T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜÇ SİSTEMLERİNDE ESNEK HESAPLAMA YÖNTEMLERİ İLE GERİLİM DÜŞÜMÜ KESTİRİMİ

Sümeyye ÇOLAK

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2022

T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜÇ SİSTEMLERİNDE ESNEK HESAPLAMA YÖNTEMLERİ İLE GERİLİM DÜŞÜMÜ KESTİRİMİ

Sümeyye ÇOLAK

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
ÇİZELGELER DİZİNİ v
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5
3. MATERYAL ve YÖNTEM 7
3.1. Materyal 7
3.1.1. Güç kalitesi 7
3.1.2. Genetik algoritma 14
3.1.2.1. Genetik algoritma tarihçesi 15
3.1.2.2. Genetik algoritma terimleri 16
3.1.2.3. Genetik algoritma uygulama basamakları 18
3.2. Yöntem 32
3.2.1. M matrisinin hesaplanması 37
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 39
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 50
KAYNAKLAR 51
EKLER 55
EK.1 55
EK.2 57
EK.3 59
EK.4 61
EK.5 63
EK.6 64
EK.7 66
EK.8 67
EK.10 69
EK.11 70
EK.12 75
EK.13 89
EK.14 121
EK.15 127
EK.16 129

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜÇ SİSTEMLERİNDE ESNEK HESAPLAMA YÖNTEMLERİ İLE GERİLİM DÜŞÜMÜ KESTİRİMİ

Sümeyye ÇOLAK

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hasari KARCİ
YIL: 2022, Sayfa: 129

Bu çalışmada, elektrik dağıtım sistemlerinde üç-faz kısa devre hatasının buslarda meydana getirdiği gerilim düşümlerinin sayısı genetik algoritma kullanılarak kestirilmeye çalışılmıştır. Elektrik dağıtım sisteminde meydana gelen tüm gerilim düşümlerini kaydedecek şekilde yerleştirilmiş olan monitörlerin ölçtüğü gerilim düşüm sayılarını kullanılarak, monitör yerleştirilmemiş olan buslardaki gerilim düşümlerinin sayısı kestirilmeye çalışılmıştır. IEEE-24 Bus, IEEE-30 Bus, IEEE-118 Bus ve IEEE 145 Bus elektrik dağıtım şebekelerinin matematiksel modelleri Octave kullanılarak oluşturulmuştur. Gerilim düşüm sayılarının kestirimi için Octave programının genetik algoritma kütüphanesi kullanılmış ve başarımı arttırmak için popülasyon bireylerini problemin karakteristiğine uygun şekilde oluşturan bir fonksiyon ve mutasyon fonksiyonu yazılmıştır. Geliştirilen yazılımın başarımı IEEE-24 Bus, IEEE-30 Bus, IEEE-118 Bus ve IEEE 145 Bus elektrik dağıtım sistemleri için yapılan simülasyonlar ile test edilmiştir. Her dağıtım sisteminde 0.1, 0.2 ve 0.3 eşik değerleri için rasgele seçilmiş monitör edilmeyen busların gerilim düşümleri kestirilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar gerçek gerilim düşüm sayıları ile karşılaştırılarak elde edilen hata sayıları bulunmuştur. Genetik algoritmanın rassal özelliği dikkate alınarak her durum için 10 adet simülasyon yapılmıştır. Bu simülasyonlardan elde edilen hataların ortalama değerleri hesaplanmıştır. Genetik algoritmada popülasyon büyüklüğü başarımı etkileyen bir parametre olduğu için 20,50,100,200,300 bireylik popülasyonlar için yukarıda belirtilen çalışmalar tekrarlanmıştır. Hesaplanan ortalama hata sayıları tablolar şeklinde sunulmuştur. Simülasyon sonuçları kullanılan metodun başarımının kabul edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Güç Kalitesi, Gerilim Düşümü Kestirimi, Genetik Algoritma

ABSTRACT

MSc Thesis

VOLTAGE DROP ESTIMATION IN POWER SYSTEMS WITH FLEXIBLE CALCULATION METHODS

Sümeyye ÇOLAK

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronic Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hasari KARCİ
Year: 2022, Page: 129

In this study, the number of voltage drops on buses caused by a three-phase short-circuit fault in electrical distribution systems was tried to be estimated using genetic algorithm. By using the voltage drop numbers measured by the monitors placed in such a way as to record all voltage drops occurring in the electrical distribution system, the number of voltage drops in the busses without a monitor has been tried to be estimated. Mathematical models of IEEE-24 Bus, IEEE-30 Bus, IEEE-118 Bus and IEEE 145 Bus electricity distribution networks have been created using Octave. The genetic algorithm library of the Octave program was used for the estimation of the voltage drop numbers, and a function and mutation function that formed the population individuals in accordance with the characteristics of the problem were written in order to increase the performance. The performance of the developed software has been tested with simulations for IEEE-24 Bus, IEEE-30 Bus, IEEE-118 Bus and IEEE 145 Bus electrical distribution systems. For each distribution system, the voltage drops of randomly selected unmonitored buses for threshold values of 0.1, 0.2 and 0.3 were tried to be estimated. The obtained results were compared with the actual voltage drop numbers and the obtained error numbers were found. Taking into account the random feature of the genetic algorithm, 10 simulations were made for each case. The mean values of the errors obtained from these simulations were calculated. Since population size is a parameter that affects performance in the genetic algorithm, the above-mentioned studies were repeated for populations of 20,50,100,200,300 individuals. The calculated average error numbers are presented in tables. The simulation results show that the performance of the method used is at an acceptable level.

KEYWORDS: Power Quality, Voltage Sag Estimation, Genetic Algorithm

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamı yürüttüğüm dönemde bana sabır gösteren, engin bilgi ve tecrübesini esirgemeyen, sürekli yol gösteren saygıdeğer danışmanım Dr. Öğrt Üyesi Hasari KARCİ'ya,

Lisansüstü eğitimime başladığım andan bu yana deneyimleri ile destek olan saygıdeğer hocam Ögr. Gör. Dr. Buket SONBAŞ'a

Lisansüstü hayatımda yanımda olan ve beni eğitimimi tamamlamam için teşvik eden yol arkadaşım M.Veysel ÇOLAK'a,

Lisansüstü eğitim hayatım boyunca her türlü zorluğa rağmen yanımda olan, desteklerini hiç esirgemeyen, motivasyonumu yüksek tutmak için sürekli çaba harcayan, yardımcı olan, dualarını üzerimden eksik etmeyen bu hayattaki en değerli varlıklarım, annem ve babama, geniş aileme sonsuz sevgi ve saygı ile teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1.Gerilim düşmesi örnek diyagramı 9
Şekil 3.2. Gerilim yükselmesi örnek diyagramı 10
Şekil 3.3. Gerilim kesintileri örnek diyagramı 11
Şekil 3.4 Harmonik bozulma örnek diyagramı.....12
Şekil 3.5. Genetik algoritma işlem basamakları 19
Şekil 3.6. Bir ayrım noktasına göre çaprazlama yöntemi 23
Şekil 3.7. İki ayrım noktasına göre çaprazlama yöntemi 23
Şekil 3.8. Kısmi planlı çaprazlama yöntemi.....24
Şekil 3.9. Tamamlanmış kısmi çaprazlama.....24
Şekil 3.10. Uniform çaprazlama yöntemi.....25
Şekil 3.11. Kes- ekle çaprazlama yöntemi 25
Şekil 3.12. Sıralı çaprazlama yöntemi.....26
Şekil 3.13. Pozisyon tabanlı çaprazlama: 27
Şekil 3.14. Sıra tabanlı çaprazlama yöntemi 27
Şekil 3.15. Dairesel çaprazlama yöntemi 28
Şekil 3.16. Mutasyon işlemi gerçekleştirilmiş hücre.....29
Şekil 3.17. Temel mutasyon yöntemi 29
Şekil 3.18. Karşılıklı gen değişimi mutasyon yöntemi.....30
Şekil 3.19. Yer değiştirme mutasyon yöntemi 30

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 4.2. $th = 0.2$ değerine göre IEEE-24 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri 40
Çizelge 4.3. $th = 0.3$ değerine göre IEEE-24 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri 41
Çizelge 4.4. $th = 0.1$ değerine göre IEEE-30 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri 42
Çizelge 4.5. $th = 0.2$ değerine göre IEEE-30 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri 42
Çizelge 4.6. $th = 0.3$ değerine göre IEEE-30 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri 43
Çizelge 4.7. $th = 0.1$ değerine göre IEEE-118 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri 44
Çizelge 4.8. $th = 0.2$ değerine göre IEEE-118 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri 45
Çizelge 4.9. $th = 0.3$ değerine göre IEEE-118 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri 46
Çizelge 4.10. $th = 0.1$ değerine göre IEEE-145 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri 47
Çizelge 4.11. $th = 0.2$ değerine göre IEEE-145 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri 48
Çizelge 4.12. $th = 0.3$ değerine göre IEEE-145 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri 49

1.GİRİŞ

Elektrik enerjisi başka enerji türlerine kolaylıkla dönüştürülebilmesi ve kullanım alanlarının geniş olması sebebiyle modern toplumların ve endüstrinin vazgeçilmez bir öğesidir. Teknolojik gelişmelerle birlikte elektrik enerjisinin tüketimi sürekli olarak artmaktadır. Bu durum elektrik enerjisinin üretiminden tüketimine kadar her aşamasının gelişmesini sağlamıştır (Apay ve Yumurtacı, 2008). Elektrik enerjisinin üretimi arttıkça enerji güvenirliliği, sürekliliği ve güç kalitesi önem kazanmaktadır. Elektrik enerjisinin kullanıcı tarafından kayıpsız ve kesintisiz olarak kullanılabiliyor olması güç kalitesi olarak tanımlanmaktadır (Velayati, 2009). Bir diğer ifade ile elektrik enerjisinin akım ve gerilim değerlerinin ideal ölçütlerde olması güç kalitesi olarak ele alınmaktadır (Apay ve Yumurtacı, 2008). İdeal ölçüde olmayan durumlar ise güç kalitesi problemleri olarak tanımlanır (Ercire ve Ünsal, 2021). Güç kalitesi elektrik enerjisinin gelişimi oranında artış gösteremediğinden dolayı kalite problemleri ortaya çıkmaktadır (Akyel ve Gökalp, 2011). Güç kalitesi problemleri güç kaynağında oluşabilecek herhangi bir arıza durumunda donanım ve müşteri açısından tercih edilmeyecek durumları oluşturabilmektedir. Elektrik sistemlerinde enerji kalitesini korumak, güç kayıplarının önüne geçebilmek, ekonomik olarak oluşabilecek zararları önlemek ve kayıpların tespitini yapmak üretici ve tüketici açısından önem kazanmaktadır (Özdemir, 2009; Meral, 2009).

