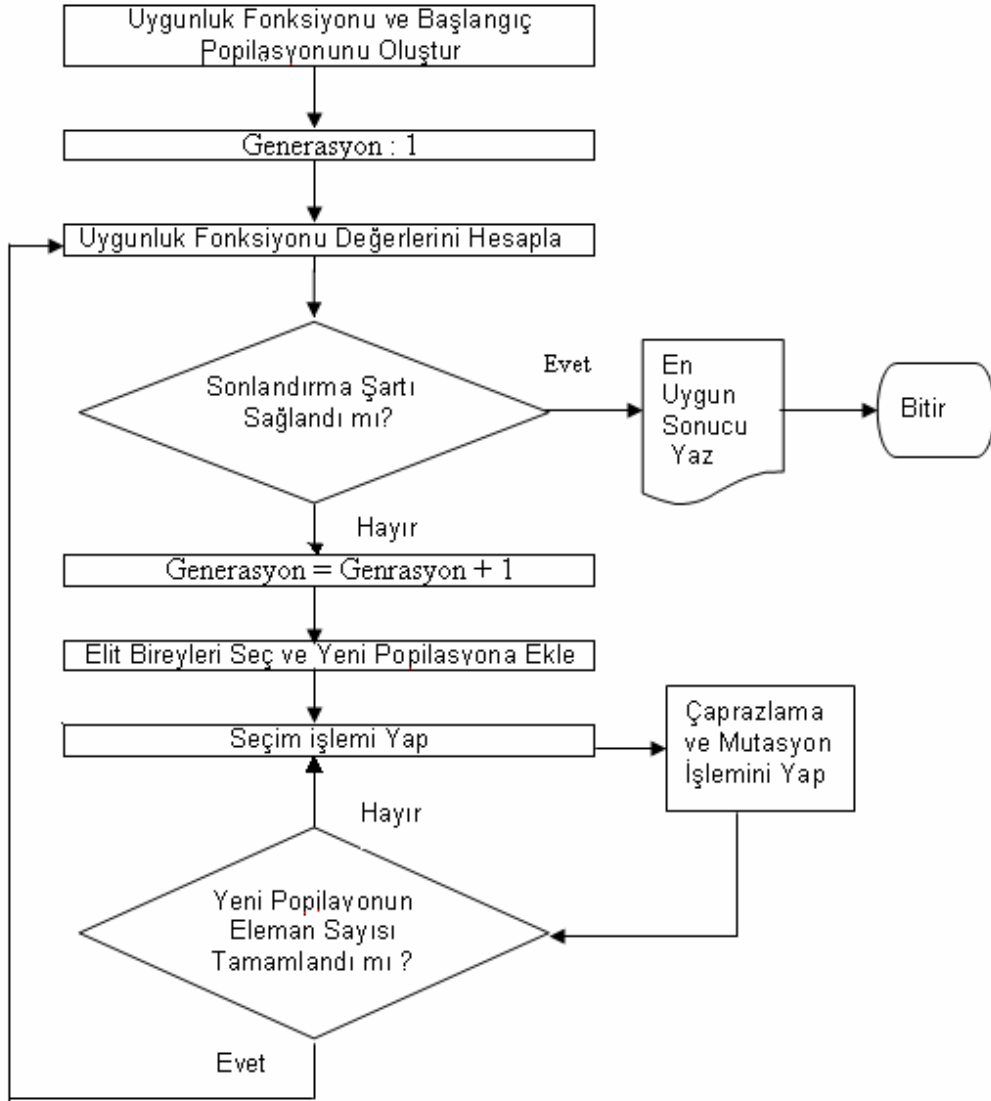
Evrimsel algoritma çalışmasında programın sonlandırma şartı olarak nesil sayısı, programın çalışma süresi veya belirli bir sürede sürekli aynı sonuçların elde edilmesi olarak belirlenebilir.

4.2 Evrimsel Algoritmanın Aşamaları

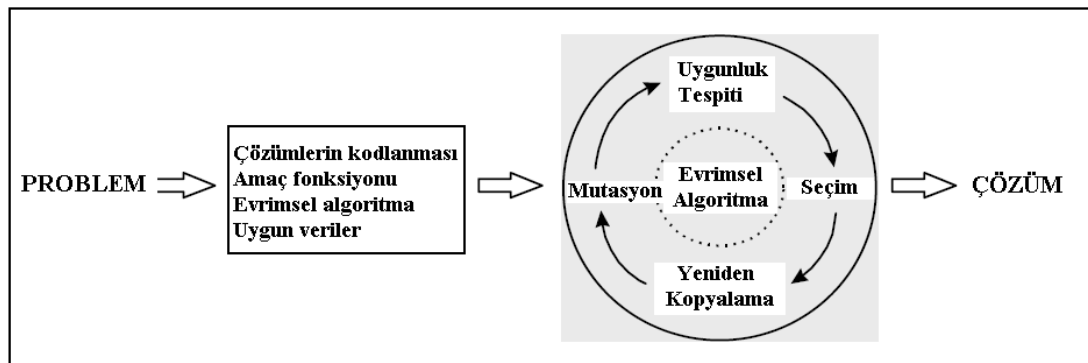
Evrimsel algoritmanın genel çalışma mantığı Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmektedir. Evrimsel algoritmanın adımları sırası ile genel olarak aşağıda açıklanmaktadır. Çözümü aranan problemde herhangi bir kısıtlayıcı bir fonksiyon denkleminin bulunmaması durumunda optimizasyonu yapılmak istenen fonksiyon için uygunluk fonksiyonu, bölüm 4.3’te ifade edilmektedir [45].

```
Başla;  
   $t=0$ ;  
   $P_t$  başlangıç topluluğunu oluştur;  
   $P_t$ 'yi değerlendir;  
Olmadı ise yap {while not ,do};  
  Başla;  
     $t=t+1$ ;  
     $P_{t-1}$  den  $P_t$  yi seç;  
     $P_t$  yi değişime uğrat; (Çaprazlama ve Mutasyon)  
     $P_t$  yi değerlendir;  
  son  
son
```

Şekil 4.1 : Basit bir evrimsel algoritma.



Şekil 4.2 : Evrimsel algoritmanın yapısı.



Şekil 4.3 : Evrimsel algoritma ile problem çözümü.

4.2.1 Uygunluk fonksiyonu

Evrimsel algoritmada uygunluk fonksiyonu, amaç fonksiyonu ve ceza fonksiyonunun toplamı veya farkıdır. Optimizasyon problemlerinde ceza (penalty) fonksiyonu yaygın olarak kullanılmaktadır [46]. Maksimizasyon problemlerinde farkı; minimizasyon problemlerinde toplamı olarak alınır. Eğer problemde sınır fonksiyonları bulunmuyor ise, bu durumda amaç fonksiyonu uygunluk fonksiyonu olarak da ifade edilebilir. Amaç fonksiyonuna bir K katsayısı eklenir bu sayı fonksiyonun negatif değer almasına engel olacak yeterince büyük seçilen sayıdır. Optimizasyon sona erdiğinde bu eklenen sayı sonuçtan çıkartılarak gerçek sonuç bulunabilir. Sınır fonksiyonu olmayan bir problemde uygunluk fonksiyonu [46];

$$UF = AF(X_1, X_2, \dots, X_n) + K \quad (4.1)$$

olarak ifade edilir. Bu denklemde;

AF(X₁,X₂ ,...,X_n): optimizasyonu yapılacak amaç fonksiyonu

X₁,X₂ ,...,X_n : Fonksiyonun değişkenleri

UF : uygunluk fonksiyonu

K: uygunluk fonksiyonunun negatif olmamasını sağlayacak yeterince büyük bir sabit

Optimizasyon probleminde sınır fonksiyonları için denklem veya denklemler bulunuyor ise bu durumda en yaygın olarak ceza fonksiyonu yöntemi kullanılır. Bu yöntemde sınır fonksiyonları her biri birer ceza katsayıları ile çarpıldıktan sonra toplanarak optimizasyonu yapılmak istenen fonksiyona artı veya eksi yönde etki yaptırılırlar. Yukarıdaki denklemde görüldüğü gibi, ceza fonksiyonunun işareti, fonksiyonun en büyük değeri aranıyor ise negatif, en küçük değeri aranıyor ise pozitifdir [47,48]. Bu durumdaki bir uygunluk fonksiyonu,

$$UF = AF(X_1, X_2, \dots, X_n) + K + P \quad (4.2)$$

olarak ifade edilir.

Bu denklemde belirtilen ceza fonksiyonunun açık ifadesi [49],

$$P = \sum_{i=1}^n r_i \cdot K \cdot Fi(X1, X2, \dots, Xn)^2 \quad (4.3)$$

olarak yazılır. Bu denklemde,

P : Ceza Fonksiyonu

K.F_i(X1,X2 ,...,Xn) : i'nci sınır fonksiyonu

r_i : i'nci kısıt fonksiyonu ceza katsayısıdır.

4.2.2 Başlangıç topluluğunun oluşturulması

Başlangıç topluluğu, çözüme başlayabilmek için başlangıçta rast gele oluşturulan ve içerisinde problemin değişkenlerinin kodlarını bulunduran bir gen havuzudur. Genler kullanılan yöntemle bağlı olarak değişik karakterler ile sembolize edilebilirler [47]. Genlerin kodlanması için yaygın olarak ikili sayı sistemi elemanları olan 0 ve 1 rakamları kullanılır. Başlangıç topluluğunun (gen havuzunun) oluşturulmasında ikili sayı sistemi kullanılması durumunda elemanları 0 ve 1'ler olan bir gen havuzu elde edilir. Bu gen havuzunun büyüklüğü optimizasyon çözümü için aranan, uygunluk fonksiyonunun değişken sayısına, değişkenlerin değişim aralığına ve değişim aralığında öngörülen eleman sayısına bağlıdır. Gen havuzunun her bir satırına topluluk adımı denir. Bir topluluk adımı birey olarak da ifade edilir. Bir topluluk adımı her bir değişkenin genler ile kodlanması sonucu meydana gelen kromozomlardan oluşur. Değişkenlerin kodlanmaları ile bireyin oluşmasına örnek, Çizelge 4.1'de verilmektedir.

Çizelge 4.1 : Değişkenlerin kodlanması ile bireyin elde edilmesi.

Değişkenler	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
Birey 1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1
Birey 2	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1

Geleneksel optimizasyon yöntemlerinde çözümün aranmasına bir başlangıç noktası ile başlanır. Bu nokta iyi tahmin edilemez ise çözüme ulaşmak için çok fazla süre harcanır ve çok fazla işlem yapılır. Evrimsel algoritmada ise çözüme, topluluk sayısının belirlenmesi ile başlanır. Bu çözümler sonuca ulaşmak için tatmin edici gelmezse bu durumda bir sonraki jenerasyona geçilir. Her jenerasyonda topluluk

sayısı kadar çözüm elde edilir. Başlangıç topluluğunun oluşturulması bir örnek ile açıklamaya çalışılırsa; Ör, $F(X1,X2)$ fonksiyonunun evrimsel algoritma ile optimizasyonu yapılmak isteniyor olsun. $X1, X2$ değişkenleri temsil etmek üzere bunların değişim aralıklarının, $0 \leq X1 \leq 1$ ve $0 \leq X2 \leq 2$ olduğu varsayalım. Değişkenler 0.1 artım adımları ile $X1 = (0.1, 0.2, 0.3, 0.4, \dots, 1)$ değiştikleri kabul edilsin. Değişkenler ikilik sayı sistemi ile kodlanması ile başlangıç topluluğu oluşturulmak isteniyor olsun. Bunun için ilk olarak her bir değişkenin bit (gen) sayısı,

$$2^{\ln} \geq \frac{X_{n \text{ üst}} - X_{n \text{ alt}}}{\varepsilon} - 1 \quad (4.4)$$

formülü ile belirlenir. Bu denklemde;

\ln : n inci değişkenin bit sayısı

$X_{n \text{ üst}}$: n inci değişkenin üst sınır değeri

$X_{n \text{ alt}}$: n inci değişkenin alt sınır değeri

ε : değişkenlerin artım aralığı

Bu denklemin kullanılması ile her bir değişkenin gen sayısı bulunabilir. Topluluk sayısı ise,

$$PS \geq 35xl \quad (4.5)$$

formülü ile hesaplanır.

PS : topluluktaki toplam birey sayısı (topluluk sayısı)

l : Bir bireyin toplam bit (gen) sayısı

Genel olarak mutasyon oranı ise,

$$\frac{1}{\text{Birey Sayısı}} \leq \text{Mutasyon oranı} \leq l \quad (4.6)$$

denklemleri ile belirlenir.

Üstteki denklemler kullanılarak başlangıç topluluğunun toplam topluluk sayısı bulunabilir [48]. Sonuçta, $F(X1, X2)$ fonksiyonu için kromozomları oluşturacak gen (bit) sayısı ve toplam topluluk sayısı belirlenmiş olur.

4.2.3 Uygunluk fonksiyonunun hesaplanması

Fonksiyonun değişkenlerini ifade eden topluluğun her bir satırına birey adı verilir. Başlangıç topluluğunda her bireyi oluşturan değişkenler ikilik sayı sistemi kullanılması ile 0 ve 1'ler ile kodlanır. Bilgisayar programı yardımı ile her bireyi oluşturan değişkenlerin kodları ikilik sayı sisteminden onluk sayı sistemine çevrilir ve uygunluk fonksiyonu denkleminde yerine yazılır böylece uygunluk fonksiyonu değeri hesaplanır. Bu hesaplama topluluğun her bir bireyi için ve topluluk sayısı kadar ayrı ayrı yapılır. Ör, topluluk sayısı yedi ise yedi tane uygunluk fonksiyonu değeri hesaplanır.

Evrimsel algoritmanın sona ermesi başlangıçta verilen sonlandırma kriterine bağlıdır. Bu kriter çalışma süresi jenerasyon sayısı veya uygunluk fonksiyonu değerleri tüm topluluk boyunca hep aynı çıkmaya başlaması durumu olabilir. Sonlandırma şartı sağlanıyor ise bu durumda evrimsel algoritma çalışmasına son verir. Başlangıçta uygunluk fonksiyonu değerlerinin birbirlerine çok yakın olma ihtimali çok düşüktür. Başlangıç topluluğundaki genler kullanılarak hesaplanan uygunluk fonksiyonu değerlerinin birbirlerinden çok farklı olmaları doğaldır. Bu durumda uygunluk fonksiyonu değerleri içinde istenilene yakın olanlar, yani başarılı olan topluluk adımları seçilmek sureti ile başarılı bireyler arasından yeni bir nesil oluşturmaya istenir. Yeni nesil oluşturulurken, evrim teorisindeki seçim, çaprazlama, mutasyon gibi operatörler kullanılır. Sonuçta yeni bir topluluk (gen havuzu) oluşturulur ve uygunluk fonksiyonu değerleri yeniden hesaplanır. İstenilen sonuca ulaşılıncaya kadar bu döngü tekrar edilir. Sonuçta fonksiyonun en büyük veya en küçük değeri bulunur.

Uygunluk fonksiyonunun alacağı değerler gen havuzunun büyüklüğüne de bağlıdır. Gen havuzu çok küçük ise hızlı bir şekilde amaca ulaşılır; fakat bulunan değerin doğruluğu kesin olamaz. Gen havuzu çok büyük ise amaca ulaşmak çok zaman alır. Bunun için gen havuzunun büyüklüğü, yukarıdaki denklemlerle hesaplanan değerler çerçevesinde uygun olmalıdır.

4.2.4 Evrimsel algoritma operatörleri

Evrimsel algoritmada, jenerasyon sayısı kadar topluluk oluşturulur. Her yeni topluluk bir önceki topluluğun bireylerinin kullanılması ile oluşturulur. Topluluğun hesaplanan uygunluk fonksiyonu değerleri dikkate alınarak, evrimsel algoritma operatörleri olan elitizm, seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemleri neticesinde yeni bir topluluk oluşturulur [40,41,43].

4.2.4.1 Elitizm

Evrimsel algoritma ile maksimizasyon optimizasyonu yapıldığında en iyi veya en uygun birey, uygunluk fonksiyonu değeri en büyük olan birey demektir. Minimizasyon optimizasyonu yapıldığında ise, en iyi veya en uygun birey uygunluk fonksiyonu değeri en küçük olan bireydir. Elitizm operatörünün kullanılmasıyla, topluluk içinden en iyi uygunluk fonksiyonu değerine sahip olan topluluğun birey veya bireylerinin bir sonraki topluluk içinde yer almasını sağlamak esas amaçtır. Yeni oluşturulan topluluk içine bireyler alınarak kopyalanırlar. Böylece en iyi uyumluluğa sahip olan birey veya bireylerin, bir sonraki nesilde yaşamını sürdürebilmeleri garanti edilmiş olur. Ör, başlangıç topluluk sayısı 50 olan bir topluluğun, her bir bireyi için olmak üzere toplam 50 tane uygunluk fonksiyonu değerleri hesaplanır. Bunlar içinden en iyi uygunluk fonksiyonu değerlerine sahip olan iki birey seçilir. Yeni topluluğun birinci ve ikinci elemanı olarak kaydedilir. Bir sonraki jenerasyonda yeni topluluk için diğer 48 yeni birey ise evrimsel algoritmanın diğer operatörleri olan seçim, çaprazlama ve mutasyon yolu ile belirlenir. Bu döngü tüm algoritma boyunca her jenerasyonda, yeni bir topluluk oluşturmak için devam eder. Seçilen elit bireyler, daha iyi bir birey oluşturulamaz ise her jenerasyonda tekrar seçilirler. Daha iyi bir birey oluşturulduğunda ise elit bireyler bu yeni bireyler ile yer değiştirirler.

4.2.4.2 Seçim

Uygunluk fonksiyonunu değerlerine göre yeni nesil oluşturacak uygun ailelerin (ebeveyn çiftlerinin) seçilmesi işlemine, seçim denir. Seçimdeki amaç, başarılı bireylerin yaşamlarını sürdürebilmelerini sağlayarak yeni neslin bunlardan oluşmasını ve başarısız bireylerin elenmesine olanak vermektir. Seçim için bir çok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan en çok bilinenler, rulet çarkı seçimi (roulette wheel selection), turnuva seçimi (tournament selection), sıralama seçimi (rank

selection) gibi seçim yöntemleridir. Bu yöntemlerin hepsinde seçim, uygunluk fonksiyonu değerine bağlı olarak farklı çözüm metotları ile yapılır [49,50].

Yeniden üretme operatörü, oluşturulan topluluktan uygun olan bireylerin seçilmesi ve bunların sonraki topluluğa kopyalanarak hayatta kalmalarıyla ilgilidir. Seçim modeli, tabiatın hayatta kalabilmek için uygunluk mekanizması modelidir. Yeniden üreme işleminde, bireyler onların uygunluk fonksiyonlarına göre kopya edilirler. Topluluk uzayındaki her bir bireyin uygunlukları baz alınarak ne kadar sayıda kopyasının olacağına karar verilir. En iyi bireylerden daha fazla seçim yapılır, en kötü bireylerden ise seçim yapılmaz. Bu hayatta kalmak için uygunluk stratejisinin evrimsel algoritmaya sağladığı avantajdır.

Rulet çarkı seçim kriteri

Rulet çarkı, uygunluk fonksiyonu daha iyi olan bireylerin ebeveyn olarak seçilmesi için kullanılır. Rulet seçiminde bireyler uygunluk fonksiyonu değerlerine göre bir çarkın dilimlerini oluştururlar. Uygunluk fonksiyonu iyi olan bireyler çarkta daha büyük dilim işgal ederler. Bu çark çevrilerek, rast gele belirli bir referans noktasında durması ile bu noktada çark üzerinde bulunan birey, ebeveyn 1 olarak seçilir. Çarkın gerekli sayıda çevrilmesi ile ebeveyn 2 ve geriye kalan tüm ebeveyn çiftleri seçilir. Daha büyük alana sahip bireyin seçilme şansı daha fazla olacaktır. Bu metot yardımıyla bireyler istatistiksel yöntemler kullanılarak uygunluk fonksiyonu değerlerinin toplam uygunluk fonksiyonunu oranları ölçüsünde seçilirler. Her bir topluluk adımında hesaplanan uygunluk fonksiyonu değerleri, bir çarkın dilimlerini oluşturur. Uygunluk fonksiyonu değerleri aranan kritere daha yakın olan bireyler, çarkta daha büyük bir dilime sahip olacaklardır. Böylece topluluktaki bu bireylerin seçilme şansı daha yüksek olacaktır. Her bir topluluk adımı için hesaplanan seçilme ihtimallerine göre rulet çarkının içi dilimlenerek doldurulur. Rulet çarkı, elitizm kullanılmadığında birey sayısı kadar çevrilir, eğer elitizm kullanılıyorsa, topluluk sayısından elitizm ile belirlenen birey sayısı farkı kadar sayıda çevrilir [40,41,43]. Her çevrimde yeni bir birey seçilir. Topluluk içindeki tüm uygunluk fonksiyonu değerlerinin toplamı,

$$F = \sum_{i=1}^n U.F(i) \quad (4.7)$$

denklemleri ile elde edilir. $UF(i)$, i 'nci bireyin uygunluk fonksiyonu değerini ifade etmek üzere, bu bireyin çark üzerinde işgal edeceği dilim [51],

$$Pr(i) = \frac{U.F(i)}{F} \quad (4.8)$$

denklemleri ile belirlenir. Bu denklemlerde,

F : Topluluktaki tüm uygunluk değerlerinin toplamı

$Pr(i)$: Topluluğun i 'nci bireyinin seçilme ihtimali

n : Topluluktaki birey sayısını ifade etmektedir.

Bu yöntemi bir örnek ile açıklamaya çalışırsak, başlangıç topluluğu birey sayısı 8 olsun. Elitizim ile topluluğun yedinci ve sekizinci bireylerinin en iyi iki birey olarak belirlendiği varsayalım. Bu bireyler yeni topluluğun ilk iki bireyi olarak seçilir. Yeni topluluğun kalan 6 bireyinin oluşturulması için rulet çarkı seçim kriterinin kullanıldığı kabulü ile başlangıç topluluğundaki bireylerin uygunluk fonksiyonu değerleri için yukarıdaki denklemlere göre hesaplanan seçilme ihtimalleri ve rulet çarkı üzerinde kapladığı alanlar [52],

$Pr(1) = 0.1$, çarkın 0.00 ile 0.10 arası alan

$Pr(2) = 0.2$, çarkın 0.10 ile 0.30 arası alan

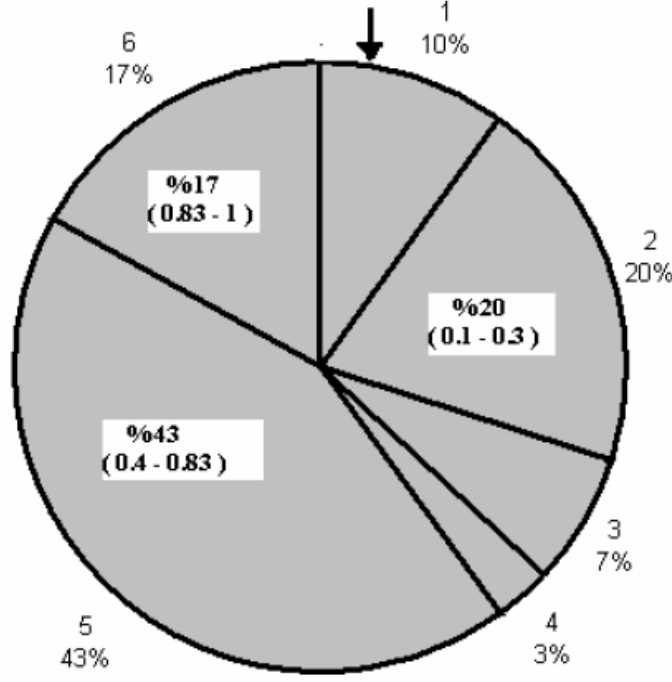
$Pr(3) = 0.07$, çarkın 0.30 ile 0.37 arası alan

$Pr(4) = 0.03$, çarkın 0.37 ile 0.40 arası alan

$Pr(5) = 0.43$, çarkın 0.40 ile 0.83 arası alan

$Pr(6) = 0.17$, çarkın 0.83 ile 1 arası alan

olarak ifade edildiğinde, hesaplanan uygunluk değerlerinin rulet çarkına yerleştirilmesi Şekil 4.4'teki gibi olacaktır.



Şekil 4.4 : Uygunluk fonksiyonu değerlerine göre bireylerin seçilme ihtimallerinin rulet çarkında gösterilmeleri.