Güç sisteminin büyük yükler ve büyük sistemlerde sorunsuz çalışması istendiğinden güç kalitesi problemleri önemli bir parametre olmaktadır. Sistemlere bağlanan ark fırınları, konverterler, güç elektroniği elemanları, statik Var kompanzatörleri gibi yükler de güç kalitesi problemlerine sebep olurlar (Eroğlu ve Aydın, 2009). Güç kalitesi problemleri; gerilim dalgalanmaları, gerilim yükselmesi, gerilim düşmesi, gerilim dengesizliği, kesinti ve harmonik bozulma olarak ele alınmaktadır (Bollen, 2003; Mahfoud, 2019). Güç kaynağında uzun süreli kesintilerin olması da güç kalitesini değiştiren etmenler arasındadır. Akımda oluşabilecek birkaç milisaniyelik kesintiler veya azalmalar direkt hataya neden olabilmektedir. Ayrıca yüksek frekanslı sinyaller ve gerilimde oluşabilecek

dalgalanmalar güç kalitesini düşüren ve istenmeyen etmenlerdir (Ercire ve Ünsal, 2019). Güç kalitesi problemlerinin oluşması elektrik üretiminde ve dağıtımında yer alan güçlü ve hassas cihazlarda istenmeyen durumlar oluşturabilmektedir. Bu cihazlardan bazıları doğru akım ve alternatif akım motor sürücüleri, programlanabilir mantık denetleyicileri, anahtarlamalı güç kaynaklarıdır.

Güç kalitesi son kullanıcı temel alınarak ele alınan bir konudur. Enerjinin kullanıcıda herhangi bir hataya ya da arızaya sebebiyet vermesi durumunda güç kalitesi problemlerinden bahsedilebilir (Özdemir, 2020). Son kullanıcıda istenmeyen güç kalitesi problemlerinin önüne geçebilmek, etkilerini azaltabilmek için tespit çalışmalarının yapılması gerekmektedir (Apay ve Yumurtacı, 2008).

Güç kalitesi problemlerinin azaltılması ya da ortadan kaldırılması için çeşitli mühendislik çalışmaları mevcuttur. Amaç güç kalitesi problemlerinin ortaya çıkaran sebeplerin azaltılması ya da problemlerin tahmin edilip oluşmadan önce gerekli tedbirlerin alınmasıdır (Tacı, 2018). Güç kalitesi problemlerinin tespit edilmesi daha ileri zamanlarda alınacak olan tedbirlerin faaliyetini belirleyecek önemli etmenlerdendir (Kesler, 2010). Tespit hatalı veya eksik yapılırsa cihazların daha fazla zarar görmesine ve maliyetin artmasına sebep olabilmektedir. Güç kalitesi problemlerine çözüm ararken öncelikle problem tanımının iyi yapılması ve bununla beraber uygulanacak çözüm yollarının ideal veya ideale en yakın şekilde olması gerekmektedir.

Gerilim düşmesi güç kalitesi problemleri içerisinde yaygın olarak görülen problemlerdendir. Gerilim düşmeleri sistemde direkt kesintiye neden olmasa da kullanılan hassas ekipmanlarda istenmeyen aksaklıklara sebep olabilmektedir. Gerilim düşümleri sisteme yüksek güçlü cihazların bağlanmasıyla veya sistem arızalarından dolayı oluşabilmektedir (Müh, 2007). Gerilim düşümleri kısa süreli gerçekleşse de yarattığı maddi kayıplar yüksek olabilmektedir (Özdemir, 2009; Özdemir, 2020). Yüksek maddi kayıpların önüne geçebilmek ve sistemin düzgün çalışabilmesi için gerilim düşümlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Sistemlerde besleme kaynak gerilimine ek farklı kaynakların kullanılması, dinamik gerilim

düzenleyicileri, kesintisiz güç kaynakları veya sabit gerilim transformatörleri gibi cihazlar ile gerilim düşümlerinin önüne geçilmeye çalışılır (Gencer, 2005).

Gerilim düşümlerinin tespit edilebilmesi için istatiksel yaklaşım yöntemi ve güç kaynaklarının izlenmesi yöntemi kullanılmaktadır. İstatiksel yaklaşım yöntemi ile güç kalitesi problemlerinin tespit çalışmaları yapılmaktadır. Bu tespit çalışmasında geçmiş hata verileri kullanılarak gerilim düşümü durum kestirimi yapılmaktadır (Arıkan ve Özdemir, 2012). İstatiksel yaklaşım geçmiş hata verilerini kullanarak uzun süreli hata kestirimleri için tercih edilse de yıllara göre kestirim verileri için iyi sonuçlar sunmamaktadır. Çünkü yıllar arasında hata büyüklükleri ve süresi farklılıklar gösterebilmektedir. Hatanın büyüklüğü ve süresi istatiksel verileri izleme yöntemiyle elde edilebilmektedir. Gerilim düşümlerinin tespiti için önerilen izleme yöntemi; gerçek ölçüm ile istatiksel ölçüm arasındaki hata oranını en aza indirmeyi amaçlar (Olguin, 2003). İstatiksel yaklaşım yöntemine alternatif olan izleme yöntemi, elektrik sisteminde belirlenen buslara ölçüm cihazı yerleştirilip ölçüm cihazı yerleştirilmeyen buslarda oluşan gerilim düşümü kestiriminin yapılması yöntemidir. İzleme yönteminde elektrik sistemindeki tüm buslara ölçüm cihazı yerleştirmek daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlasa da ekonomik olarak maliyetlidir (Juarez ve Hernández, 2006). Elektrik sisteminde ölçüm cihazı yerleştirilecek olan buslar tüm sistemi kapsayacak şekilde olmalıdır. Ölçüm cihazının yerleştirileceği busların sayısı ve konumu tamsayılı programlama tabanlı bir modelleme ile belirlenmektedir (Olguin ve ark., 2006; Turan ve Karci, 2021). Belirlenen buslardaki ölçüm cihazları tarafından elektrik sisteminde oluşan tüm hatalar ve toplam sayılar kaydedilir. Hatanın hangi busta meydana geldiği ise kestirim yöntemleri ile elde edilebilir (Juarez ve HernÁndez, 2007).

Bu tezde gerilim düşümü kestiriminin yapılması için Octave (Eaton, 2022) programı kullanılarak IEEE-24 Bus (MATPOWER, 2022), IEEE-30 Bus (Power Systems Test Case Archive, 1993), IEEE-118 Bus (Power Systems Test Case Archive, 1993) ve IEEE-145 Bus (Power Systems Test Case Archıve, 1987) sistemleri için benzetim çalışmaları yapılmaktadır. Bu yöntem ile izlenen buslardan izlenmeyen buslardaki gerilim düşümü kestirimi genetik algoritma kütüphanesi

kullanılarak Octave programında elde edilmeye çalışılmıştır.

2.bölümde önceki çalışmalardan bahsedilmiştir. Materyal bölümünde güç kalitesinin tanımı ve önemi güç kalitesini bozan durumlar, genetik algoritma çalışma prensipleri detaylandırılmıştır. Yöntem bölümünde tez çalışmasında ele alınan gerilim düşümü problemi ayrıntılı olarak anlatılıp, gerilim düşümü sayılarının elde edilmesi detaylıca anlatılmıştır. Bulgular ve araştırmalar bölümünde genetik algoritma kullanılarak yapılan benzetim çalışmaları sunulmuştur. Sonuç kısmında çalışma konusu elde edilen veriler sonuç olarak özetlenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Gencer ve Karaaslan (2005), güç sistemlerinde gerilim düşümlerinin, işletmelerde yol açtığı büyük problemlerin önüne geçebilmek amacı ile yaptıkları çalışmada; bara gerilimi sabit tutularak dinamik gerilim düzenleyiciler kullanılarak gerilimin sabit tutulması amaçlanmıştır. Gerilim değerinin sabit tutulması 'Statik Güç Kompansazyonu' ile güç sistemlerinin eşdeğer empedanslarının değiştirilmesiyle sağlanmaktadır.

Wang ve ark (2005), bir dağıtım sisteminin gerilim düşüm performansını değerlendirmek için analitik bir yöntem açıklamaktadır. Sistemde meydana gelen bir hatanın sonucu olarak gerilim düşümlerinin süresi, şiddeti ve büyüklüğü ölçülür. Bu çalışmada gerilim düşümlerinin farklı yüklere karşı olan tolerans seviyesine göre algoritma önerilmiştir.

Güç kalitesi konusundaki artan farkındalık, ile Wang ve Xu (2005), çalışmalarında bir dağıtım sisteminin güvenilirlik performansını karakterize etmek için gerilim düşüm performansının incelenmesi sonucuna varmıştır. Bir dağıtım sisteminin her busındaki sarkma seviyesinin ölçülmesinin mümkün olmadığından, ölçülmemiş bustaki sarkma özelliklerinin kestirimini gerekli kılmıştır. Bu amaç için "gerilim düşüm durum kestirimi" kavramını önermektedir. Önerilen yöntem dağıtım sisteminin radyal, bağlantı özellikleri kullanılarak sınırlı sayıda ölçüm noktasıyla kestirim yapabilmek için en küçük kareler yöntemini kullanmaktadır.

Tayjasanant ve ark. (2005), çalışmalarında gerilim düşüm problemlerinin kaynağını bulabilmek için bir yöntem önermişlerdir. Yöntem, problemin neden olduğu gerilim ve akım değişikliklerini kullanarak gerilim düşümü olmayan kısımların eşdeğer empedansının kestirimini yapmaktadır. Önerilen yöntem, sorun giderme uygulamaları için güç kalitesi sayaçlarına veya arızaların sorumluluğunu belgelemek için dijital gelir sayaçlarına kolayca uygulanabilir.

Espinoza ve Harnandez (2007), çalışmalarında gerilim düşme durum

tahmini için yeni bir teknik sunmaktadır. Önerilen yöntem, sınırlı sayıda izlenen veri-yolunda kaydedilen düşme sayısından, izlenmeyen veri yollarında meydana gelen gerilim düşüm sayısının kestiriminin yapılmasına dayanmaktadır. Bu problem, gereksiz ölçümlerin mevcut olduğu geleneksel durum kestiriminin aksine, belirsiz bir denklem sistemi olarak formüle edilmiştir. Önerilen yöntemin performansı, IEEE 24-bus ve IEEE 118-bus Test Sisteminde benzetimleri yapılmıştır. Önerilen yöntem sonuçlarına göre bu yaklaşımın gerilim düşümü durum tahmini için yardımcı bir kaynak olabileceği sonucuna varılmıştır.

Chang ve Jang (2007), çalışmalarında güç sistemindeki arızaların neden olduğu gerilim düşüşlerinin istatiksel tahmini için bir yöntem sunmaktadır. Geliştirilen yöntem ile gerilim düşme sıklığının kestirimi için güvenlik alanı oluşturmaktadır. Geniş güvenlik alanı oluşturmak için bir kestirim yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem IEEE 30-bus test sistemine uygulanmıştır.

Arıkan ve Özdemir (2012), çalışmalarında güç kalitesi problemlerine ilk olarak ayrık dalgacık dönüşümü yöntemi uygulayıp, daha sonra istatistiksel yöntemler kullanarak çözüm aramışlardır. Yapılan analiz çalışmalarında ayrık dalgacık dönüşümü ile güç kalitesi problemlerinin başlangıç ve bitiş noktalarının belirlenebildiği fakat bozunum türlerinin tespit edilemediği görülmüştür. Bundan dolayı istatistiksel yöntem uygulanmıştır.

Liao ve ark. (2018), belirsiz çalışma koşulları altında gerilim düşme büyüklüklerinin aralıklarını kestirebilmek için CNN tabanlı bir gerilim düşüm kestirim yaklaşımı önermektedir. IEEE-68 Test sisteminde uygulanan bu yaklaşım ile gerilim düşümleri sırasındaki çalışma koşullarından bağımsız olarak farklı gerilim düşümlerinin büyüklük aralıklarının doğru bir şekilde tanımlanabileceği gösterilmiştir.

3.MATERYAL ve YÖNTEM

3.1.Materyal

3.1.1.Güç Kalitesi

Güç kalitesi akım ve gerilim değerlerinin ideal ölçülerde olması durumu olarak tanımlanmaktadır. Gerilim veya akımda dalgalanma ya da kesintiler cihazların bozulmasına, sistemin çalışmamasına ve dolayısı ile hataya sebebiyet vermektedir.

Elektrik dağıtım sistemlerinde büyük yükler ve hassas elektronik cihazlar bağlı olduğundan gerilim ve akımın kalitesi olarak nitelendirilen güç kalitesi kullanıcı için oldukça önem arz eder. Son kullanıcı tarafından kullanılan ekipmanda oluşan hata ya da arıza durumları güç kalitesine olan ilgiyi arttırmaktadır.

Güç kalitesi problemlerinden olan gerilim dalgalanmaları, gerilim yükselmesi, gerilim düşmesi, gerilim dengesizliği, kesintiler ve harmonik bozulmalar bu bölümde ele alınacaktır.

Gerilim dengesizliği; üç fazlı güç sistemlerinde 120°'lik faz açılarıyla birbirine bağlı ve her üç fazın aynı büyüklüğe sahip akım ve gerilim değerleri mevcut ise bu sistem dengeli sistem olarak adlandırılır. Bu koşulların herhangi biri sağlanamıyorsa bu sistemler dengesiz sistemler olarak adlandırılır (Kusko, 2007). Tek fazlı ya da iki fazlı yüklerde fazlar arası dengenin sağlanması üç fazlı sistemlere göre nispeten daha zordur. Üç fazlı sistemlerde yükler arası dengeyi sağlamak daha kolay iken tek faz veya iki fazlı sistemlerde yükün dağılım dengesini sağlamak zordur. Bu yüzden üç fazlı sistemlerde gerilim dengesizliği daha azdır (Yüksel, 2022).

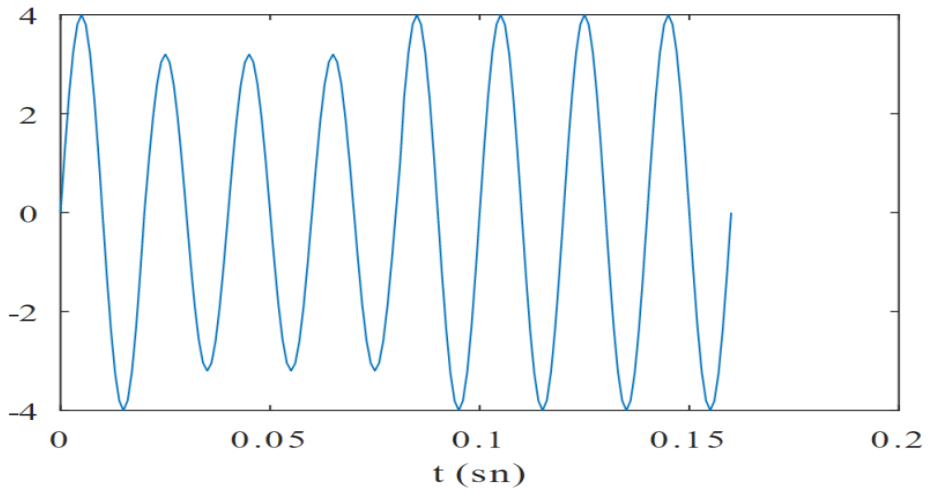
Yüksek ve orta gerilim olan sistemlerde sisteme bağlı yükler çoğunlukla üç fazlı ve dengeli sistemlerdir. Alçak gerilim olan sistemler ise genellikle tek fazlıdır ve bu yüklerde dengenin sağlanması zordur (Apay, 2008). İstisnai bir durum olarak

tek fazlı veya iki fazlı olan AC tren hatları ve indüksiyon fırınlarında denge sağlanabilmektedir (Apay, 2008). Gerilim düşmelerine sebebiyet veren faz-faz, faz-nötr ve açık devre hataları sistemlerde dengesizliğe sebep olmaktadır. Gerilim dengesizliği bina aydınlatması ve teknolojik cihazlarda sorun oluşturabilmektedir. Dağıtım sistemindeki gerilimin olması gereken standart değeri ile karşılaştırma yapılarak gerilim dengesizliği kolaylıkla tespit edilebilir.

Gerilim dalgalanması; normal şartlarda şebeke geriliminin olması gereken değer 220 veya 380 Vrms civarıdır. Şebeke gerilimleri sinüs dalga formuna sahiptir. Sinüs dalga formları $V(t) = Asin(wt - \Phi)$ şeklinde matematiksel olarak ifade edilmektedir (Igual, 2018). Bu ifadede A şebeke geriliminin maksimum değeri iken, w, Φ sırası ile sistemin frekansı ve faz değeridir. Şebeke geriliminin nominal değerin altına düşmesi veya üstüne çıkması durumu gerilim dalgalanması olarak ifade edilir. Ark fırınları, kaynak makineleri gibi yük akımında ve reaktif bileşende ani ve hızlı farklılıklar oluşturan cihazlar gerilim dalgalanmalarına sebep olurlar (Uçar, 2019). Gerilim dalgalanması temel aydınlatma cihazlarındaki ışık yoğunluğunda kırpışmalara sebep olur. Işık kırpışması; ışık şiddetinin azalıp artması şeklinde oluşan hareketlerdir. Dalgalanmalar sonucu elektronik tertibat zarar görürken, sabit gerilim değerine ihtiyaç duyan cihazların performansları düşmektedir.

Gerilim sönümleyicileri kullanılarak, elektrik gel-gitlerinden nötr bağlantısının kopmasına kadar bir dizi konuda sistemler ve cihazlar koruma altına alınabilir.

Gerilim düşmesi; 0-5 periyottan 1 dakikaya kadar geçen sürede gerilimin nominal etkin değerinin %10-%90 aralığında düşmesi olarak tanımlanmaktadır ("IEEE Std-1159, 2009). Şekil 3.1'de gerilim değerinin 0-0.1 sn aralıklarında düştüğü görülmektedir. Bu gerilim düşmeleri hassas cihazların düzgün çalışmasını engeller ve büyük yüklerde arıza meydana getirebilir.



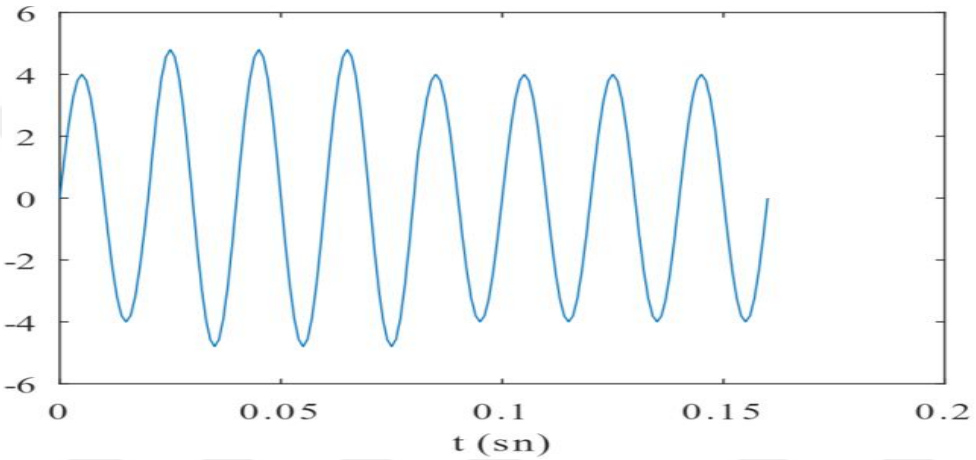
Şekil 3.1.Gerilim düşmesi örnek diyagramı

Gerilim düşmesi güç sistemlerinin nominal çalışma şartlarının dışında istenmeyen durumlardan biri olarak ele alınır. En sık görülen ve tüketicinin en çok etkilendiği sorunlardan biri olan gerilim düşmesi güç kaynaklarında oluşan arızalara bağlıdır (Müh, 2007). Endüstride gerilim düşmesi gerilim kesintileri kadar zarar oluşturmasa da gerilim düşmesinin sayısı kesintiye oranla daha fazla olduğu için verdiği toplam zarar daha fazladır ve gerilim kesintilerinden daha geniş açıdan incelemeler gerektirmektedir. Gerilim düşmelerinin daha fazla dikkate alınmasının sebebi bilgisayar, kontrol cihazları ayarlanabilir hassas ekipmanlar üzerinde yarattığı istenmeyen durumlardır (Gencer, 2005). Bu ekipmanlarda nominal gerilimin etkin değerinin minimum iki periyottan daha uzun bir süre %90'ın altında bir değerde olursa sistemdeki cihazlar hasar görebilir. Bu nedenle öncelikli olarak gerilim düşümlerinin tespit edilmesi ve sebeplerinin bulunması gerekmektedir.

Gerilim düşümlerini en aza indirmek için kısa devre gücünün arttırılması, elektrik koruma cihazlarının performansının arttırılması gibi çalışmalar yapılmaktadır (Avşaroğlu, 2004). Gerilim düşmelerinin sayısını, süresini, derinliğini hesaplama ve sistemlerde kullanılan ekipmanların bağışıklığını arttırma ya da ek besleme kaynakları kullanarak gerilim düşümü sayısında azaltma sağlanabilir.

Gerilim Yükselmesi; Temelde gerilim düşmelerinin tam tersidir. Şebeke

frekansındaki gerilimin etkin değerinin 0,5 ila 1 dakika arasında oluşan gerilim artışıdır. Sistem arızalarına bağlı olarak meydana gelen gerilim yükselmeleri birçok yönden gerilim düşmeleriyle benzer sebeplerden meydana gelirken, sisteme verdikleri zarar gerilim düşmesinden daha fazladır. Büyük yükler ve büyük kapasitörlerin devreye giriş ve çıkışlarında gerilim yükselmeleri meydana gelebilmektedir. Gerilim yükselmelerinin tespiti gerilim düşmesi kadar kolay fark edilmemektedir.



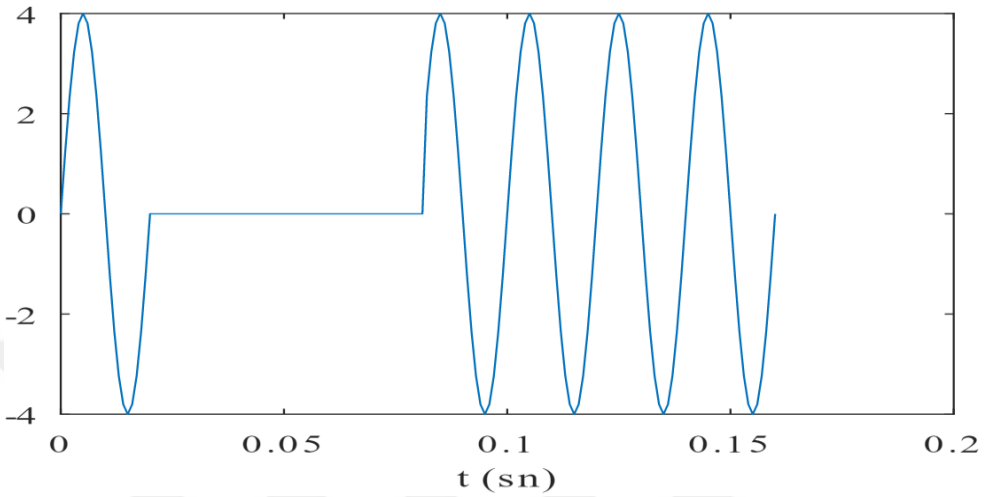
Şekil 3.2. Gerilim yükselmesi örnek diyagramı

Şekil 3.2'de göründüğü gibi 0.02 ile 0.08 sn zaman aralıklarında gerilim artışı gözlenmektedir. Gerilim yükselmeleri bilgisayar donanımlarını, motor sürücülerini olumsuz yönde etkilemektedir. Gerilim yükselmelerinin önüne geçebilmek için dinamik gerilim düzenleyiciler veya sabit gerilim transformatörleri kullanılabilmektedir (Uçar, 2019).