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi en yüksek seçilme olasılığına sahip topluluğun bireyi beşinci, en düşük seçilme ihtimali olanı ise dördüncü birey olarak görülmektedir. Rulet çarkının tamamını %100 yani 1 olarak düşünebiliriz. Çark her dönüşünde 0 ile 1 arasında bir dilimin olduğu herhangi bir noktada duracaktır. Bilgisayar programı yardımı ile 0 ile 1 arasında seçilecek birey sayısı kadar sayı rastgele üretilir. Bu sayılara karşılık gelen çarkın bölmelerine ait bireyler bir sonraki topluluğu oluşturmak için ebeveyn olarak seçilir. Yeni topluluk için altı yeni birey belirleneceğinden rulet çarkı seçim yöntemi ile üç çift ebeveyn seçilir. 0 ile 1 arasında rastgele aşağıdaki altı sayı bilgisayar programı ile belirlenmiş olsun. Bu sayılar çark üzerinde bir noktayı ifade ederler. “0”, çarkın %0 olan noktasını, 1 ise çarkın %100 olan noktasını belirtir. Arada kalan sayılar da çarkın ara bölmelerindeki noktaları ifade etmektedirler. Rast gele altı sayı belirlemek çarkın altı defa çevrilip durduğu anlamına gelmektedir. Seçilen altı sayının, 0.4512, 0.1486, 0.0973, 0.8729, 0.7298, 0.3545 değerlerinde olduğunu varsayalım. Bu durumda yeni bir topluluk oluşturmak için seçilen ebeveyn çiftleri,

Birinci ebeveyn çifti,

Ebeveyn 1 olarak beşinci birey seçilir. (0.4512 sayısının çarktaki karşılığı)

Ebeveyn 2 olarak ikinci birey seçilir. (0.1486 sayısının çarktaki karşılığı)

İkinci Ebeveyn çifti,

Ebeveyn 1 olarak birinci birey seçilir. (0.0973 sayısının çarktaki karşılığı)

Ebeveyn 2 olarak altıncı birey seçilir. (0.8729 sayısının çarktaki karşılığı)

Üçüncü ebeveyn çifti,

Ebeveyn 1 olarak beşinci birey seçilir. (0.7298 sayısının çarktaki karşılığı)

Ebeveyn 2 olarak üçüncü birey seçilir. (0.3545 sayısının çarktaki karşılığı)

Görüldüğü gibi bu yöntem ile uygunluk fonksiyonu değeri iyi olan beşinci birey iki defa seçilirken, uygunluk fonksiyonu değeri en kötü olan dördüncü birey seçilmeyerek neslini devam ettirme şansını kaybetmiştir. Seçilen bu bireyler evrim teorisinin diğer aşamaları olan çaprazlama (üreme), mutasyon gibi işlemlerin ardından yeni topluluk oluşacaktır.

Turnuva seçim kriteri

Turnuva seçim yönteminde topluluk içinden rastgele oluşturulan guruplardan, uygunluk fonksiyonu değeri en iyi olan bireyler bir sonraki topluluğu oluşturmak için seçilirler. Gruptan seçilmeyen bireyler başka bir guruba dahil olarak seçilme şansı ararlar. Böylece topluluktaki tüm bireylerin seçilme şansı olmuş olur. Kural dahilinde belirli sayıda birey gurubu topluluk içerisinde rast gele seçilerek uygunluk fonksiyonu değeri büyük olan birey ebeveyn 1 olarak belirlenir. Küçük olanlar ise topluluk içine geri gönderilir. Bu işleme gerekli sayıda ebeveyn çiftleri tamamlanana kadar devam edilir [40,41,43]. Bu yöntemin avantajı, herhangi bir bireyin, seçim süreci sırasında kaybedilme olasılığının olmamasıdır. Topluluk içindeki elit bireylerin dışında kalan tüm bireyler, uygunluk fonksiyonu değerlerine göre yapılan turnuvalar neticesinde eşleşirler. Bu eşler çaprazlama ve mutasyon ile yeni topluluğun bireylerini meydana getirirler. Restorasyon problemlerinde, problem yapısına en uygun seçim yöntemi turnuva seçimidir.

Sıralı seçim kriteri

En iyi uygunluk değerine sahip olan topluluk adımı % 90 gibi büyük bir orana sahip ise bu taktirde bir sonraki topluluğu oluşturmak için seçim yapmak çok zor olacaktır. Diğer topluluk adımları örneğin %5 , %3 , %2 gibi değerlerde olacaklardır. Böyle durumlarda çözüm için sıralı (rank) seçim kriterini kullanılması önerilir. Bu yöntemin en büyük avantajı zayıf bireylere de seçilme şansı tanınmasıdır. Böylece güçlü bireylerin de nüfusa erkenden hakim olması da önlenmiş olmaktadır. Sıralı seçim yönteminde bireyler n den 1 e doğru sıralanır. n topluluktaki toplam birey sayısını göstermektedir. n'inci birey en iyi uygunluğa sahip iken 1'inc birey en kötü uygunluğa sahiptir. Bu sıralamanın dikkate alınması ile eşleşmeler gerçekleşir. Gerekli sayıda ebeveyn çifti elde edilir [40,41].

4.2.4.3 Çaprazlama

Amaç, ebeveyn kromozom genlerinin yerlerini değiştirerek çocuk kromozomlar üretmek ve böylece varolan uygunluk değeri yüksek olan kromozomlardan, uygunluk değeri daha yüksek olan kromozomlar elde etmektir. Bu yonteme gen değişimi yöntemi de denir. Ebeveynlerin bazı genleri yeni çocuk adı verilen bireylere kopyalanır. Evrimsel algoritmada çaprazlama oranı çaprazlamanın hangi sıklıkla yapılacağını gösterir. Çaprazlama oranı %0 ise çaprazlama işlemi olmaz, yeni bireyler ebeveynlerinin kopyası olur. Bu durumda evrimsel algoritmanın daha iyi sonuçlar bulma ihtimali olamaz. Çaprazlama oranı % 100 ise yeni nesil tamamıyla çaprazlama sonucu elde edilir. Yeni nesil ebeveynlerinden farklı bir nesildir. Çaprazlamada amaç gen havuzundaki bireylerden genlerini değiştirerek değişik bireyler elde ederek daha iyi bireylerin oluşmasına olanak sağlamaktır. Genel olarak üç çeşit çaprazlama yöntemi kullanılır [40,41,43].

Tek noktalı çaprazlama

Tek noktalı çaprazlamada her ebeveyn çifti için rast gele bir çaprazlama noktası seçilir. Bu noktadan sonraki genler yer değiştirerek çocuklar meydana gelir. Bilgisayar programı ile 0-1 arasında rast gele n tane bir sayı belirlenir. n seçim yöntemi ile seçilen ebeveyn çifti sayısına eşittir [40,41,43].

$$\text{Çaprazlama Noktası} = \text{rand } x(l_i) - 1 \quad (4.9)$$

formülü yardımı ile çaprazlama noktası belirlenir. Formülde küsuratlı değer bir üst tam değere yuvarlanır.

rand : bilgisayarın ürettiği rast gele 0-1 arasında bir sayı

li: Ebeveyn çitinden bir tanesinin toplam gen sayısını ifade etmektedir.

Çaprazlama işleminin yapılabilmesi için algoritmada oluşturulan rastgele sayının çaprazlama oranı değerinden büyük olması gerekmektedir. Ör, bireyin gen sayısı 10 olsun. Algoritma, rast gele 0,5576 sayısını seçsin, bu durumda çaprazlama noktası denklem yukarıdaki formül ile 4,4576 olarak bulunur. Çaprazlama noktası 5 olarak belirlenir, bu örnek için tek noktalı çaprazlama işlemi aşağıda Çizelge 4.2’de verilmektedir. Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi çaprazlama noktası 5 olduğundan, ebeveynlerin beşinci genden (bitten) sonra yer alan genler karşılıklı olarak yer değiştirerek çocuklar meydana gelmektedir.

Çizelge 4.2 : Tek noktalı çaprazlama.

Ebeveyn 1	0 1 1 0 0 1 1 0 0 1
Ebeveyn 2	1 1 0 1 1 0 0 0 1 0
Çocuk 1	0 1 1 0 0 0 0 0 1 0
Çocuk 2	1 1 0 1 1 1 1 0 0 1

Yapılan restorasyon problemi çalışmasında, sistem yapısı göz önünde bulundurulduğunda, en uygun çaprazlama yönteminin tekil çaprazlama olduğu görülmektedir.

İki noktalı çaprazlama

İki noktalı çaprazlamada rastgele iki tane çaprazlama noktası seçilir. İki nokta arasındaki genler için gen değişimi işlemi yapılır. Çaprazlama noktaları tek noktalı çaprazlama yönteminde olduğu gibi belirlenir [40,41,43]. Ör, ebeveynlerden bir tanesinin gen sayısı 10 olan ebeveyn çifti arasında iki noktalı çaprazlama yapılmak isteniyor olsun. Çaprazlama noktaları yukarıdaki denkleme göre yapılan işlemlerden sonra 3 ve 7 olarak belirlendiği kabulü ile yapılan çaprazlama Çizelge 4.3’te verilmektedir.

Çizelge 4.3 : İki noktalı çaprazlama.

Ebeveyn 1	0 1 1 0 0 1 1 0 0 1
Ebeveyn 2	1 1 0 1 1 0 0 0 1 0
Çocuk 1	0 1 0 1 1 0 0 0 0 1
Çocuk 2	1 1 1 0 0 1 1 0 1 0

Çizelge 4.3'ten de görüldüğü üzere, 3 ve 7'nci bitler arasında gen değişimi meydana gelmiştir.

Çok noktalı çaprazlama

Çok noktalı çaprazlama yöntemi, iki noktalı çaprazlamanın gelişmiş bir halidir. Tek noktalı çaprazlama yönteminde olduğu gibi fakat çok sayıda (ikiden fazla) çaprazlama noktası belirlenerek gen değişimi işlemi yapılır [40,41,43]. Ör, ebeveynlerden bir tanesinin gen sayısı 10 olan ebeveyn çifti arasında çok noktalı çaprazlama yapılmak isteniyor olsun. Çaprazlama noktaları yukarıdaki denkleme göre yapılan işlemlerden sonra 2, 5 ve 8 olarak belirlendiği kabulü ile yapılan çaprazlama Çizelge 4.4'te verilmektedir.

Çizelge 4.4 : Çok noktalı çaprazlama.

Ebeveyn 1	0 1 1 0 0 1 1 0 0 1
Ebeveyn 2	1 1 0 1 1 0 0 0 1 0
Çocuk 1	0 1 0 1 1 1 1 0 1 0
Çocuk 2	1 1 1 0 0 0 0 0 0 1

Çizelge 4.4'ten de görüldüğü üzere, 2 ve 5 ile 5 ve 8'inci bitler arasında gen değişimi meydana gelmiştir.

Düzenli çaprazlama

Çaprazlamanın nasıl olacağını belirleyen topluluktaki bir bireyin bit sayısına eşit bit sayısı bulunan, elemanları 0 ve 1'ler olan bir yönetici gen gurubu (mask) rast gele üretilir. Düzenli çaprazlamada elemanları rast gele algoritma yardımı ile oluşturulan yönetici gen gurubu, her ebeveyn çifti için ayrı ayrı üretilir. Ör, seçim ile 10 tane

ebeveyn çiftinin seçildiği bir toplulukta, düzenli çaprazlama yapılacak ise 10 tane yönetici gen gurubu üretilir. Düzenli çaprazlamada mutasyondan sonra birey haline gelecek olan çocuklar şu şekilde oluşturulur;

İlk önce birinci çocuk sonra ikinci çocuğun oluşturulduğunu düşünelim. Yönetici gen gurubunun genlerinin 1 olduğu yerlerde, çocuğa anneden, 0 olduğu yerlerde ise babadan gen kopyalanır. Böylece birinci çocuk oluşturulmuştur. İkinci çocuğu oluşturmak için ise çocuğa yönetici gen gurubunun 1 olduğu yerlerde babadan, 0 olduğu yerlerde ise anneden gen kopyalanır. Neticede iki yeni çocuk elde edilmiş olur [40,41,43]. Diğer çaprazlama yöntemlerinde olduğu gibi üretilen çocuklar mutasyona uğradıktan sonra yeni topluluğun yeni bireyleri olurlar. Çizelge 4.5'te düzenli çaprazlama örneği verilmektedir.

Çizelge 4.5 : Düzenli çaprazlama.

Referans Birey	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
Ebeveyn 1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
Ebeveyn 2	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0
Çocuk 1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1
Çocuk2	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0

4.2.4.4 Mutasyon

Bu yöntem, seçim ve çaprazlama işlemi gerçekleştikten sonra topluluk adımlarındaki genlerin bir veya birkaçının değiştirilmesi işlemidir [28,40,41,43]. Mutasyon işlemi tamamen rastgele yapılır. Mutasyon gerçekleşmez ise seçim ve çaprazlama sonucu toplulukta bulunan bazı iyi özellikler zamanla kaybolabilir veya bir süre sonra üretilen yeni bireyler, ebeveynlerinin kopyası olabilirler. Bunun sonucunda yeni bireylerin üretilmesi durabilir.

Mutasyona uğrayacak gen sayısı mutasyon oranına bağlıdır. Mutasyon oranı % 100 ise seçim ve çaprazlama ile oluşan yeni neslin tüm genleri tamamen değişir. Bu oranın %1 ile %5 arasında seçilmesi tavsiye edilmektedir. %1 seçilir ise gen havuzunda bulunan toplam gen sayısının % 1'i rastgele değişecektir.

Mutasyon işlemi ters çevirme, ekleme, yer değişikliği, karşılıklı değişim olarak çeşitli şekillerde gerçekleştirilir. Ters çevirme mutasyonu işleminde topluluk içinden rast gele seçilen bazı gen gurupları ters çevrilir. Ekleme mutasyonu işleminde, topluluk içerisine rast gele bir gurup genler dağıtılır. Bu genlerin isabet ettiği yerlerdeki genler dağıtılan genin çeşidine göre (0 veya 1) değişir veya değişmez. Yer değişikliği mutasyonu işleminde bazı çocukların bazı gurup genleri karşılıklı olarak yer değiştirir. Karşılıklı değişim mutasyonunda ise gurup şeklinden daha çok tek tek rast gele bazı çocukların bazı genlerinin karşılıklı yer değiştirmeleri işlemidir. Tüm mutasyon işlemi çeşitlerinde temelde yapılan iş aynıdır. Bu iş topluluk içinde rast gele bazı genlerin değiştirilmesi işlemidir. İkilik sayı sistemi ile kodlama yapıldığında değiştirme işlemi 0 olan genin 1 veya 1 olan genin 0 olması şeklinde gerçekleştirilir. Mutasyon işlemine bir örnek aşağıda verilmektedir;

Mutasyondan önce, → **Çocuk** **1 0 1 0 1 0 1 0 0 0 1**

Mutasyondan sonra, → **Birey** **1 0 1 1 1 0 0 0 0 0 1**

4.3 Evrimsel Algoritmanın Sonlandırma Şartları

Her nesil için hesaplanan uygunluk fonksiyonu değerlerine göre evrimsel algoritma operatörlerinin kullanımı ile yeni bir topluluk elde edilir. Bunun anlamı her jenerasyonda topluluğun birey sayısı kadar çözüm elde edilmesidir. Elde edilebilecek en iyi çözüm bulunduğunda, daha iyi bir çözüm olmadığından jenerasyon sayısı kaç seçilir ise seçilsin evrimsel algoritma artık sürekli aynı çözümleri verir. Bu özellik algoritmanın sonlandırma şartı olarak jenerasyon sayısı seçilmesinde kullanılır. Algoritma birkaç defa değişik jenerasyon sayılarında çalıştırılır ve buna göre gerekli jenerasyon sayısı belirlenir. Başlangıçta belli bir jenerasyon sayısı seçilir bu sayıya ulaşıldığında evrimsel algoritma çalışması sona erer.

Evrimsel algoritmayı sonlandırma kriteri olarak, algoritmanın çalışma süresi de seçilebilir. Başlangıçta belirlenen çalışma süresi dolduğunda evrimsel algoritma son çözümlerini verir ve çalışması son bulur. Algoritmanın belirli bir zaman diliminde sürekli aynı sonuçları vermesi, bu zaman diliminde yeni çözümler sağlayamaması da sonlandırma şartı olarak seçilmektedir.

5. MATEMATİKSEL MODEL

5.1 Amaç Fonksiyonu

Matematiksel olarak dağıtım sistemi restorasyon problemi, belirlenen sistem sınırları ile ilişkili seçilen bir amaç fonksiyonu ile tanımlanır. İstenilen amaç fonksiyonu [28];

$$\max/ \min F(x) \quad (5.1)$$

dir. Amaç bir durumu maksimize etmekse “max”, minimize etmekse “min” olan fonksiyon seçilir.

Amaç fonksiyonu belirlenirken,

1) Enerjili bölgelerin maksimizasyonu veya enerjisiz bölgelerin minimizasyonu

- Yavaş ve hızlı generatör duruşları
- Enerjisiz bölümlerin minimizasyonu
- Enerjili bölümlerin maksimizasyonu

2) Yük önceliğine göre minimizasyon

Sistemde bulunan hatların önemine göre bir ağırlık katsayısı belirlenir ve enerjisiz kısım minimizasyonu için yükler bu katsayı ile çarpılıp ekleme yapılır. Bu yöntemle yaklaşık %20 daha fazla verim elde edilir.

3) Hatların özel olarak gruplanması

Bazı hatların aynı yük değerine sahip olduğu durumlarda hangi hattın önce enerjilendirileceğine ilişkin gruplamalar yapıp şebekede indirgemeye gidilir. Böylelikle algoritmada küçülme ve işlem hızı artar.

Tezde, elektrik dağıtım şebekelerinin restorasyonu problemi için oluşturulan matematiksel model, (5.1)-(5.16) denklemleri ile verilmiştir.

1) Beslemenin maksimize edilmesi yani enerjili bölge maksimizasyonu açısından amaç fonksiyonu yazılmak istenirse [53];

$$\max \sum_{i=1}^n W_i \cdot I_i \quad (5.2)$$

I_i : i. Düğüm yük akımı

n: toplam düğüm sayısı

W_i : her bir yük ile ilişkili, yüklerin önemlerine ilişkin bir ağırlık katsayısı

2) Yük kapasitesinin maksimizasyonu, denklem 5.3 deki amaç fonksiyonu ile ifade edilir [54];

$$\max \sum_{k \in R} L_k \cdot y_k \quad (5.3)$$

L_k : k'inci baradaki yük

y_k : karar değişkeni

R: enerjisiz kalan yüklerin kümesi

Sistemin işletilmesi sırasında, hatların üzerinden geçen akımlara bağlı olarak, direnç kayıpları meydana gelecektir. En uygun yapının bulunması sırasında bu kayıplar göz önünde bulundurularak, en az kayıplı işletme yapısı uygun çözüm olacaktır.

Uygulanan algoritma ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, amaç ve sınırlara uygun olan sonuçlar arasından anahtarlama konumlarının en az değiştiği çözüm, uygun çözüm olacaktır. Her ne kadar problem çözümü sırasında anahtarlama kayıpları dahil edilmese de, bu kriterin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

5.2 Sınır Denklemleri

Amaç fonksiyonunun belirlenmesi ve uygulanabilmesi için, sisteme ait sınır denklemlerinin de belirlenmesi gerekir. Sınır denklemlerinin belirlenmesinde dağıtım sistemi özelliklerine ve işletme koşullarına göre belirlenen çok sayıda sınır bulunmaktadır.

$$\begin{aligned}
G_i(x) &= 0 \quad i=1,2,\dots,m \\
H_j(x) &\leq 0 \quad j=1,2,\dots,n
\end{aligned}
\tag{5.4}$$

Bu sınırlar, restorasyon problem çözümleri açısından iki ana başlık altında toplanabilir;

- 1) Yüklere ait sınır denklemleri
- 2) Sistemin işletme yapısına göre sınır denklemleri

Buna bağlı olarak belirlenebilecek sınır denklemleri aşağıda açıklanmıştır.

- 1) Hatlardaki akan güçler ve hat gerilimleri cinsinden kayıp hesabı ve minimizasyonu;

$$\min \sum_{i=1}^{n_b} k_i \cdot r_i \cdot \frac{P_i^2 + Q_i^2}{|V_i|^2}
\tag{5.5}$$

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 durumu. Hat devrede ise =1, değilse =0 alınır.

ile elde edilir. Açık ring işletilen sistemlerde güç kayıpların minimize edilmesi, güç ve gerilim cinsinin yanı sıra akım cinsinden de hesaplanabilir [34,35,55,56];

$$f_c = \sum_{i=1}^n |I_i|^2 k_i R_i \quad i \in NL
\tag{5.6}$$

n : sistemdeki hat kümesi

I_i : i hattındaki akım

R_i : i hattının direnci

k_i : i hattının topolojik durumu. Devrede ise =1, değilse =0

2) Sistemde bulunan ve yükleri besleyen uygun yük kaynağının kapasite limitine ilişkin sınır denklemleri aşağıda verilmektedir [21,54];

$$\sum_{e \in F_e} P_e \cdot X_e \leq G_q \quad q \in S \quad (5.7)$$

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 gücü

Bu denklem yerine aşağıda verilen 5.8 denklemini de kullanılabilir.

Üretilen güç sistemdeki tüm yüklerin toplam gücüne eşit ise;

$$\sum_{e \in F_q} P_e = G_q \quad (5.8)$$

F_q : hatların kümesi

q: hat numarası.

G_q : q inci hattan geçen güç değeri.

denklemini kullanılır. Böylece eşitlik ilkesi kullanılarak, çözümlerin hızlı elde edilmesi sağlanabilir.

3) Üretim-talep arasındaki güç dengesine ait sınır denklemini ise [54];

$$\sum_{k \in T_i} P_k - \sum_{k \in F_i} P_k - L_i \cdot y_i = 0 \quad i \in N \quad (5.9)$$

T_i : i barasına bağlı dallar kümesi

L_i : i. baradaki yük

N: bara kümesi

Aktif ve reaktif güç dengesine ait sınır denklemi [21];

$$P_G \geq P_L \quad (5.10)$$

$$Q_G \geq Q_L \quad (5.11)$$

P_G, Q_G : üretilen aktif ve reaktif güçler

P_L, Q_L : talep edilen aktif ve reaktif güçler

Reaktif güç sınırı, asenkron motorlar gibi endüstriyel tesislerde sıklıkla kullanılan ve reaktif güç ihtiyacı duyan elemanları besleyen fiderlerin enerjilendirilmesi açısından kritiktir.

4) Restorasyon problemi sonucunda, sistemdeki hatlar taşıyabilecekleri limitler çerçevesinde yüklü durumda olmalıdırlar. Bu koşula göre belirlenen sınır denklemi;

$$P_k - U_k \cdot X_k \leq 0 \quad (5.12)$$

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.

5.12 denklemi kullanıldığı gibi [57];

$$F_{ij} < F_{max} \quad (5.13)$$

F_{ij} : i-j baraları arası akan akım

denklemi de akımlar cinsinden hat kapasite sınır denklemi olarak kullanılabilir.

5) Sistem baralarındaki gerilimler izin verilen sınırlar içinde olmalıdır [58];

$$V_{i\min} \leq V_i \leq V_{i\max} \quad i \in N \quad (5.14)$$

N : Bara kümesi

Dağıtım şebekelerinde genellikle, işletme geriliminin %5 aşağı veya yukarısına izin verilir.

6) Frekans aralığı, elektrik dağıtım şebekesinin işletildiği bölgeye ve bu bölgeye ait işletme yönetmeliklerine göre izin verilen sınırlar arasında olmalıdır [33]. Genellikle $f=50\text{Hz}$ ile işletilen şebekelerde frekans, 49.5-50.5 bandı arasına izin verilir.

$$f_{\min} \leq f \leq f_{\max} \quad (5.15)$$

Yapılan tez çalışması sırasında, frekans değişimlerine ait özel bir çalışma yapılmamıştır. Bunun için sisteme ait dinamik durumlar yani geçici hal koşulları bilinmesi gerekmektedir.

7) Dağıtım şebekesinde bulunan tüm yüklerin, sistemdeki herhangi bir elemanın yük taşıma kapasitesini arttıracak şekilde olmaması, tüm yüklerin elemanlara belirli bir denge içinde dağılmış olması gerekmektedir [4]. Genellikle sistemde bulunan elemanlar, işletme sırasında %75 yüklü olarak çalıştırılıp, geçici durumlarda %120'ye kadar yüklenebilme özelliğine sahiptirler. Yük dengesine ait sınır denklemini;

$$\max \left\{ \frac{S_i}{S_i^{\max}} \right\} \quad i = 1, 2, \dots, n_b \quad (5.16)$$