Gerilim kesintileri; şebeke geriliminin belli bir süre zarfında tamamen kaybı olarak ele alınır. Kesintiler oluşum sürelerine göre farklı adlandırılırlar. IEEE-1159, 2009 standardında ayrıntılı olarak üç sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar: Ani (0,5 periyot–30 periyot arası), anlık (30 periyot–3 s arası) ve geçici (3 s–1 dk.) kesintilerdir.

Gerilim kesintisi, sistemdeki tüm alıcıların enerjisini kestiği ve üretimin gecikmesine yol açtığı için tesisler üzerindeki etkisi fazla olan güç kalitesi problemlerindendir. Kısa süreli kesintiler 'ani kesinti' olarak tanımladığımız

kesintiler dahi endüstride önemli ölçüde maddi hasara neden olmaktadırlar. Örneğin bir plastik üretim fabrikasında 0,5 sn'lik kısa süreli bir kesinti sonrası fabrikanın üretime dönme süresi yaklaşık 6 saattir (Eroğlu ve Aydın, 2009).



Şekil 3.3. Gerilim kesintileri örnek diyagramı

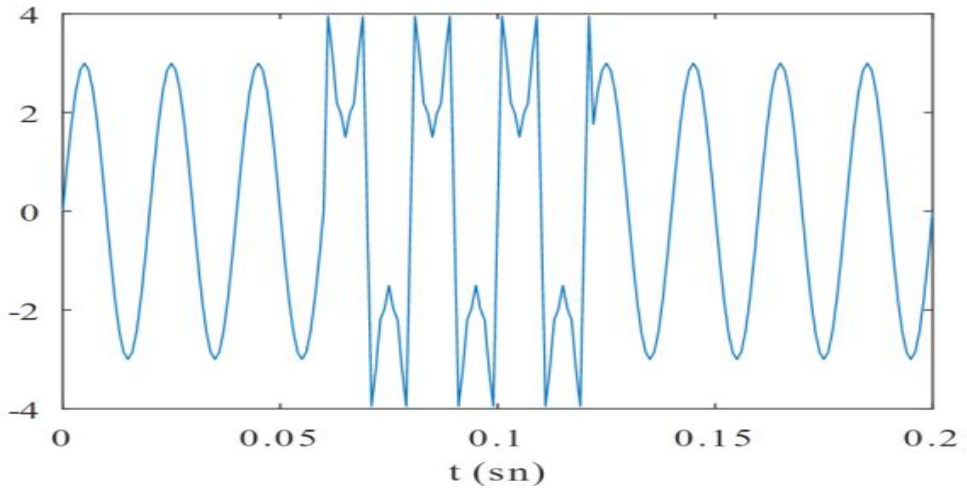
Şekil 3.3'te görüldüğü gibi 0.02 ile 0.08 sn zaman aralığında gerilim kesintisi yaşanmıştır. Gerilim kesintilerinin süresi koruma cihazının devreye alınmasına kadar geçen süreyle belirlenir. Sisteme büyük cihazların ve büyük yüklerin bağlanması gerilim kesintilerine sebebiyet vermektedir. Aynı zamanda hassas elektronik cihazların zarar görmesi, koruma cihazlarının lüzumsuz yere arıza açması da kesintilere sebep olan parametrelerdendir.

Harmonik bozulma; güç kalitesi problemlerinden biri olan harmonikler sinüs formundaki akım veya gerilimin temel frekansının katlarının da sistemde görülmesini ifade eder. 50Hz frekans değerine sahip temel sinüzoidal dalga şekli elektrik sistemlerinde tercih edilen ideal sinüs dalga formudur. Harmonik bu temel sinüs dalgasının tam sayı katlarındaki sinüs dalga formuna sahip akım ve gerilimler olarak ifade edilmektedir (Akyel ve Gökalp, 2011).

$$v(t) = A_0 + A_1 Sin\, w_0 t + \sum_{k=2}^{N} (A_k\, Sin\, k\, w_0 t) \qquad (3.1)$$

İdeal durumda A_0ve k≥2 için A_k katsayıları sıfır olmalıdır.

A_k katsayısı k≥2 durumunda A_k≠0 durumunda sistemde harmonik bozulma vardır.



Şekil 3.4 Harmonik bozulma örnek diyagramı

Güç sistemlerinde harmonikler sebebi ile akım ve gerilim karakteristiğinin bozulması en önemli güç kalitesi sorunlarındandır. Son yıllarda teknolojinin gelişmesi güç elektroniği ekipmanlarının artışı harmoniklere olan ilgiyi daha da arttırmıştır. Harmonikler sisteme bağlı olan cihazların ve yüklerin doğrusal olmayan durumlarından dolayı meydana gelir. Harmonikler güç sistemlerinde belirli aralıklarda kalmalıdır. 1kV altındaki hatlarda azami %5, maksimum bozulma ise %8 ile sınırlı kalmalıdır (Küçük vd., t.y.). Bu değerler günlük olarak %99 haftalık olarak ise %95 oranında sağlanmalıdır (IEC Std-512,2014).

Başlıca Harmonik Kaynakları; Güç elektroniği içeren tüm cihazlar (Eviriciler, Çeviriciler, Bilgisayarlar, Doğrultucular, Tristörler), ark ocakları, kaynak makineleri frekans dönüştürücüleri AC/DC dönüştürücüler (Şahin, 2003).

Güç sistemlerinde harmonikler; kablolarda ve elektronik cihazlarda ısınmalara, cihazlarda mekanik titreşimlere, cihazlarda normal olmayan çalışmalara, koruyucu ekipmanların açılmasına, elektronik kart arızasına ve büyük ölçüde enerji kayıplarına neden olmaktadır (Gökozan, 2011). Harmonik bozulmaları önlemek amacı ile öncelikli olarak seçilecek olan ekipmanların nominal değerlerinden daha büyük değerlere ayarlanmasıyla kısmen bozulmaların önüne geçilebilir. Aynı zamanda hat üzerindeki empedans değerini artırarak bir bakıma özel bağlantılı transformatörler kullanılarak güç değeri sınırlandırılabilir. Bir diğer yöntem pasif filtre devreleridir. Pasif filtre devreleri sistemdeki harmonik bozulmaları iyileştirerek

ideal sinüs dalga formuna dönüştürecektir.

Güç kalitesi problemlerini oluşturan gerilim dalgalanması, gerilim düşmesi, gerilim yükselmesi, gerilim dengesizliği, gerilim kesintisi ve harmonik vb. gibi problemler gün geçtikçe etkisini arttırmaktadır. Bu problemlerin artmaması ve azaltılması için problemlerin tespitinin iyi yapılması ve buna göre iyileştirme çalışmalarının başlaması gerekmektedir.

Gerilim düşümlerinin tespiti için önerilen izleme yönteminde sistemde seçilen buslara ölçüm cihazı yerleştirilir. Ölçüm cihazı yerleştirilen buslar belli metotlarla belirlenmektedir (Turan ve Karci, 2021; Olguin ve ark., 2006). Ölçüm cihazı yerleştirilmeyen buslarda oluşan gerilim düşümlerinin kestirimi için Octave genetik algoritma kütüphanesi kullanılmıştır.

3.1.2. Genetik Algoritma

Genetik algoritma(GA) işleyiş yapısı doğal seçilim ilkesine benzetilerek tasarlanan bir arama ve iyileştirme yöntemidir (İşçi 2003). Evrimsel hesaplama dalının bir bölümü olan GA en iyi sonucu veya en iyi sonuca yakın bir sonuç elde etmeyi amaçlar. GA geleneksel yöntemlerin çözmekte zorlandığı kompleks yapılar için uygulanmaya başlanmıştır. Daha sonra genişleyen ve kullanım alanı artan bir yöntem olmaktadır (Lambora ve ark., 2019). GA evrimsel hesaplama yöntemleri kullanılarak karmaşık ve zorlu problemler için çözüm kümesi oluşturmaktadır (Man ve ark., 2001). GA'nın oluşturduğu çözüm kümeleri popülasyon olarak adlandırılmaktadır. Algoritma işleyiş mantığı, popülasyon içerisindeki iyi bireylerin çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden geçirilip daha iyi bireyler oluşturması şeklindedir.

GA problemin çözümüne tek bir arama noktasıyla başlamaz. Arama uzayının pek çok noktasından başlar. Algoritmanın eş zamanlı arama yapması GA'nın diğer arama yöntemlerine göre daha hızlı olmasını sağlamaktadır (Kuruca, 2009). GA problemlerin çözüm sürelerini kısaltıp iyi bir çözüm bulmaktadır (Özşahin ve Oral, 2010). Aynı zamanda GA problem için tek bir çözüm üretilmesinden ziyade bir çözüm kümesi üreterek en iyi çözüme ulaşmayı hedefler (Emre Avuçlu, 2019).

Genetik algoritma iş ve bilim dünyasında etkin bir şekilde kullanılmaktadır. GA birçok problemin çözümünde kullanılabilir fakat son yıllarda kompleks problemlerin çözümünde kullanılan yöntem olmaktadır. Problemlere farklı çözüm sunmakla beraber daha hızlı çözüme ulaştırdığı için birçok mühendislik çalışmalarında kullanılmaktadır (Paksoy ve Uzun, 2008).

GA'nın etkin bir çalışma alanı olan optimizasyon, problemlerin farklı alanlarda çözüm aşamasında oldukça kullanılmaktadır. Optimizasyon problemlerini fonksiyon optimizasyon ve birleşi optimizasyon olarak incelemek mümkündür. GA ile probleme en iyi çözümü daha az parametre kullanarak daha kısıtlı bir zaman diliminde çözüme ulaştırmak hedeflenir. Bu sebeple birçok farklı alanda optimizasyon gerçekleştirilebilir.

GA'nın önemli uygulama alanlarından biri de otomatik programlama ve bilgi sistemleridir**.** Bilgisayar program içeriklerinin iyileştirilmesi GA'nın en çok kullanıldığı alanlardan biridir. Bunun yanında hesaplama, içerik geliştirme, tasarım, program düzenleme gibi birçok çalışma alanı vardır (Emel ve Taşkın, 2002).

GA yapısı itibarıyla bir kestirim yöntemidir. Mekanik öğrenme alanında da oldukça kullanılmaktadır (Zeyveli, 2007). Mekanik öğrenme ile ölçülen mevcut olan verileri inceleme, anlama ve yorumlama, aynı zamanda ölçülemeyen verileri kestirim yoluyla elde etmeyi amaçlayan bir yöntemdir. Genetik algoritma probleme çözüm için araç kutusunu kullanarak en uygun yaklaşımları kullanır. GA'nın sıralama sistemleri uygulamaları, mekanik alan uygulamalarındandır.