n_b : sistemdeki toplam hat sayısı

k_i : i hattındaki restorasyon sırasındaki anahtarın durumu

S_i : i hattı üzerindeki görünür güç

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

6. ÖRNEK UYGULAMALAR

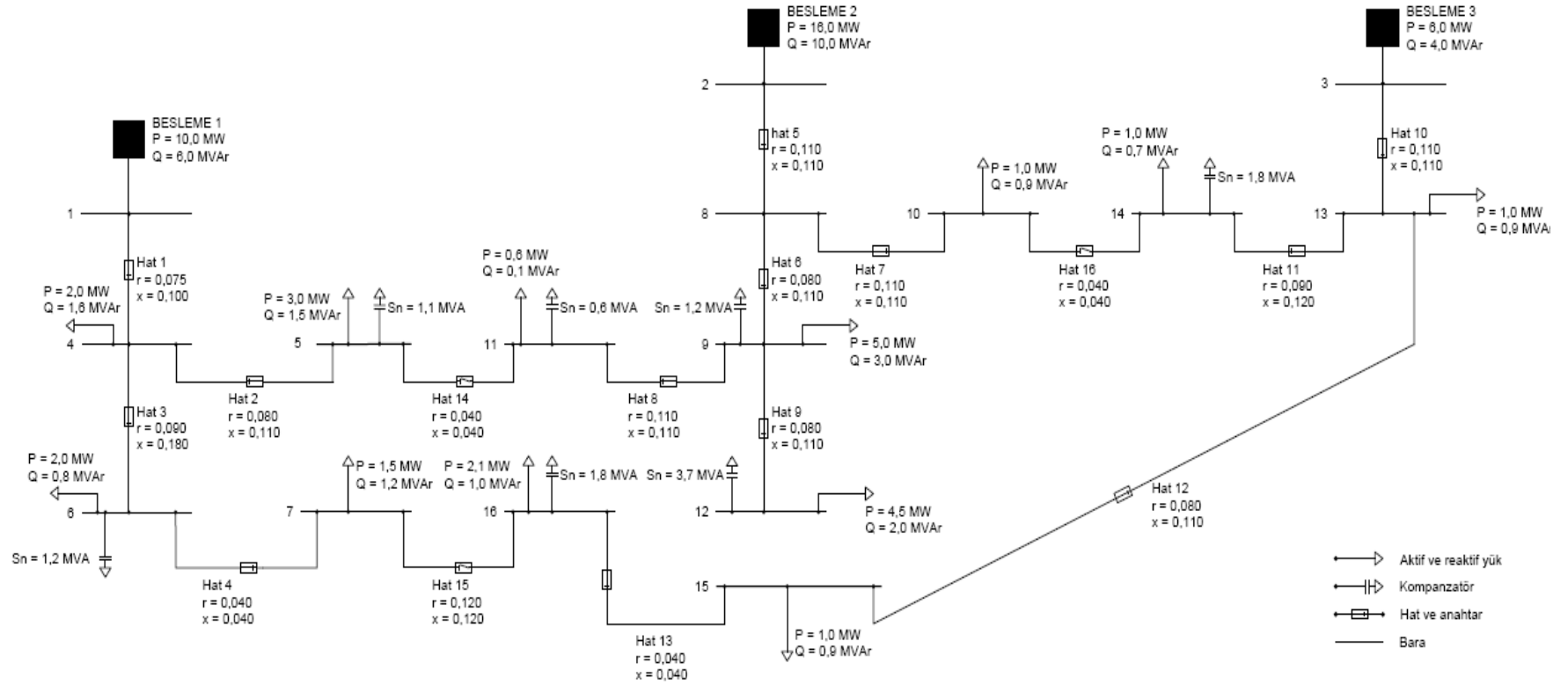
Bu bölümde, önceki bölümlerde bahsedilen yapı ve özelliklere uygun bir elektrik dağıtım şebekesi üzerinde restorasyon problemi uygulaması yapılmıştır. Tez çalışması sırasında geliştirilen evrimsel algoritma ile sonuçlar elde edilmiştir. Evrimsel algoritmanın yanısıra, amaç ve kısıt denklemlerine uygun 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 geliştirilmiş ve problemin çözümünde kullanılmıştır. Hem yük akışı analizi hem de evrimsel algoritma kodları için MATLAB R2008b programı kullanılmıştır. MATLAB’da evrimsel algoritma kısmı için “Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox” bölümüne ait genetik algoritma kodları kullanılmıştır. Yük akışı için, Hadi Saadat’ın “Power System Analysis” [59] kitabında bahsedilen güç akışı çözüm mantığı baz alınarak bir yük akışı analizi algoritması oluşturulmuştur. Sonuçların elde edilmesinde ise, Intel Core[™] 2 Duo CPU T7100 1.80GHz işlemcili, 1GB ram ve 128MB ekran kartına sahip dizüstü bilgisayar kullanılmıştır.

6.1 Örnek Şebekenin Yapısı ve Kabuller

Yapılan çalışmada, restorasyon problemi uygulanmış olan örnek test şebeke Şekil 6.1’de verilmiştir [9]. Şekildeki dağıtım şebekesi, görüldüğü gibi kapalı ring yapıda tasarlanmış ancak açık ring (radyal) olarak işletilmektedir.

Şebeke, açık ring olarak, Besleme-1, Besleme-2 ve Besleme-3 olmak üzere 3 farklı besleme noktasından beslenmektedir. Bütün baralar, radyallik koşulu gereği tek bir besleme noktasından beslenmektedir. Bu durum, baraların arasında bulunan kuplaj anahtarları sayesinde gerçekleştirilmektedir.

Örnek şebeke, 15kV elektrik dağıtım şebekesi olup, toplam 16 adet bara ve 16 adet hatta sahiptir. Bu hatlardan 3 tanesi kuplaj görevi görmektedir. Her bir barada aktif ve reaktif yükler bulunduğu gibi, 7 adet barada da kompanzatörler mevcuttur.



Şekil 6.1 : Uygulama için kullanılan elektrik dağıtım şebekesi.

Şebekeye ait beslemelerde üretilen aktif ve reaktif güç değerleri Çizelge 6.1’de verilmiştir;

Çizelge 6.1 : Beslemelerdeki aktif ve reaktif güçler.

Besleme	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVar)
1	10	6
2	16	10
3	6	4

Şebekeye ait baralarda bulunan yüklere ait aktif (P), reaktif (Q), kompanzator (C) güçleri Çizelge 6.2’de verilmiştir;

Çizelge 6.2 : Baralardaki aktif, reaktif ve kompanzator güçleri.

Bara Numarası	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVar)	Kompanzator (MVar)
4	2	1,6	0
5	3	1,5	1,1
6	2	0,8	1,2
7	1,5	1,2	0
8	4	2,7	0
9	5	3	1,2
10	1	0,9	0
11	0,6	0,1	0,6
12	4,5	2	3,7
13	1	0,9	0
14	1	0,7	1,8
15	1	0,9	0
16	2,1	1	1,8

Yukarıdaki çizelgeler ve Şekil 6.1’deki tek hat incelendiğinde,

- birinci besleme; 1, 4, 5, 6, 7 baralarını
- ikinci besleme; 2, 8, 9, 10, 11, 12 baralarını
- üçüncü besleme ise 3, 13, 14, 15, 16 baralarını beslemektedir.

Ayrıca, beslemelerden herhangi birisinin arıza sonrası kaybı söz konusu olduğunda, kalan iki beslemenin tüm yükleri besleyebildiği görülmektedir.

Baralara ait gerilim ve açıları, Çizelge 6.3'te birim değerler cinsinden verilmiştir;

Çizelge 6.3 : Bara gerilim ve açı değerleri.

Bara Numarası	Gerilim Değeri	Gerilim Açısı
1	1	0
2	1	0
3	1	0
4	0,991	-0,697
5	0,988	-0,544
6	0,988	-0,697
7	0,985	-0,704
8	0,979	-0,763
9	0,971	-1,451
10	0,977	-0,77
11	0,971	-1,525
12	0,959	-1,836
13	0,994	-0,332
14	0,995	-0,459
15	0,992	-0,527
16	0,991	-0,596

Baraları birbirine bağlayan hatlara ait direnç ve endüktans değerleri ile akım taşıma kapasiteleri Çizelge 6.4'te belirtilmiştir. Direnç ve endüktans değerleri, 100MVA gücü baz alınarak birim değerlere indirgenmiş değerlerdir.

Çizelge 6.4 : Hat bilgileri.

Bara1-Bara2	Hat Numarası	Direnç (R) (pu)	İndüktan (L) (pu)	Akım Taşıma Kapasitesi (A)
1-4	1	0,075	0,1	500
4-5	2	0,08	0,11	200
4-6	3	0,09	0,18	200
6-7	4	0,04	0,04	100
2-8	5	0,11	0,11	700
8-9	6	0,08	0,11	200
8-10	7	0,11	0,11	400
9-11	8	0,11	0,11	400
9-12	9	0,08	0,11	200
3-13	10	0,11	0,11	400
13-14	11	0,09	0,12	250
13-15	12	0,08	0,11	200
15-16	13	0,04	0,04	100
5-11	14	0,04	0,04	100
7-16	15	0,12	0,12	75
10-14	16	0,04	0,04	100

Restorasyon probleminin uygulanacağı Şekil 6.1'deki elektrik dağıtım şebekesi ile ilgili analiz ve incelemeler sırasında yapılan kabuller sayesinde, problemin karmaşıklığı az da olsa giderilmiş, sonuçların elde edilme hızı artmıştır. Yapılan kabuller aşağıda belirtilmiştir [60,61];

- 1) Sistemdeki tüm yüklerin dengeli olduğu kabul edilmiştir.
- 2) Hataların devreye giriş ve çıkışları sırasında oluşan dinamik değişimler yani geçici hal durumları ihmal edilmiş, tüm değişimlerin durağan hal için gerçekleştiği kabul edilmiştir.
- 3) Şebeke için ayrıca bir frekans incelemesi yapılmamıştır. Bu analizin yapılabilmesi için sisteme ait geçici hal davranışlarının bilinmesi gerekmektedir.
- 4) Baralar arasındaki hatların Şekil 6.1'den de görülebildiği gibi tek olduğu ve bu hatlar için sadece 1 adet anahtarın var olduğu kabul edilmiştir. Böylece sistemde hat sayısı kadar anahtar sayısının olduğu öngörülmüştür.
- 5) Orta gerilim dağıtım şebekesinde modelleme yapıldığı için hatların süseptans değerleri "0" alınmıştır.
- 6) Örnek şebeke, görüldüğü üzere kapalı ring yapıda olup, tüm işletme drumlarında açık ring (radyal) yapıda işletildiği kabul edilmiştir.
- 7) Şebekeye ait ekonomik koşullar ihmal edilerek, anahtarlama yapısı değişikliklerinde meydana gelebilecek maliyet durumu göz önünde bulundurulmamıştır.

6.2 Uygulanan Yöntem

Bu bölümde, Bölüm 6.1'de belirtilen örnek test şebekesi için yapılacak restorasyon probleminin ve uygulanan yöntemin tanımlanması amaçlanmıştır. 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 Şekil 6.2'de verilmiştir.

1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0

Şekil 6.2 : Genetik yapı zinciri.

Algoritma sırasında kullanılacak olan genetik yapı zinciri, arıza sonrasındaki işletme topolojisine göre belirlenir.

Problem çözümü kriterleri için, Bölüm 5’te bahsedilen amaç ve sınır denklemleri kullanılır. Çalıştırılan genetik algoritma sonucunda elde edilen yeni anahtarlama yapısı yük akışına gönderildiğinde, elde edilen değerlerin, amaç ve kısıtlara uygun olup olmadığı belirlenir. Uygunluk sağlanana kadar algoritma tekrarlanır.

Elektrik dağıtım şebekelerinin restorasyonu problemi çözümü için öncelikle şebekenin normal işletme koşulları altındaki yük akışı analizi yapılır. Elde edilen veriler kayıt edilir. Tez çalışması için MATLAB’da yük akışı programı geliştirilmiş ve örnek şebeke için elde edilen sonuçlar Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6’da verilmiştir. Bu değerler, problem çözümü ile elde edilen yeni işletme yapısına göre gerçekleştirilen yük akışı analizi sonuçları ile karşılaştırılacaktır.

```

%      Bus Bus Gerilim  Aç  ----Yük----  -----Generator-----  -Komp.-
%      No  kod  Mag.   Derece  MW    Mvar  MW  Mvar  Qmin  Qmax  Mvar
Bara=[1  1    1.0    0.0    0     0   10   6    0    0    0
      2  1    1.0    0.0    0     0   16  10    0    0    0
      3  1    1.0    0.0    0     0    6   4     0    0    0
      4  0  0.991  -0.370  2    1.6   0    0     0    0    0
      5  0  0.988  -0.544  3    1.5   0    0     0    0    1.1
      6  0  0.988  -0.697  2    0.8   0    0     0    0    1.2
      7  0  0.985  -0.704  1.5  1.2   0    0     0    0    0
      8  0  0.979  -0.763  4    2.7   0    0     0    0    0
      9  0  0.971  -1.451  5    1.8   0    0     0    0    0
     10  0  0.977  -0.770  1    0.9   0    0     0    0    0
     11  0  0.971  -1.525  0.6  0.1   0    0     0    0    0.6
     12  0  0.959  -1.836  4.5   2     0    0     0    0    3.2
     13  0  0.994  -0.332  1    0.9   0    0     0    0    0
     14  0  0.995  -0.459  1    0.7   0    0     0    0    1.8
     15  0  0.992  -0.527  1    0.9   0    0     0    0    0
     16  0  0.991  -0.596  2.1   1     0    0     0    0    1.8];

```

Şekil 6.3 : MATLAB’da bara verilerinin tanımı.

```

%
%           Bus bus   R       X       1/2 B       Hat Kodu
%           nl  nr   p.u.   p.u.   p.u.       = 1 hatlar için
%           > 1 or < 1 trafo barası tap
Hat=[1  4  0.075  0.1  0.0  1
      4  5  0.08  0.11  0.0  1
      4  6  0.09  0.18  0.0  1
      6  7  0.04  0.04  0.0  1
      2  8  0.11  0.11  0.0  1
      8  9  0.08  0.11  0.0  1
      8 10  0.11  0.11  0.0  1
      9 11  0.11  0.11  0.0  1
      9 12  0.08  0.11  0.0  1
      3 13  0.11  0.11  0.0  1
     13 14  0.09  0.12  0.0  1
     13 15  0.08  0.11  0.0  1
     15 16  0.04  0.04  0.0  1
      5 11  0.04  0.04  0.0  1
      7 16  0.12  0.12  0.0  1
     10 14  0.04  0.04  0.0  1];

```

Şekil 6.4 : MATLAB’da hat verilerinin tanımı.

Şekil 6.3’te, MATLAB’da geliştirilen yük akışı algoritması için bara verilerinin nasıl tanımlandığı görülmektedir. İkinci sütunda bulunan bara kod kısmındaki değer “1” ise referans bara (slack bus), “0” ise yük barası olduğunu belirtmektedir. Gerilim sütunu, baraların birim değer cinsinden gerilimleri; açı sütunu ise, derece cinsinden gerilimin açı bilgisini vermektedir. Diğer sütunlarda ise, yük, generatör (üretim) ve kompanzatlara ait aktif ve reaktif güç bilgisi verilmektedir.