Ekonomi ve sosyal sistemlerde yenilikçilik, strateji ve kazançların modellenmesi için GA kullanımı oldukça yaygındır. GA ile yenilik süreçlerinin izlenmesi, stratejilerin gelişim süreçleri ve kazanç getirilerinin uygun modellenmesi oldukça kullanılan alanlardandır (Emel ve Taşkın, 2002).

GA işletmelerin de birçok alanında kullanılmaktadır. Finansal uygulamalarda bu alanlardan biridir. GA finansal uygulamaları için amaç fonksiyonu oluşturur. Amaç fonksiyonları ile finansal birçok problem için kestirim ve kıyaslama parametreleri geliştirir. Problem ile kullanılan parametreler oldukça iyi eşleştirilmelidir. Bu sayede daha yüksek kazanımları olan çözümler geliştirilebilmektedir (Emel ve Taşkın, 2002).

3.1.2.1. Genetik algoritma tarihçesi

İlk kez 1960'li yıllarda John Holland tarafından ortaya atılan GA geleneksel yöntemlerle çözülemeyen büyük ve karmaşık problemlerin çözümünde kullanılmıştır. Holland Darwin'in evrim teorisinden yola çıkarak doğadaki canlıların yaşamını esas alarak bilgisayar tabanlı bir arama yöntemi sunmuştur. Holland tek bir yapının geliştirilmesi yerine yapının oluştuğu toplumun geliştirilerek çaprazlama, mutasyon gibi işlemlerle daha iyi yeni yapıların oluşmasını sağlayıp, geliştirdiği yöntemi genetik algoritma olarak sunmuştur.

Holland'ın 1975'te çıkarttığı 'Doğal ve Yapay Sistemlerde Adaptasyon' adlı kitapta yapay problemlerin çözümünde evrimsel süreçlerin uygulanabilirliğinden bahsetmiştir (İşçi, 2003). Aynı zamanda GA ile gerçekleştirdiği optimizasyon problemleri yer almaktadır.

GA ilk ismini biyolojiden alırken ikinci ismini bilgisayar biliminden almaktadır (Holland, 1992). John Holland'ın ortaya attığı genetik algoritma yöntemi daha sonra öğrencileri ve meslektaşlarının çalışmalarıyla geliştirilmiş ve birçok alanda uygulama alanı bulmuştur.

1985 yılında Golberg GA'yı rastgele arama yöntemi kullanan ve parametrelerin kodlanması esasına dayanarak geliştirilmiş bir arama yöntemi olarak tanımlamaktadır. Golberg GA'yı kullanarak gaz borularının denetimi ile ilgili çalışma yapmıştır ve GA'nın pratik kullanımının mevcut olduğunu kanıtlamıştır (Golberg, 1994).

1992 yılında John Koza genetik programlamayı genetik algoritma uygulamasını kullanarak geliştirmiştir. John Koza genetik algoritmayı sorunları çözebilecek programlar geliştirebilmek için kullanmıştır (Koza, 1992).
"

3.1.2.2. Genetik algoritma terimleri

Gen; biyolojide kromozom üzerindeki en anlamlı yapı taşı olarak tanımlanan gen, genetik algoritmada kromozom üzerinde bulunan karakterin ortaya çıkmasında etkili olan kısımdır. GA'da genlerin içeriği ve yapısı tamamen ilgilenilen problemle alakalıdır. Bazı problemlerde genler bitlerden oluşup 0 ve 1 şeklinde değerler alırken, bazı problemlerde ise reel sayı ve tamsayıların oluşturduğu veri yapıları ile ifade edilebilirler. Her gen problemin çözümünde kullanılan bir özelliğe karşılık gelir. (Balın, 2010).

Kromozom; biyolojide DNA'ların protein zincirine sarılmasıyla meydana gelen ve canlılarda bir sonraki nesle aktarılacak kalıtımı sağlayan genetik birimdir. Canlıların türüne göre kromozom sayılarında farklılıklar görülebilmektedir. Genetik

algoritmada ise problem için sunulan çözüm toplulukları kromozomlardan oluşmaktadır. Popülasyondaki çözümlerin tüm özelliklerini barındırdıklarından kromozomlar birey olarak ifade edilebilmektedir. Her birey temsil ettiği çözüm hakkında bilgiler taşımakta ve bu bilgiler dizi halinde kodlanmaktadır. Kodlama bilgilerin bilgisayar tabanlı sistemlerde daha rahat ve hızlı işlenmesini sağlamaktadır. GA'da problem yapısına göre değişkenlik gösterse de genellikle kodlama ikili sisteme göre yapılmaktadır (Paksoy ve Uzun, 2008).

Popülasyon; belirli alanlarda yaşayan aynı türden organizmaların meydana getirdiği topluluğa popülasyon denir. Genetik algoritmada kromozomlar birleşerek popülasyonu ve dolayısı ile çözüm kümesini oluştururlar Bazı GA uygulamalarında popülasyon büyüklüğü dinamik olarak değiştirilirken, genellikle popülasyon büyüklüğü algoritmanın işleyişi boyunca sabit tutulur.

Uygunluk değeri; bir bireyin hayatta kalma durumunu yani uyumunu gösteren değerdir. Doğada uygunluk değeri yüksek olan bireylerin yaşama ve eş bulma olasılıkları daha yüksektir. Doğal seçilim ile uygunluk değeri yüksek olan bireylerin üreme ihtimali de yüksek olmaktadır. Böylelikle uygunluk değeri yüksek bireylerin genetik materyali sonraki nesillerde daha yaygın olmaktadır. GA'da her bireyin uygunluk değeri uygunluk değer fonksiyonu (fitness fonksiyonu) ile hesaplanarak problemi ne ölçüde çözebildiğinin ölçütü elde edilir. Bu ölçüt kullanılarak bireyin seçilim ihtimali hesaplanır. Uygunluk değeri yüksek bireylerin seçilim ihtimali de yüksek olur.

Seleksiyon(seçim); popülasyonda uyum değeri yüksek olan bireylerin, diğer bireylere göre bir sonraki nesile kendi genetik materyallerini vermesi ve özelliklerinin yaygınlaşmasına seleksiyon (seçim) denir. Seleksiyon sayesinde hayatta kalabilen bireyler seçilirken, uygunluk değeri düşük olan bireyler yok edilir. Böylece bireylerin uygunluk değerini düşüren genler popülasyondan azaltılırken, iyi genlerin frekansı artar. GA' da yeni nesillerin üretilmesi işlemi çaprazlama ile yapılır. Seleksiyon ile çaprazlama işlemine girecek olan bireyler uygunluk değerine göre seçilir. Değeri yüksek olan bireyler birden fazla defa seçilebileceğinden bir

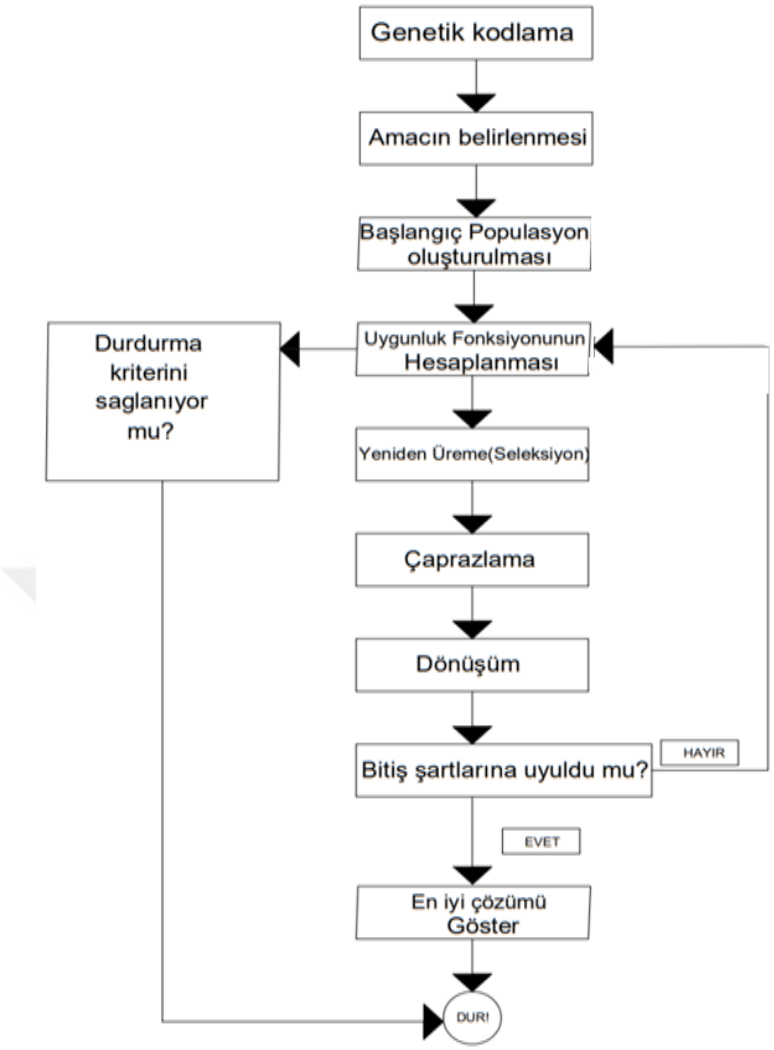
sonraki nesilde iyi genlerin frekansı artarken, iyi genlerin korunma ihtimali de artmış olur.

3.1.2.3. Genetik algoritma uygulama basamakları

Genetik algoritmanın probleme uygulanabilmesi için problemin bilgisayar tabanlı sisteme kodlama ile tanımlanması gerekir. Problem tanımlandıktan sonra başlangıç popülasyonu rastgele seçilmektedir. Ancak bazı uygulamalarda problemin çözümünü hızlandırmak için başlangıç popülasyonu belli kurallar dahilinde yine rastgele olarak belirlenebilmektedir.

Popülasyon için belirlenen bireylerin uygunluk fonksiyon değerleri hesaplanır. Belirlenen yüksek uygunluk değerine sahip bireylerden yeniden üreme ve çaprazlama işlemleri ile daha yüksek uygunluk değerine sahip bireyler elde edilmeye çalışılmaktadır.

Popülasyon içerisindeki çözüm kümelerinin belli değerlere takılıp daha iyi yeni bireyler oluşturamama durumunu yok etmek için mutasyon(dönüşüm) işlemi gerçekleştirilir. Mutasyon işlemi gen değişimi yapılarak gerçekleştirilir. Mutasyon işleminden sonra elde edilen çözümler problem için uygun çözümler ise en iyi çözümü sunar. Elde edilen çözümler uygun çözümler değil ise yeniden başlangıç popülasyonu oluşturulur. Bu işlem basamakları Şekil 3.5te verilmiştir (Özsa ve Çunka 2008).



Şekil 3.5. Genetik algoritma işlem basamakları

Şekil 3.5 GA'nın bir probleme çözüm sunabilmesi için gereken işlem basamakları mevcuttur. Bu basamaklarda amaç, problem için sunulan çözüm kümelerinin en iyi çözümü vermesidir. İşlem basamakları problem için bitiş şartını sağlayana kadar devam etmektedir. Popülasyondaki çeşitliliğin azalması veya çözümün bulunmaması gibi durumlarda bulunan en iyi çözüm sunulur.

Genetik kodlama; GA'nın en önemli basamaklarından biri olan kodlama mevcut problemin olası çözümlerinin genetik karşılığıdır. Kodlama işlemlerinde yaygın kullanım şekilleri binary kodlama, grey kodlama ve gerçel sayı ile kodlama yöntemleridir. Problem yapısı hangi tür kodlamayı gerektiriyorsa o şekilde kodlanır. Genetik algoritmada diziler kodlardan oluşur ve bu dizileri oluştururken dizilerin

uzunluğu veya alt ve üst parametreleri arasındaki tüm noktaları ifade edecek şekilde kodlama yaparak dizileri oluşturmak gerekmektedir.

Başlangıç popülasyonunun oluşturulması; popülasyon, algoritmanın problem için olası çözümleri sunduğu bir çözüm kümesidir. Başlangıç popülasyonu kodlanan problem yapısına göre rastgele olarak oluşturulmaktadır (Özsa ve Çunka, 2008). Başlangıç popülasyonundaki bireylerin sayısı problemin çözümünü bulmakta önemlidir. Popülasyon büyüklüğünün çok fazla olması her döngüde daha fazla birey sayısının incelenmesini gerektirdiğinden algoritmanın yavaşlamasına neden olmaktadır. Buna karşın popülasyon sayısının az olması da çözüm kümesinin dar olmasına dolayısı ile genetik havuzun küçük olmasına sebep olmaktadır, bu durum çaprazlamanın daha az bireyle sağlanmasını ve çeşitliliğin az olmasına sebep olacaktır. Popülasyon değerinin belli bir sınır değerinden sonra artması algoritmanın çalışma performansını etkileyip verimsizleştirecektir.

Problem çözümleri için oluşturulan her popülasyondaki birey sayısı farklıdır. Farklı problemlerde farklı popülasyon sayısı oluşturulabilir.

Uygunluk değerinin hesaplanması; mevcut popülasyonda bulunan iyi özelliklere sahip bireylerin daha sonra oluşturulacak olan yeni popülasyona aktarılması belli kriterler ile sağlanmaktadır. Bireylerin uyumluluk durumu veya kromozom kalitesi uygunluk değeri ile belirlenmektedir. Uygunluk değeri en yüksek olan bireyler optimum ya da optimuma en yakın çözümü veren bireylerdir. Uygunluk fonksiyonunun doğru belirlenmesi genetik algoritmanın başarısı için çok önemli bir etmendir. İyi hesaplanamamış bir uygunluk fonksiyonu değeri algoritmanın uzun süreler boyunca çalışmasına ve hatta çözüme bile ulaşamamasına neden olur.

Seçilim; ‘yetenekli olanın yaşaması’ ilkesine göre yapılmaktadır. Yeni bireylerin elde edilebilmesi için başlangıç popülasyonundan iki esas bireyin(ebeveynin) seçilmesi gerekir. Uygunluk değeri yüksek olan bireylerin yeni popülasyona seçilme olasılıkları yüksektir. Yeni popülasyondaki diğer bireyler

genetik işlemlerle oluşturulur (Paksoy ve Uzun, 2008).

Popülasyonda yer alan bireylerin hangilerinin esas birey olarak seçileceği ile ilgili çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlardan en yaygın kullanılan elitist, çark (rulet) veya turnuva yöntemleridir (Altay, 2007). Bu seçimler belli işlemlere göre yapılsa da temelinde rastgele gerçekleşen seçim yöntemlerindendir.

Rulet (Çark) Yöntemi: Popülasyondaki tüm bireylerin uygunluk değerleri hesaplanır ve bu değerler toplanarak popülasyonun toplam uygunluk değeri elde edilir. Her bir bireyin uygunluk değeri popülasyonun toplam uygunluk değerine bölünür ve bireylerin seçilebilme oranları hesaplanır. Bu çark düzeneğinde seçilebilme oranı yüksek olan bireye daha fazla alan tanınır. Bu sayede çark döndürüldüğünde uygunluk değeri yüksek bireyin seçilme olasılığı artmış olur.

Turnuva Yöntemi: Turnuva seçim yönteminde uyumlu olan bireylerin hayatta kalması, uyumsuz olan bireylerin yaşamaması temel alınmıştır (Paksoy ve Uzun, 2008). Turnuva yöntemi ile popülasyon içerisinden rastgele seçilen bireyler belli kriterlere göre gruplandırılır. Gruplanan bireyler kendi aralarında karşılaştırılır ve bu karşılaştırmada uygunluk değeri yüksek olan bireyler çaprazlama için seçilirler. Bu sayede yeni popülasyon uygunluk değeri kötü olan bireylerden arındırılmış olacaktır. Çözüme hızlı ulaştırdığı için önemli bir yöntemdir.

Elitist Yöntemi: Bu yöntem rastgele seçimler sonucu uygunluk değeri yüksek olan bireylerin seçilmeme ihtimalini yok etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde uygunluk değeri en düşük olan birey ile uygunluk değeri en yüksek olan birey yer değiştirerek yeni popülasyonu oluşturan bireylerin daha yüksek uygunluk değerine sahip olması sağlanır (Özdemir, 2017).

Rulet, turnuva ve elitist yöntemiyle seçilen bireylerin üremesi kesinleştikten sonra algoritmanın bir diğer basamağı olan çaprazlama aşamasına geçilir.

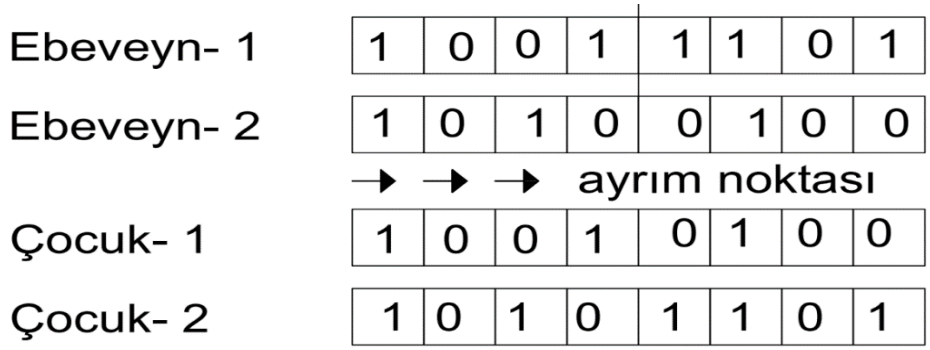
Çaprazlama; genetik algoritmanın temel operasyonlarındandır (Bolat, Erol ve

Erdem, 2004). Seçilen iki bireyden yeni çözümler elde etmek amacı ile çaprazlama işlemi yapılmaktadır. Çaprazlamanın amacı uygunluk değeri yüksek bireylerin genlerini birleştirerek uygunluk değeri daha yüksek bireyler elde etmektir (İşçi, 2003).

Algoritma parametrelerinden olan çaprazlama olasılıkları kontrol altında ve uygun seviyede tutulmalıdır. GA'da yeni birey oluşturmada önemli rol oynayan çaprazlama parametrelerinin çalışma mekanizmaları olasılık oranlarına göre değişkenlik göstermektedir (Emel ve Taşkın, 2002). Çaprazlama olasılık oranı düşük olduğunda üreme sonrası az oranda yeni ve farklı bireyin arama uzayına girmesine sebep olur (Kalinli ve Aksu 2011). Buda oluşan yeni neslin eski nesil ile aynı olmasına sebebiyet verebilir. Çaprazlama olasılığı yüksek olursa oluşacak yeni bireylerin yeni ve farklılık oranları yüksek olur. Mevcut bireylerin iyi kısımları yeni bireylere aktarılır ve yeni bireylerin mevcut bireylerden daha iyi olması beklenir. Çaprazlama işlemi için birçok farklı yöntem kullanılmaktadır (Balın, 2010; Engin ve Fığlalı, 2002).

Çaprazlama Yöntemleri: Çaprazlama işlemi seçilen bireyler arasında rastgele belirlenen konuma göre karşılıklı gen değişimidir. Oluşan bireyler kalıtsal olarak ebeveynlerin gen dizilimlerinden oluşmaktadır. Bu işlemler belli yöntemlerle sağlanmaktadır. Bunlar;

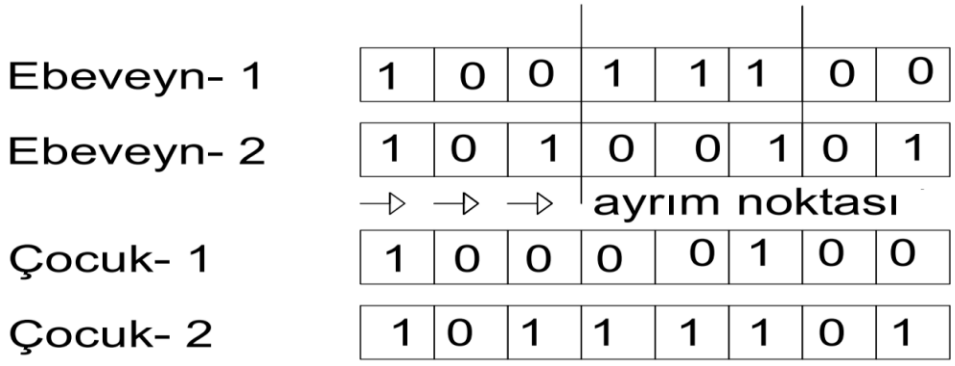
Bir ayrım noktasına göre çaprazlama; çaprazlama uygulamalarından biri olan bir ayrım noktasına göre çaprazlama işleminde, popülasyon içerisindeki iki bireyin rastgele bir ayrım noktasına göre gen dizilimlerinin karşılıklı yer değiştirmesidir (İşçi, 2003). Bir ayrım noktasına göre yapılan çaprazlama işleminde iki esas bireyden iki yeni yavru birey oluşmaktadır. Ve bu bireylerin uygunluk değerlerinin ebeveynlerin uygunluk değerinden yüksek olması beklenmektedir (Balın, 2010). Yavru bireylerin gen dizilimi Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Bir ayrım noktasına göre çaprazlama yöntemi

Oluşan birinci yavru birey ayrım noktasından önceki gen dizilimini birinci esas bireyden alırken, ayrımdan sonraki gen dizilimini ikinci esas bireyden almaktadır. Aynı şekilde ikinci yavru birey ayrım noktasından önceki gen dizilimini ikinci esas bireyden alırken, ayrımdan sonraki kısmı birinci esas bireydeki gen diziliminden almaktadır.

İki ayrım noktasına göre çaprazlama yöntemi; popülasyon içerisinde seçilen rastgele iki bireyden yine rastgele belirlenen iki ayrım noktasına göre yapılan çaprazlama işlemiyle iki yeni birey elde edilir (Altay 2007). Rastgele seçilen ayrım noktalarında dizilim üç parçaya bölünmüş olur.