Şekil 6.4’te, hat bilgilerinin yük akışı algoritmasındaki tanımı gösterilmektedir. İlk iki sütun, hattın başlangıç ve bitiş bara numaralarını göstermektedir. “R” sütunu birim değer cinsinden hattın direncini, “X” sütunu ise endüktansını vermektedir. “1/2B” sütununda hatlara ait süseptans değerleri verilmektedir. Şekilden görüldüğü üzere tüm değerler “0” olarak alınmıştır. Bu duruma ait bilgi Bölüm 6.1’de yapılan kabuller kısmında verilmiştir. Son sütun ise transformatörlerin tap pozisyonlarına ait bilgileri içerir. Örnek sistemde tüm bağlantılar hatlar üzerinden yapıldığı için hepsi “1” olarak tanımlanmıştır.

Şekil 6.5’te, sisteme ait tüm baraların gerilimi, açısı, yüklere ve üretime ait aktif ve reaktif güçler ile baralardaki kompanzatorlerin reaktif güçleri; MATLAB’da yapılan yük akışı analizine göre elde edilen bara sonuçları verilmiştir.

Newton Raphson Metodu - Yük Akışı Sonuçları
Maximum Power Mismatch = 0.000497993
İterasyon Sayısı = 2

Bara No.	Gerilim	Açı Derece	Yük MW	Yük Mvar	Üretim MW	Üretim Mvar	Mvar
1	1.000	0.000	0.000	0.000	8.577	2.912	0.000
2	1.000	0.000	0.000	0.000	15.447	4.071	0.000
3	1.000	0.000	0.000	0.000	5.140	-0.056	0.000
4	0.991	-0.370	2.000	1.600	0.000	0.000	0.000
5	0.988	-0.544	3.000	1.500	0.000	0.000	1.100
6	0.986	-0.697	2.000	0.800	0.000	0.000	1.200
7	0.985	-0.704	1.500	1.200	0.000	0.000	0.000
8	0.978	-0.732	4.000	2.700	0.000	0.000	0.000
9	0.970	-1.398	5.000	1.800	0.000	0.000	0.000
10	0.976	-0.738	1.000	0.900	0.000	0.000	0.000
11	0.970	-1.471	0.600	0.100	0.000	0.000	0.600
12	0.968	-1.758	4.500	2.000	0.000	0.000	3.200
13	0.994	-0.329	1.000	0.900	0.000	0.000	0.000
14	0.995	-0.456	1.000	0.700	0.000	0.000	1.800
15	0.992	-0.523	1.000	0.900	0.000	0.000	0.000
16	0.991	-0.590	2.100	1.000	0.000	0.000	1.800
Toplam			28.700	16.100	29.165	6.926	9.700

Şekil 6.5 : Baralardaki yük akışı sonuçları.

Şeklin en alt bölümünde, yük, üretim ve kompanzator sütununa ait güç değerlerinin toplanarak, sistemdeki üretim ve tüketim dengesinin nasıl olduğu görülmektedir. Buna göre, toplamda 28.7MW aktif güç tüketilirken, 29.165MW üretim gerçekleştirilmektedir. Aynı şekilde, 16.1MVAr reaktif güç ihtiyacı mevcutken, $6.926 + 9.7 = 16.626$ MVAr reaktif güç üretimi gerçekleşmektedir.

Örnek şebekenin başlangıç koşullarında, Şekil 6.1'deki yapıda, yük akışı analizi yapıldığında, baralardan çekilen aktif ve reaktif güçler ile baralar arasındaki hatlarda meydana gelen güç kayıplarına ait değerler Çizelge 6.5'te verilmiştir. Birinci sütun başlangıç, ikinci sütun ise bitiş barasını göstermektedir. 3, 4 ve 5'inci sütunlar ise baralara giren ve çıkan güçler ile hatlardaki güç akışlarını göstermektedir. Kalan son iki sütunda, hatlarda meydana gelen aktif ve reaktif kayıplar görülmektedir. Çizelgenin en alt kısmında, şebekenin genelinde meydana gelen toplam aktif ve reaktif kayıplar hesaplanmıştır.

Çizelge 6.5 : Hatlardaki yük akışı sonuçları.

Yük Akışı ve Güç Kayıpları						
--Hat Bilgisi--		--Bara Güçleri ve Güç Akışları--			--Güç Kayıpları--	
Başlangıç	Bitiş	(MW)	(MVAr)	(MVA)	(MW)	(MVAr)
1		8,577	2,912	9,058		
	4	8,583	2,918	9,065	0,062	0,082
2		15.447	4,071	15,974		
	8	15.491	4.131	16.032	0,283	0,283
3		5,14	-0,056	5,141		
	13	5,141	-0,055	5,141	0,029	0,029
4		-2	-1,6	2,561		
	1	-8,521	-2,836	8,98	0,062	0,082
	5	3,008	0,41	3,035	0,008	0,01
	6	3,513	0,825	3,609	0,012	0,024
5		-3	-0,4	3,027		
	4	-3	-0,4	3,027	0,008	0,01
6		-2	0,4	2,04		
	4	-3,502	-0,802	3,592	0,012	0,024
	7	1,502	1,202	1,923	0,002	0,002
7		-1,5	-1,2	1,921		
	6	-1,5	-1,2	1,921	0,002	0,002
8		-4	-2,7	4,826		
	2	-15,208	-3,848	15,688	0,283	0,283
	9	10,206	0,246	10,209	0,087	0,12
10		1,002	0,902	1,348	0,002	0,002
	10	1,002	0,902	1,348	0,002	0,002
9		-5	-1,8	5,314		
	8	-10,119	-0,126	10,12	0,087	0,12
	11	0,601	-0,499	0,781	0,001	0,001
12		4,519	-1,175	4,669	0,019	0,025
	12	4,519	-1,175	4,669	0,019	0,025
10		-1	-0,9	1,345		
	8	-1	-0,9	1,345	0,002	0,002
11		-0,6	0,5	0,781		
	9	-0,6	0,5	0,781	0,002	0,002

Çizelge 6.5 : (devam) Hatlardaki yük akışı sonuçları.

Yük Akışı ve Güç Kayıpları						
--Hat Bilgisi--		--Bara Güçleri ve Güç Akışları--			--Güç Kayıpları--	
Başlangıç	Bitiş	(MW)	(MVA _r)	(MVA)	(MW)	(MVA _r)
12	9	-4,5	1,2	4,657	0,019	0,025
13	3	-1	-0,9	1,345	0,029	0,029
	14	-5,112	0,084	5,113	0,002	0,003
	15	1,002	-1,097	1,486	0,008	0,011
14	13	-1	1,1	1,487	0,002	0,003
15	13	-1	-0,9	1,345	0,008	0,011
	16	-3,102	-0,102	3,104	0,002	0,002
16	15	2,102	-0,798	2,248	0,002	0,002
	15	-2,1	0,8	2,247	0,002	0,002
	15	-2,1	0,8	2,247	0,002	0,002
Toplam Kayıp					0,515	0,593

Algoritma aşamasına geçildiğinde, ilk olarak hat verileri Şekil 6.4'teki gibi matris formunda MATLAB "opfl.m" dosyasına yazıldı.

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 16 alındı. Sonuçta Population = initbp(50,16) 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. Oluşturulan 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. Daha sonra "gaopf.m" dosyasında arıza sonrası

oluşan bara ve hat yapısı matrisleri, Şekil 6.3 ve 6.4'teki gibi bir formatta yazılarak, evrimsel algoritma aşamalarına geçildi.

Evrimsel algoritmanın uygulandığı bölümde ilk olarak, probleme ait uygunluk fonksiyonu, Bölüm 5'te bahsedilen amaç ve sınır denklemlerine göre belirlendi. "opfl.m" MATLAB dosyasındaki algoritmanın en sonunda, uygunluk fonksiyonları olarak, kaydedilen görünür güçlerin maksimum olması ve kaydedilen kayıpların minimum olması koşulu verilmiştir. Evrimsel algoritmanın uygulandığı kısımda uygunluk fonksiyonu olarak bu iki koşul alınmaktadır.