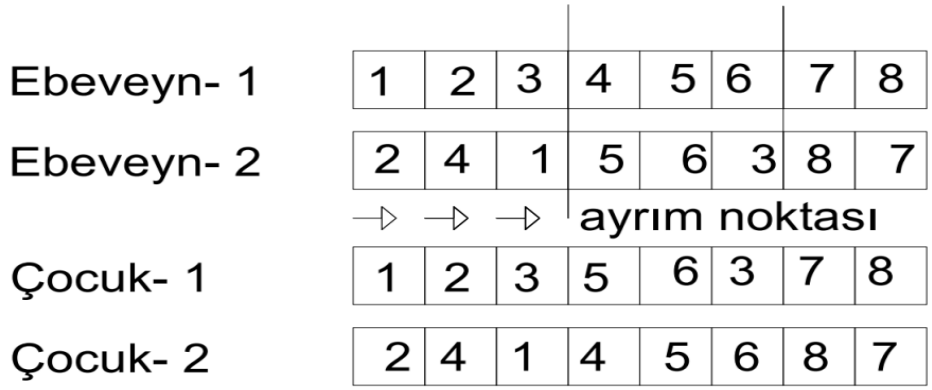


Şekil 3.7. İki ayrım noktasına göre çaprazlama yöntemi

Şekil 3.7'de verilen iki ayrım noktasına göre çaprazlama işleminde yavru bireyler iki ayrım noktası arasındaki kısmın yer değiştirmesiyle elde edilmektedir. Verilen çaprazlama örneğinde '111' ve '001' genleri karşılıklı yer değiştirmiştir. Oluşan birinci yavru birey; birinci esas birey, ikinci esas birey ve tekrar birinci esas bireyin gen dizilimine sahip olurken, ikinci yavru birey; ikinci esas birey, birinci esas birey

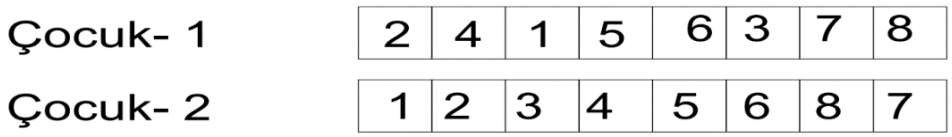
ve tekrar ikinci esas bireyin gen dizilimine sahip bireyler oluşturulur.

Kısmi planlı çaprazlama yöntemi; iki ayrım noktasına göre yapılan çaprazlama işlemlerine benzemektedir. Fakat bu metot ikili kodlama sistemi dışındaki kodlamalarda kullanılacaktır. İki ayrım noktasına göre çaprazlama yönteminde olduğu gibi iki ayrım noktası belirlenir. Birinci ve ikinci esas bireyler o ayrım noktasına göre karşılıklı yer değiştirme işlemine tabi tutulur (Balın, 2010).



Şekil 3.8. Kısmi planlı çaprazlama yöntemi

Şekil 3.8'de görüldüğü gibi iki ayrım noktası yöntemiyle yapılan çaprazlamada karşılıklı gen değişimi yapıldıktan sonra oluşan bireylerde eşleşmeyen genlere bakılır. Yeni yavru bireylerde aynı değerler okunmuştur. Bundan dolayı eşleşmeyen genler yer değiştirir ve aynı değerlerin okunması engellenmiş olur.

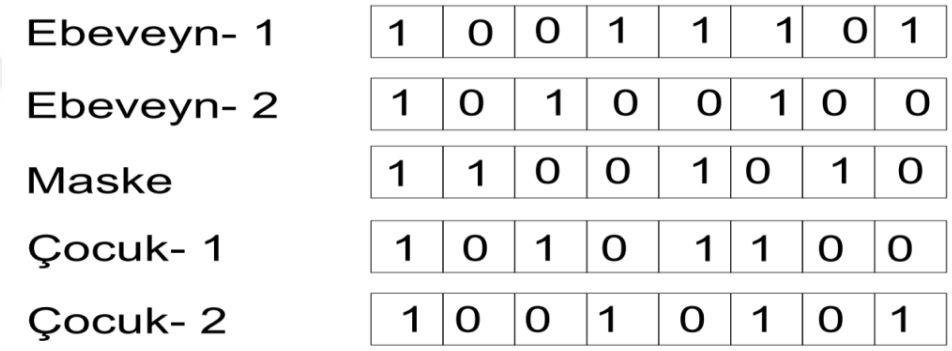


Şekil 3.9. Tamamlanmış kısmi çaprazlama

Şekil 3.9'da çaprazlamada ilk ayrım noktasına kadar olan birinci bölüm değiştirilince aynı değerlerin okunması durumu ortadan kaldırılmış ve çaprazlama tamamlanmış olmaktadır.

Uniform çaprazlama yöntemi; özel bir çaprazlama yöntemidir. n uzunluğa sahip iki kromozom arasına yine aynı uzunluğa sahip bir çaprazlama maskesi konur.

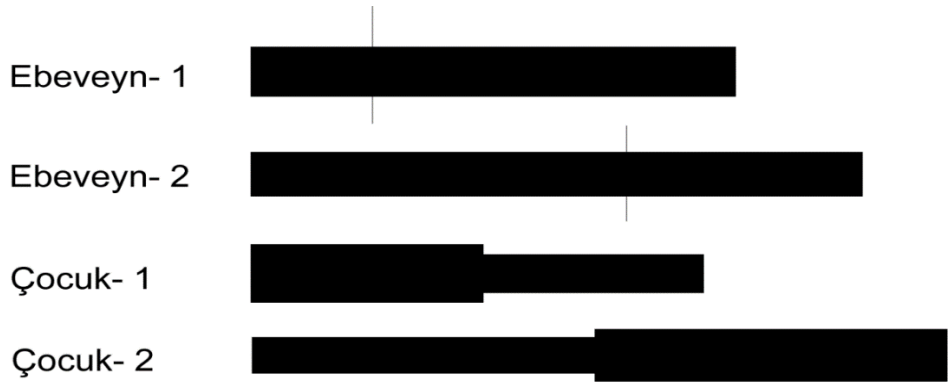
Maskeleme kromozomunun gen dizilimi, oluşacak olan yeni bireyler için gen dizilimini belirler (Balın, 2010). Oluşacak olan birinci yavru birey için gen dizilimi elde edilirken maskeleme kromozomunda eğer'1' varsa birinci bireyden eğer '0' varsa ikinci bireyden sırayla genleri alır ve yeni birey maskelemeye göre oluşmuş olur. Aynı şekilde ikinci yavru bireyi oluşturmak için tekrar maskelemeye bakılır. Eğer maskeleme kromozomunda '1' varsa ikinci bireyden ,'0' varsa birinci bireyden gen dizilimini alır ve bu işlemler sonunda popülasyondan seçilen iki bireyden maskeleme yardımıyla iki yeni yavru birey oluşmuş olur.



Şekil 3.10. Uniform çaprazlama yöntemi

Şekil 3.10'da görüldüğü gibi çaprazlama maskesi aynı uzunluğa sahiptir ve '0' ve '1' olması durumuna göre iki yavru birey oluşturmuştur.

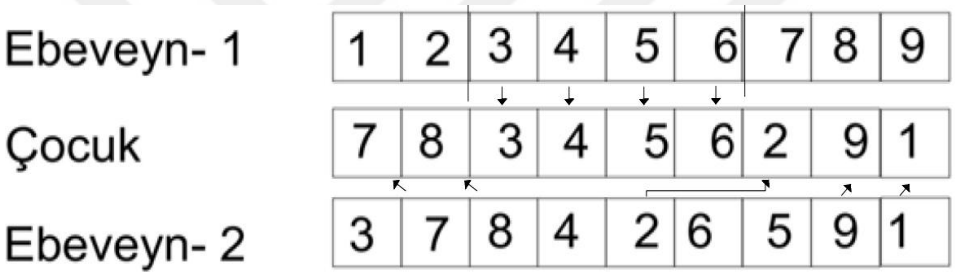
Kes ekle çaprazlama yöntemi; bu yöntemde tek ayrım noktası vardır fakat her iki esas birey için ayrı ayrı rastgele olarak seçilir (Altay, 2007).



Şekil 3.11. Kes- ekle çaprazlama yöntemi

Şekil 3.11'de verildiği gibi birinci yavrunun gen diziliminde ayrımdan önceki kısım birinci esas bireyden alınırken, ayrımdan sonraki kısım ikinci esas bireyden alınmaktadır. Aynı şekilde ikinci yavru bireyin gen diziliminde ayrımdan önceki kısım ikinci esas bireyden alınırken, ayrımdan sonraki kısım birinci esas bireyden alınmaktadır. Bu yöntem ile iki yavru birey oluşur. Fakat yavru bireylerin kromozom uzunluğunun farlı olma ihtimali yüksektir.

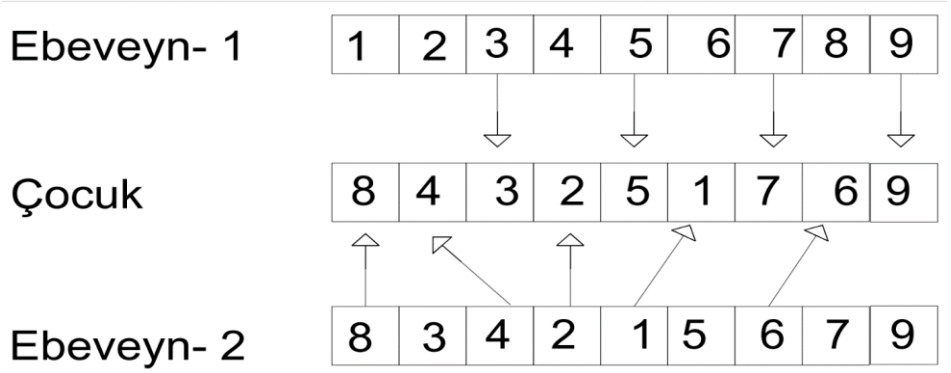
Sıralı çaprazlama yöntemi; Davis tarafından önerilmiştir (Altay, 2007). Bu yöntem iki ayrım noktasına göre çaprazlama yöntemine benzemektedir. Fakat bu yöntemde ikili sistem kullanılmamaktadır. Birinci esas bireyde rastgele seçilen iki ayrım noktası arasında kalan bölüm direkt yavru bireye aktarılır.



Şekil 12. Sıralı çaprazlama yöntemi

Yavru bireyin kalan genleri, birinci esas bireyden aktarılan genlerle aynı olmamak koşuluyla ikinci bireyden sırasıyla alınır. Şekil 12'de verilen örneğe göre Ebeveyn-1'de '3 4 5 6'genleri iki ayrım noktasında kalan kısımdır. Çocuğa bu genler değişmeden direkt aktarılmıştır. Ebeveyn-2'de yeni bireye direkt aktarılan genler yok sayılıp kalan genler sırasıyla çocuğa aktarılmaktadır.

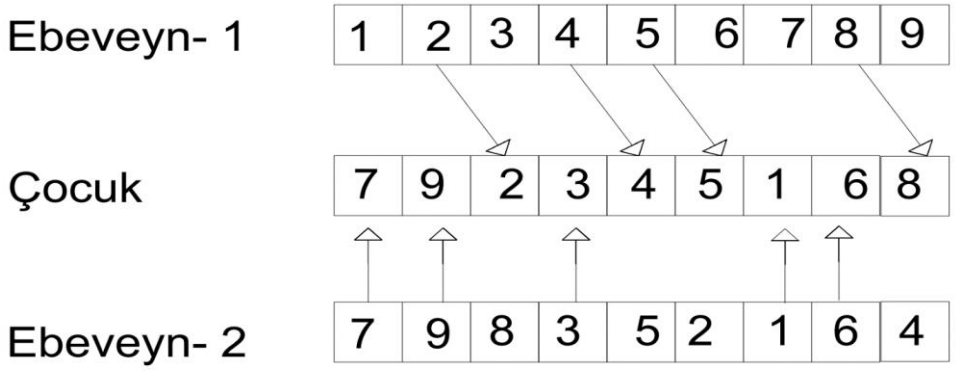
Pozisyon tabanlı çaprazlama; sıralı çaprazlamaya ve kısmi çaprazlamaya benzeyen çaprazlama yöntemidir. Bu çaprazlama yönteminde birinci esas bireyden rastgele sayıda ve rastgele pozisyonda genler belirlenip direk aynı yer ve aynı değerde olacak şekilde yavru bireye yerleştirilir. Birinci esas bireyde belirlenen genler ikinci esas bireyde silinerek kalan genler yavru bireye sırasıyla yerleştirilir (Engin ve Fığlalı, 2002).