İkinci aşamada, MATLAB'ın sahip olduğu "Genetic Algorithm Toolbox"na ait "gaoptimset.m" dosyasında belirtildiği şekilde, evrimsel algoritma aşamalarına ait koşullar yazıldı. Bu 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', {@crossovertwopoint},  
'MutationFcn', {@mutationuniform, 0.06}  
'PlotFcns', {@gaplotbestf}  
);
```

olarak girilmektedir.

Yapılan çalışma için, yukarıda görüldüğü gibi, topluluk tipi 2'li sistem, topluluk sayısı 50, 1'lik elitizm, 0.8 oranlı çaprazlama, 300 zaman limiti içinde 100 jenerasyon üretimi, seçim kriteri 2'li turnuva, iki noktalı çaprazlama ve mutasyon oranı da 0.06 olan koşullar belirlenmiştir. Çalışma sırasında yapılan tüm uygulamalar için bu koşullar aynı alınmıştır.

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 0.06

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 5’teki amaç ve sınır denklemlerine uygun olup olmadığı kontrol edildi. Eğer istenilen sonuçlar elde edilemez ise, bahsedilen işlemler uygun sonuç bulunana kadar tekrarlanır. Elde edilen bu değerlere ait çizelgeler Bölüm 6.3’te ayrıntılı olarak verilmiştir.

6.3 Sonuçlar

6.3.1 Uygulama 1

Uygulamada, Şekil 6.1’deki örnek test sisteminde 11 numaralı barada bir arıza meydana geldiğinde, uygulanan algoritma sonuçları incelenmiştir. 11 numaralı barada bir arıza meydana geldiğinde, 5-11 baraları arasındaki Hat 14’ün anahtarı açık kalmaya devam edecektir. Arızalı bölgenin sistemden izole edilebilmesi için Hat 8’e ait anahtar açılır. Buna ek olarak, Hat 15 ve 16 da başlangıç koşullarında açık olduğundan, algoritmaya da açık olarak girilecektir. Bu durumda algoritmaya yazılan hatlara ait matris,

$$\text{Hat veri} = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 0.075 & 0.1 & 0.0 & 1 \\ 4 & 5 & 0.08 & 0.11 & 0.0 & 1 \\ 4 & 6 & 0.09 & 0.18 & 0.0 & 1 \\ 6 & 7 & 0.04 & 0.04 & 0.0 & 1 \\ 2 & 8 & 0.11 & 0.11 & 0.0 & 1 \\ 8 & 9 & 0.08 & 0.11 & 0.0 & 1 \\ 8 & 10 & 0.11 & 0.11 & 0.0 & 1 \\ 9 & 12 & 0.08 & 0.11 & 0.0 & 1 \\ 3 & 13 & 0.11 & 0.11 & 0.0 & 1 \\ 13 & 14 & 0.09 & 0.12 & 0.0 & 1 \\ 13 & 15 & 0.08 & 0.11 & 0.0 & 1 \\ 15 & 16 & 0.04 & 0.04 & 0.0 & 1 \end{bmatrix};$$

şeklinde MATLAB’da tanımlanır. Baralarda ise Şekil 6.3’ten farklı olarak sadece 11 numaralı bara yazılmayacaktır. Bu yapı kurularak algoritma çalıştırıldığında, yaklaşık 55dk’da sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 6.6'da elde edilen en uygun şebeke yapısına ait baraların yük akışı sonuçları verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi 11 nolu bara devre dışıdır.

Çizelge 6.6 : Uygulama için baralara ait yük akışı sonuçları.

Bara No.	Gerilim Mag.	Açı Degree	-----Yük----- MW	Mvar	---Generation--- MW	Mvar	--Komp-- Mvar
1	1.000	0.000	0.000	0.000	9.190	2.428	0.000
2	1.000	0.000	0.000	0.000	13.820	3.656	0.000
3	1.000	0.000	0.000	0.000	6.156	0.860	0.000
4	0.991	-0.426	2.000	1.600	0.000	0.000	0.000
5	0.988	-0.663	3.000	1.500	0.000	0.000	1.100
6	0.986	-0.754	2.000	0.800	0.000	0.000	1.200
7	0.985	-0.761	1.500	1.200	0.000	0.000	0.000
8	0.981	-0.653	4.000	2.700	0.000	0.000	0.000
9	0.972	-1.252	5.000	1.800	0.000	0.000	0.000
10	0.990	-0.489	1.000	0.900	0.000	0.000	0.000
11	0.0	-0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.970	-1.611	4.500	2.000	0.000	0.000	3.200
13	0.992	-0.336	1.000	0.900	0.000	0.000	0.000
14	0.991	-0.487	1.000	0.700	0.000	0.000	1.800
15	0.990	-0.531	1.000	0.900	0.000	0.000	0.000
16	0.989	-0.599	2.100	1.000	0.000	0.000	1.800
Total			28.100	16.000	29.166	6.944	9.100

Elde edilen bu sonuca göre, Bölüm 5.2'de, bara gerilim limitlerine ait sınırlar incelendiğinde, gerilimin %5 değişimine izin verildiğinden bahsedilmiştir. Yukarıdaki çizelge incelendiğinde, tüm baralardaki gerilimlerin 0.95 ve 1.05 limitleri arasında olduğu görülmektedir. Ayrıca diğer bir sınır koşulu olan üretim-tüketim dengesi koşulu da tüm yüklerin beslenebilir olmasından dolayı sağlanmıştır.

Çizelge 6.7'de elde edilen yeni şebekeye ait hatlardaki yük akışı analizi sonuçları verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde, hangi hatların açık olduğu kolayca bulunabilmektedir. Buna göre uygun şebeke yapısı için, 7, 8, 14 ve 15 numaralı hatların anahtarlarının açık, diğer hatların ise kapalı olduğu görülmektedir. Elde edilen bu yapıya ait gen yapısı Şekil 6.6'da verilmiştir.

1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 1

Şekil 6.6 : Elde edilen yeni sistemin genetik yapı zinciri.

Çizelge 6.7 : Uygulama için hatlara ait yük akışı sonuçları ve kayıplar.

--Hat--		--Bara ve Hat Güçleri--			--Hat Kayıpları--	
-1-	-2-	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar
1		9.190	2.428	9.505		
	4	9.192	2.431	9.508	0.068	0.090
2		13.820	3.656	14.296		
	8	13.820	3.656	14.296	0.225	0.225
3		6.156	0.860	6.216		
	13	6.157	0.861	6.217	0.043	0.043
4		-2.000	-1.600	2.561		
	1	-9.124	-2.340	9.420	0.068	0.090
	5	3.611	-0.085	3.612	0.011	0.015
	6	3.513	0.825	3.609	0.012	0.024
5		-3.000	-0.400	3.027		
	4	-3.600	0.100	3.602	0.011	0.015
6		-2.000	0.400	2.040		
	4	-3.502	-0.802	3.592	0.012	0.024
	7	1.502	1.202	1.923	0.002	0.002
7		-1.500	-1.200	1.921		
	6	-1.500	-1.200	1.921	0.002	0.002
8		-4.000	-2.700	4.826		
	2	-13.595	-3.431	14.022	0.225	0.225
	9	9.595	0.731	9.623	0.077	0.106
9		-5.000	-1.800	5.314		
	8	-9.518	-0.625	9.539	0.077	0.106
	12	4.518	-1.175	4.669	0.018	0.025
10		-1.000	-0.900	1.345		
	14	-1.000	-0.900	1.345	0.001	0.001
12		-4.500	1.200	4.657		
	9	-4.500	1.200	4.657	0.018	0.025
13		-1.000	-0.900	1.345		
	3	-6.114	-0.819	6.169	0.043	0.043
	14	2.004	-0.194	2.014	0.004	0.005
	15	3.110	0.113	3.112	0.008	0.011
14		-1.000	1.100	1.487		
	13	-2.001	0.199	2.011	0.004	0.005
	10	1.001	0.901	1.346	0.001	0.001
15		-1.000	-0.900	1.345		
	13	-3.102	-0.102	3.104	0.008	0.011
	16	2.102	-0.798	2.248	0.002	0.002
16		-2.100	0.800	2.247		
	15	-2.100	0.800	2.247	0.002	0.002
Toplam Kayıp					0.469	0.548

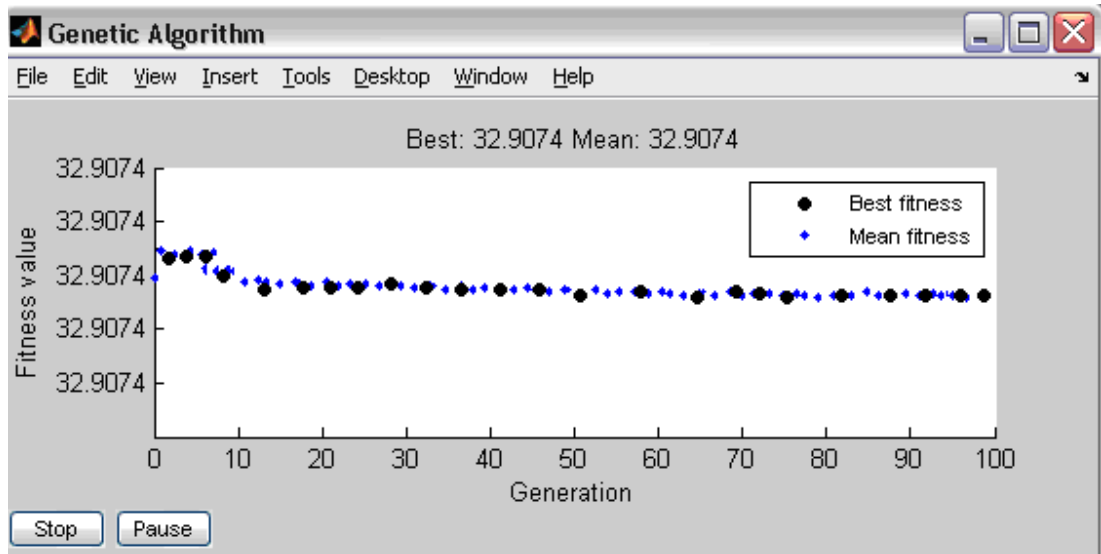
Yandaki çizelge incelendiğinde, hatlardan akan güçlerin, hatların taşıma kapasitelerinin altında olduğu görülmektedir. Yani yeni sistemde hiçbir hat aşırı yüklenmemektedir. Böylece hat kapasite limiti sınır koşulu da sağlanmış olmaktadır.

Şebekenin ilk işletme koşullarındaki güç kayıpları Çizelge 6.6'dan da görüldüğü gibi

$$\sqrt{0.515^2 + 0.593^2} = 0.785 MVA \text{ olarak elde edilmişti. Yeni sistemde ise,}$$

$$\sqrt{0.469^2 + 0.548^2} = 0.721 MVA \text{ olarak elde edildi.}$$

Yapılan analize ait, “gaopf.m” dosyasının sonunda en iyi sonucun ve bireylerin çizdirilmesi istenmişti. Şekil 6.7'deki grafikte çizdirilen sonuçlar verilmiştir. 100 jenerasyon üretildikten sonra çizdirme işlemi tamamlanmıştır. Seçilen bireye ait gen yapısı Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.7 : MATLAB’da çizdirilen en iyi sonuç.

6.3.2 Uygulama 2

İkinci uygulama olarak, Şekil 6.1’deki örnek test sisteminde 2 numaralı beslemede bir arıza meydana geldiğinde, uygulanan algoritma sonuçları incelenmiştir. 2 numaralı beslemede bir arıza meydana geldiğinde, bara 2 nin izole edilebilmesi için 5 numaralı anahtar açılır. Bu durumda besleme 1 ve 3, sistemdeki tüm yükleri üzerine paylaşacaktır. Aynı algoritma koşulları bu uygulama için de geçerli olup, tüm değerler aynı alınırsa, 15dk süren bir algoritma sonucunda, en uygun sonuçlar elde edilmiştir.

Algoritma her çalıştırıldığında, birbirine yakın iki farklı sonuç elde edilmektedir.

Birinci elde edilen çözümde;

- 14,15 ve 16 numaralı anahtarların kapalı; 8 ve 13 numaralı anahtarların açık olduğu görülmektedir.
- Aktif kayıplar 1,313MW
- Reaktif kayıplar 1,509MVAr olarak elde edilmiştir.

İkinci elde edilen çözümde ise;

- 14, 15, 16 numaralı anahtarların kapalı; 8 ve 12 numaralı anahtarların açık olduğu görülmektedir.
- Aktif kayıplar 1,299MW
- Reaktif kayıplar 1,513MVAr olarak elde edilmiştir

İki sonuç incelendiğinde, birinci sonuçta aktif kayıpların, ikinci sonuçta ise reaktif kayıpların biraz daha fazla olduğu ancak görünür kayıpların hemen hemen birbirine eşit olduğu görülmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, elektrik dağıtım şebekelerinin restorasyonu ile ilgili bilgiler verilerek, bir evrimsel algoritma geliştirilip, açık ring olarak işletilen örnek bir orta gerilim elektrik 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 metotları 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 5'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. Bu çalışmada ise çok sayıda amaç birarada bulunmaktadır. Bahsedilen amaçlar kullanılarak, sınır denklemlerine göre evrimsel algoritmalarla çözüm elde edilmeye çalışılmıştır.

Çalışma sırasında geliştirilen evrimsel algoritma, sadece bölüm 5'te verilen amaç ve sınır denklemleri doğrultusunda açık ring olarak işletilen bir elektrik dağıtım şebekesine uygulanmıştır. Bu çalışmanın ileriki aşamalarında, sisteme ait ekonomik verilerin de temin edilmesiyle, algoritmaya ekonomik koşullar da dahil edilebilir. Ayrıca restorasyon problemi, orta gerilim dağıtım sistemine uygulanmıştır. Daha sonraki aşamalarda, çalışma için oluşturulan algoritmanın geliştirilmesi ile, alçak gerilim dağıtım sistemlerine de uygulanabilirliği sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Su, C. T., Lee, C. S.**, 2001: Feeder Reconfiguration and Capacitor Setting for Loss Reduction of Distribution Systems, *Electric Power System Research*, no. 58, pp. 97–102, December 18.
- [2] **Fan, J., Zhang, L., and McDonald, J.**, 1996: Distribution Network Reconfiguration : Single Loop Optimization, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 11, no. 3, pp. 1643–1647, August.
- [3] **Civanlar, S., Grainger, S., and Yin, H.**, 1988: Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 3, no. 3, pp. 1217–1223, July.
- [4] **Baran, E., Wu, F.**, 1989: Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 4, no. 2, pp. 1401–1407, April.
- [5] **Miranda, V., Ranita, J. V., and Proença, L. M.**, 1994: Genetic Algorithms in Optimal Multistage Distribution Network Planning, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 9, no. 4, pp. 1927–1933, November.
- [6] **Chiang, H. D., and Jumeau, J.**, 1990: Optimal Network Reconfigurations in Distribution Systems Part 1: A New Formulation and Solution Methodology, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 5, no. 4, pp. 1902–1909, November.
- [7] **Carvalho, P. M. S., Ferreira, L. A. F. M., and Barruncho, L. M. F.**, 2007: Optimization Approach to Dynamic Restoration of Distribution Systems, *Electric Power and Energy Systems*, no. 29, pp. 222–229, July 19.
- [8] **Taleski, R., and Rajjicic, D.**, 1997: Distribution Network Reconfiguration for Energy Loss Reduction, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 12, no. 1, pp. 398–406, February.
- [9] **Mendiola, M. C., Chang, C. S., and Elangovan, S.**, 1995: Fuzzy Expert System for Distribution System Restoration and Contingency Operation, *IEEE Explore Catalogue*, no. 95TH8130, pp. 73–79.
- [10] **Simburger, E. J.**, 1981: Low Voltage Bulk Power System Restoration Simulation, *IEEE Transactions on Power Apparatus & Systems*, Vol. PAS-100, no. 11, pp. 4479–4484.
- [11] **Gutierrez, J.**, 1987: Policies for Restoration of a Power System, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. PWRS-2, no. 2, pp. 436–442.
- [12] **Adbi, M. M.**, 1992: New Approach in Power System Restoration, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 7, no. 4, pp. 1428–1434.

- [13] **McDermott, T. E.**, 1999: A Heuristic nonlinear constructive Method for Distribution system Reconfiguration, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. **14**, no. 2, pp. 478–483.
- [14] **Miranda, V., Srinivasan, D., and Proença, L. M.**, 1998: Evolutionary Computation in Power Systems, *Electrical Power & Energy Systems*, Vol. **20**, no. 2, pp. 89–98.
- [15] **Vankatesh, B., Ranjan, R.**, 2003: Optimal Radial Distribution Systems reconfiguration Using Fuzzy Adaptation of Evolutionary Programming, *Electric Power and Energy Systems*, no. 25, pp. 775–780.
- [16] **Miranda, V., Matos, M.**, 1989: Distribution System Planning With Fuzzy Models and Techniques, *IEEE Explore Cired*, pp. 472–476, Porto, Portugal.
- [17] **Sakaguchi, T.**, 1983: Development of a Knowledge Based System for Power System Restoration, *IEEE Transactions on Power Apparatus & Systems*, Vol. **PAS-102**, no. 2, pp. 320–329.
- [18] **Koiima, Y.**, 1989: The Development of Power System Restoration Method for Bulk Power System by Applying Knowledge Engineering Techniques, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. **4**, no. 3, pp. 1228–1235.
- [19] **Nagata, T.**, 1995: 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.
- [20] **Lee, S.**, 1998: Service Restoration of Primary Distribution Systems Based on Fuzzy Evolution of Multi-criteria, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. **13**, no. 3, pp. 1156–1163.
- [21] **Nagata, T., Hatakemaya, S., and Yasuka, M.**, 2000: An Efficient Method for Power Distribution System Restoration Based on Mathematical Programming and Operation Strategy, *IEEE Explore*, pp. 1545–1549.
- [22] **Guerrero, R. P., Jack, N. J., and Keel, B. K.**, 2008: Optimal Restoration of Distribution Systems Using Dynamic Programming, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. **23**, no. 3, pp. 1589–1595, July.
- [23] **Nara K.**, 1997: Genetic Algorithm for Power Systems Planning, *The 4th International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management*, pp. 60–65, Hong Kong, November.
- [24] **Radha, B., King, R. T. F., and Rughooputh, H. C. S.**, 2003: A Modified Genetic Algorithm for Optimal Electrical Distribution Network Reconfiguration, *IEEE Explore*, pp. 1472–1479.
- [25] **Carrano, G. E., Soares, L. A. E., and Takahashi, R. H. C.**, 2006: Electric Distribution Network Multiobjective Design Using a Problem Specific Genetic Algorithm, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. **21**, no. 2, pp. 995–1005, April.
- [26] **Augugliaro, A., Dusonchet, E., and Sanseverino, E. R.**, 2000: Multiobjective Service Restoration in Distribution Networks Using an Evolutionary Approach and Fuzzy Sets, *Electric Power and Energy Systems*, no. 22, pp. 103–110, May 1.

- [27] **Irwing, M. R., Luan, W. P., and Daniel, J. S.**, 2002: Supply Restoration in Distribution Networks Using a Genetic Algorithm, *Electric Power and Energy Systems*, no. 24, pp. 447–457, August 1.
- [28] **Liu C. C., Vittal V., Tomsovic K.**, 2009: Development and Evaluation of System Restoration Strategies from a Blackout, *Power Systems Engineering Research Center*, September.
- [29] **MEGEP**, 2006: *Enerji Üretimi*, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- [30] **Burke, James J.**, 1994. *Power Distribution Engineering – Fundamentals and Application*, Marcell Dekker, INC.
- [31] **Gönen, Turan**, 1986. *Electric Power Distribution System Engineering*, McGraw-Hill Companies.
- [32] **Url-1** <http://tr.wikipedia.org/wiki/Türkiye'de_elektriğin_tarihi>, alındığı tarih 05.04.2010.
- [33] **Perez, R. E., Heydt, T. G.**, 2008: Distribution System Restoration via Subgradient-Based Lagrangian Relaxation, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 23, no. 3, pp. 1162–1169, August.
- [34] **Carreno, E. M., Moreira, N., and Romero, R.**, 2007: Distribution Network Reconfiguration Using an Efficient Evolutionary Algorithm, *IEEE Explore*, pp. 1–6.
- [35] **Carreno, E. M., Romero, R., and Feltrin, A. P.**, 2008: An Efficient Codification to Solve Distribution Network Reconfiguration for Loss Reduction Problem, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 23, no. 4, pp. 1542–1551, November.
- [36] **Delbem, A. C. B., Carvalho, A., and Bretas, N. G.**, 2003: Optimal Energy Restoration in Radial Distribution Systems Using a Genetic Approach and Graph Chain Representation, *Electric Power System Research*, no. 67, pp. 197–205, March 31.
- [37] **Url-2** <<http://www.biltek.tubitak.gov.tr/gelisim/matematik/kuralim.htm>> Matematiksel Programlama, alındığı tarih 05.04.2010, TÜBİTAK.
- [38] **Url-3** <http://tr.wikipedia.org/wiki/Genetik_algoritma>, alındığı tarih 11.03.2010.
- [39] **Öztürk, A.**, 2007: Güç Sistemlerindeki Gerilim Kararlılığının Genetik Algoritma ile İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi*, Sakarya, Ocak.
- [40] **Pohlheim, H.**, 2006: GEATbx Genetic and Evolutionary Algorithm Toolbox for MATLAB Version 3.8 User's Manual, retrieved January 25, 2010, from <http://www.geatbx.com>, December.
- [41] **Tang, K. S., Man, K. F., Kwong, S., and He, Q.**, 1995: Genetic Algorithms and Their Applications, *IEEE Signal Pressing Magazine*, pp. 22–37, November.
- [42] **Bozkurt, F.**, 2004: Genetik Algoritma Yöntemini Kullanarak Yarı İletken Diyoda Ait Parametre Çıkarımı, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya, Ağustos.

- [43] **Altıparmak, F.**, 1996: Genetik Algoritma ile Haberleşme Şebekelerinin Topolojik Optimizasyonu, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi*, Ankara, Haziran.
- [44] **Torres, L. G., Martins, H. G., Matsunaga, F. M.**, 2008: Genetic Algorithm to System Restoration, *The Online Journal on Electronics and Electrical Engineering OJEEE*, Vol. 1, no. 1, pp. 9–14.
- [45] **The MathWorks Inc.**, 2008: Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox 2 User's Guide, Natick, MA.
- [46] **Fletcher, R.**, 1990: *Practical Methods of Optimization*, 2nd Ed., New York.
- [47] **Yeniay, Ö.**, 2005: Penalty Function Methods for Constrained optimization with Genetic Algorithms, *Mathematical and Computational Applications*, Vol. 10, no. 1, pp. 45–56.
- [48] **Jones, J., Houck, C.**, 1994: On the Use of Non-stationary Penalty Functions to Solve Nonlinear Constraint Optimization Problems with GAs, *IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, pp.579-584.
- [49] **Venkatraman, S.**, 2005: A Generic Framework for Constrained Optimization Using Genetic Algorithms, *IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, Vol. 9, no. 4, pp.579–584.
- [50] **Man, K. F., Tang, K. S., and Kwong, S.**, 1996: Genetic Algorithms : Concepts and Applications, *IEEE Transactions on Endustrial Electronics*, Vol. 43, no. 5.
- [51] **Park, J. B., Park, Y. M., and Won, J. R.**, 2000: An Improved Genetic Algorithm for Generation Expansion Planning, *IEEE Transaction on Power Systems*, Vol. 15, no. 3, pp. 916–922.
- [52] **Mitchell, M.**, 1999: *An Introduction to Genetic Algorithms*, MIT Pres, Cambridge, MA.
- [53] **Solanaki, J. M., Khushalani, S., and Schulz, N. N.**, 2007: A Multi-Agent Solution to Distribution Systems, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 22, no. 3, pp. 1026–1033, August.
- [54] **Nagata, T., Tao, Y., and Kimura, K.**, 2004: A Multi-Agent Approach to Distribution System Restoration, *The 4th IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems*, pp. II/333–336.
- [55] **Zhigang, M.**, 2008: 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.
- [56] **Bernardon, D. P., Comassetto, L., Abaide, A. R., Canha, L. N.**, 2007: New Methods for Distribution Network Reconfiguration from Multicriteria Decision-making, *POWERENG 2007*, pp. 225–231, Setubal, Portugal, April 12–14.
- [57] **Vadivoo, N. S., Slochanal, S. M. R.**, 2009: Distribution System Restoration Using Genetic Algorithm with Distributed Generation, *CCSE Modern Applied Science*, Vol. 3, no. 4, pp. 98–109, April.

- [58] **Huo, Limin., Yin, J., and Yu, Y.**, 2008: Distribution Network Reconfiguration Based on Load Forecasting, *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, IEEE Computer Society, pp. 1039–1043.
- [59] **Saadat H.**, 1998: *Power System Analysis*, bölüm 5-6, WCB/McGraw-Hill, Boston.
- [60] **Hsu, Y. Y., Peng, S. K., and Yu, H. S.**, 1992: Distribution Service Restoration Using a Heuristic Search Approach, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 7, no. 2, pp. 734–740, April.
- [61] **Nara, K., Shiose, A., Kitagawa, M., Ishiara, T.**, 1992: Implementation of Genetic Algorithm for Distribution Systems Loss Minimum Reconfiguration, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 7, no. 3, pp. 1044–1051, August.
- [62] **Lin, M., Cheng, F. S., and Tsay, M.**, 2000: Distribution Feeder Reconfiguration with Refined Genetic Algorithm, *IEE Proc.-Gener. Transmission Distribution*, Vol. 147, no. 6, pp. 349–354, November.
- [63] **Kumar, Y., Das, B., and Sharma, J.**, 2006: Service Restoration in Distribution System Using Non-dominated Sorting Genetic Algorithm, *Electric Power System Research*, no. 76, pp. 768–777, December 9.
- [64] **Avella, P., Villachi, D., and Sforza, A.**, 2005: A Steiner Arborescence Model for the Feeder Reconfiguration in Electric Distribution Networks, *European Journal of Operational Research*, no. 164, pp. 505–509, March 19.
- [65] **Song, Y. H., Wang, P. Y.**, 1997: Evolutionary Approach to Distribution Network Reconfiguration for Energy Saving, *Electric Power Research Institute*, Beijing, China.
- [66] **Cechin, A. L., Mendel, C. A.**, 2009: Genetic Algorithms to Solve the Power System Restoration Planning Problem, *Engineering with Computers*, no. 25, pp. 261–268, June 18.
- [67] **Rudnick, H., Harnisch, I.**, 1995: Reconfiguration of Electric Distribution Systems with a Simplified Power Summation Method, *Jornadas Luso-Espanholas de Engenharia Electrotecnica*, pp. 897–904, Porto, Portugal, de Julho 6–8.
- [68] **Usta, H.**, 2006: Genetik Algoritmelerde Mutasyon Çaprazlama ve Bellek Mekanizmalarının Etkileri ve İyileştirilmesi, 19 Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran.
- [69] **Url-3** <<http://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders.html>>, alındığı tarih 05.12.2009.
- [70] **Çakmak, B.**, 2003: MATLAB’de Programlama, <http://lecture.eingang.org/toc.html>, alındığı tarih 18.10.2009.
- [71] **Özdeş, A.**, 2008: Dallı Enerji Dağıtım Sistemlerinde Yeniden Yapılandırma Problemlerine Genetik Algoritma Yaklaşımı, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi*, Haziran.

- [72] **Liu, E., Carneiro, S., Neibur, D., McCally, J., Baldick, R., Staron, J. V.**, 2001: IEEE Radial Distribution Test Feeders, *IEEE Distribution System Analysis Subcommittee Report*.
- [73] **Zimmerman, R. D., and Sanchez, C. E. M.**, 2007: MATPOWER A MATLAB Power System Simulation Package Version 3.2 User's Manual, *PSEERC Power Systems Engineering Research Center, Ithaca, New York*, September 21.
- [74] **Milano, F.**, 2006: An Open Source Power System Analysis Toolbox, *Montreal, Spain*, June 20.
- [75] **The MathWorks Inc.**, 2008: Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox Release Notes, *Natick, MA*.
- [76] **Silva, S.**, 2007: GPLAB A Genetic Programming Toolbox for MATLAB Version 3, *April*.
- [77] **Liu, C. C., Lee, S. J., and Vu, K.**, 1989: Loss Minimization of Distribution Feeders : Optimality and Algorithms, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 4, no. 2, pp. 1281–1288, *April*.
- [78] **Lindenmeyer, D., Dommel, H. W., and Adibi, M. M.**, 2001: Power System Restoration – a Bibliographical Survey, *Electric Power and Energy Systems*, no. 23, pp. 219–227, *August 8*.
- [79] **Kalinowski, E. M., Teresinha, M., and Carnieri, C.**, 2007: The Problem of Restoration of Distribution Networks: a Heuristic Method, *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol. 7, no. 3, pp. 104–111, *March*.
- [80] **Bueno, E. A., Lyra, C., and Cavellucci, C.**, 2004: Distribution Network Reconfiguration for Loss Reduction with Variable Demands, *IEEE/PES Transmissions & Distribution Conference & Exposition*, pp. 1–6, *Latin America*.
- [81] **Zhu, J., Xiong, X., Zhang, J., Shen, G.**, 2009: A Rule Based Comprehensive Approach for Reconfiguration of Electrical Distribution Network, *Electric Power System Research*, no. 79, pp. 311–315.
- [82] **Jiang, D., and Baldick, R.**, 1996: Optimal Electric Distribution System Switch Reconfiguration and Capacitor Control, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 11, no. 2, pp. 890–897, *May*.
- [83] **Coelho, A., Rodrigues, A. B., and Silva, M. G.**, 2004: Distribution Network Reconfiguration with Reliability Constraints, *International Conference on Power System Technology POWERCON 2004*, *Singapore*, November 21-24.
- [84] **Uçak, C., Pahwa, A.**, 1994: An Analytical Approach for Step-by-step Restoration of Distribution Systems Following Extended Outages, *IEEE Explore*, pp. 1717–1722.

ÖZGEÇMİŞ

Buğra AKDUMAN, 1986 yılında Ankara'da doğdu. İlköğretimin birinci kademesi olan ilkokulu iki farklı yerde, 1992-1994 yıllarında Ağrı İbrahim Çeçen İlkokulu ile 1994-1997 yıllarında Çorlu Süleyman Peker İlkokulu, ortaokulu ise 1997-2001 yılları arasında Çorlu Mehmet Akif Ersoy Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Lise eğitimini 2001-2004 yılları arasında Üsküdar Hüseyin Avni Sözen Anadolu Lisesi'nde aldıktan sonra 2004 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği bölümünü kazanarak, 2007-2008 Güz Döneminde mezun oldu. Lisans eğitimini bitirdikten sonra 2007-2008 Bahar Döneminde Yüksek Lisans eğitimine başlayarak, 2009-2010 Bahar Dönemi'nde mezuniyetine hak kazanacaktır.