Şekil 3.13. Pozisyon tabanlı çaprazlama:

Şekil 3.13'de rastgele '3, 5, 7, 9, genleri seçilmiştir. Bu genler yavru bireye konumu değişmeden yerleştirilir. Birinci bireyde rastgele seçilen genler ikinci bireyde yok sayılıp sırasıyla yavru bireyin kalan genlerine aktarılmıştır.

Sıra tabanlı çaprazlama; her ne kadar pozisyon tabanlı çaprazlama yöntemi gibi olsa da bu yöntemde önemli olan ölçüt ikinci esas bireyde silinmeyen ya da işaretlenmeyen genlerin pozisyonu önem taşımaktadır.

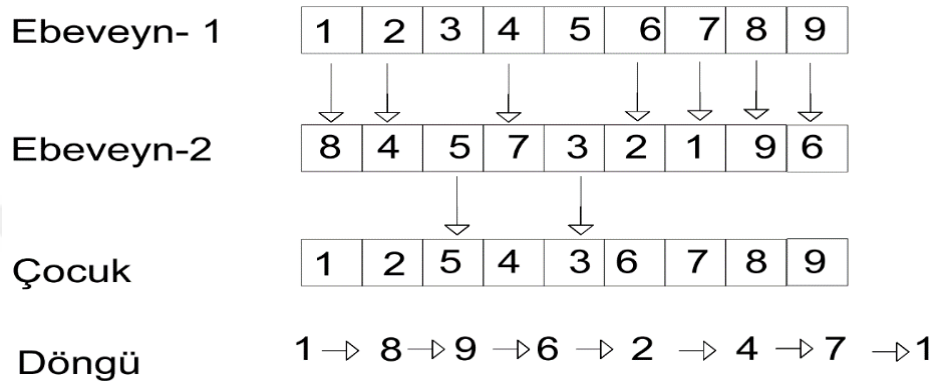


Şekil 3.14. Sıra tabanlı çaprazlama yöntemi

Sıra tabanlı çaprazlama yönteminde birinci bireyde rastgele genler seçilir. İkinci bireyde bu seçilmiş olan genler dışında kalan genler yeni oluşacak bireyde konumu ve değeri değiştirilmeden yerleştirilir. Kalan boşluklara birinci bireyde seçilen genler sırasıyla yerleştirilir (Engin ve Fığlalı, 2002).

Dairesel çaprazlama yöntemi; bu çaprazlama yönteminde iki birey gen

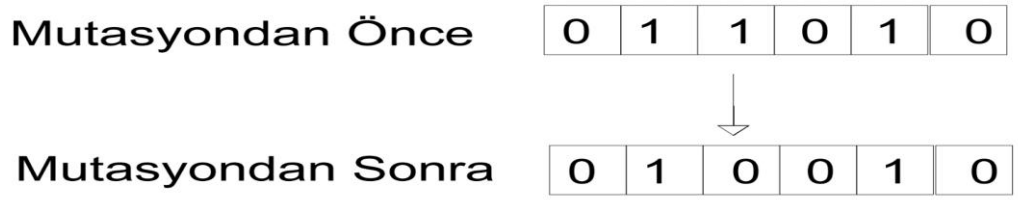
diziliminde bir döngü oluşturur (Engin ve Fığlalı, 2002). Döngünün başlangıç noktası birinci esas bireyin ilk genidir. Döngü iki esas birey arasında bir örüntü oluşturmuş olur. Örüntüye giren genler birinci esas bireydeki pozisyonda yavru bireye yerleştirilir. Yerleştirilen bu genler ikinci esas bireyden silinir. İkinci esas bireyde kalan genler yavru bireye aktarılır.



Şekil 3.15. Dairesel çaprazlama yöntemi

Bu yöntemde döngüye bağlanan gene ulaşıldığında döngü tamamlanmış olmaktadır. Şekil 3.15'te birinci esas bireyin döngüyü başlatan geni 1'dir. 1-8'i 8-9 'u 7-1'i işaret ettiğinde başlangıç genine ulaşıldığı için döngü tamamlanmıştır.

Mutasyon(dönüşüm); işlemi genetik algoritmanın çaprazlama ve üreme kadar önemli olan işlemlerindendir. (İşçi, 2003). Genetik algoritmanın yapısı canlı yapısına benzer çalıştığı için mutasyon aşaması da gen değişimi işlemidir. Mutasyon belli bir dizilime sahip kromozomların rastgele bir noktasının yine rastgele olarak değişmesi olayıdır. Üreme ve çaprazlama işlemleri sonucunda oluşan yeni bireylerin belli bir süre sonra farklılaşma oranın azaldığı ya da aynı olan bireylerin sayısında artma olduğu görülebilmektedir. Bu gibi durumların oluşmasını engellemek için mutasyon işlemleri gerçekleştirilmektedir. Mutasyon ile topluluklardaki çeşitlilik ve denge sağlanmış olur. Mutasyondan aynı zamanda üreme ve çaprazlama yollarıyla elde edilemeyen bazı değerlerin kaybını önlemek içinde kullanılabilir. Mutasyon genetik algoritmada topluluktaki dizilerin bir veya birkaç değerini rastgele değiştirip toplulukta yeni dizilimlerin oluşmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.16. Mutasyon işlemi gerçekleştirilmiş hücre

İkili kodlama sisteminin mevcut olduğu durumlarda mutasyon işlemi ’0’ değerini ‘1’ ve ‘1’ değerini ‘0’ yapar. Mutasyon işleminin hangi aralıklar ile yapılacağını mutasyon olasılığı verir (Dikmen, 2014). Mutasyon olasılığının düşük olması arama uzayının düzgün çalışmasını engelleyip çeşitliliği azaltacakken, mutasyon oranının yüksek olması işlemlerdeki rastgeleliği arttıracağından dolayı en iyi çözümden uzaklaşmamıza neden olacaktır (Kalinli ve Aksu, 2011). Algoritmada mutasyon olasılık parametrelerinin uygun düzeyde tutulması son derece önem taşımaktadır.

Genetik Algoritmada Mutasyon Yöntemleri: Mutasyon işlemleri gen değişimini sağlayarak genetik algoritmada çözüm kümesinin problem için en iyi çözümü sunmasına katkı sağlar. Mutasyon işleminde yapılan gen değişimiyle yeni ve farklı bireyler oluşmaktadır. Çoğunlukla rastgele belirlenen bir genin değişimiyle gerçekleşen işlemlerdir. Mutasyon işlemi farklı şekillerde olabilmektedir. Bunlardan temel mutasyon yöntemi;

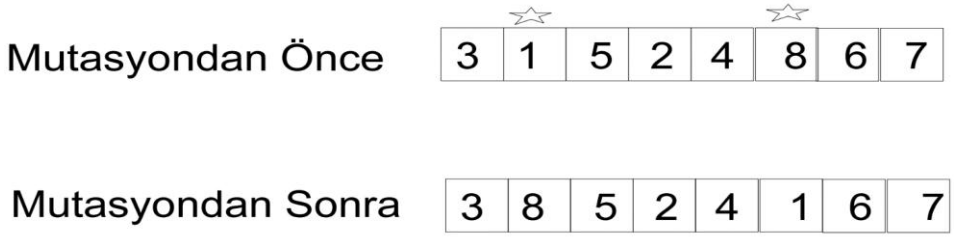


Şekil 3.17. Temel mutasyon yöntemi

gen diziliminde işaretlenen gen dönüşüme uğrar. ‘11001110’ olan gen dizilimi mutasyon işlemiyle ‘11101110’ gen dizilimine sahip olur.

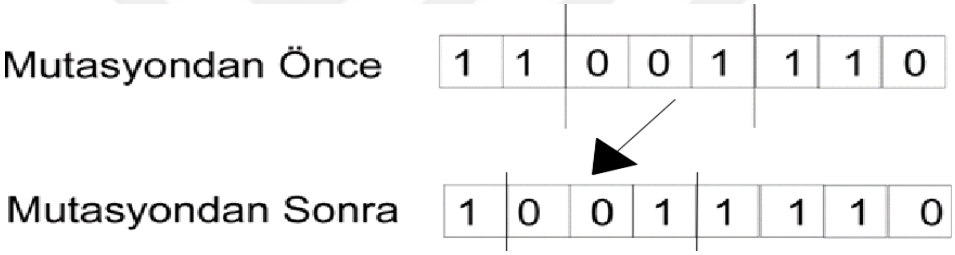
Mutasyon yöntemlerinden karşılıklı gen değişimi ile mutasyon yöntemi bir kromozom dizilimine sahip bireyin rastgele olarak seçilen iki geninin yer

değişimiyle sağlanan mutasyon işlemidir (Altay, 2007). Gerçekleşen mutasyon işlemleriyle yeni gen dizilimine sahip bireyler elde edilir.



Şekil 3.18. Karşılıklı gen değişimi mutasyon yöntemi

Mutasyonun özel bir durumu olan yer değiştirme yönteminde kromozomun gen diziliminde rastgele olarak iki nokta seçilir ve bu noktalar yine rastgele olarak gen dizilimine yerleştirilir (Altay, 2007).



Şekil 3.19. Yer değiştirme mutasyon yöntemi

Seçilen gen dizilimi yerleştikten sonra kalan genler sırasıyla boşluklara yerleştirilir ve yeni gen dizilimine sahip birey elde edilmiş olur.

Bitiş Ölçütlerine Ulaşılması ve En iyi Sonucun Gösterilmesi; GA'nın, aramanın devam edeceği ya da aramanın sonlandırılacağının kararını verdiği işlemdir. GA her bir nesil oluşumundan sonra sonlandırma kriterleri ile kontrol sağlayarak aramanın devam etmesine ya da sonlandırılmasına karar verir. Sonlandırma kriterleri farklı yöntemler ile sunulmaktadır. Bunlar;

Nesil sayısı: Algoritma belirlenen maksimum nesil sayısına ulaştığında arama işlemini sonlandırır.

Evrim Süresi: Algoritmanın arama süresi belirlenen maksimum süreyi geçtiğinde işlem sonlandırılır.

Amaç sınırlaması: Algoritma önceden belirlenen uygunluk değeri aralığındaki bir

değere sahip çözüm elde edilince işlem sonlandırılır.

Genetik algoritma çalışma basamaklarında bitiş ölçütlerine ulaşıldığında elde edilen en iyi çözüm problemin çözümü olarak alınır. Üreme, çaprazlama ve mutasyon aşamaları tamamlandığında sonuçların kıyaslanması gerekmektedir. Kıyaslamada amaç en iyi kromozoma ulaşmaktır, bir başka ifade ile en iyi çözüme ulaşmaktır.

3.2 Yöntem

Kullanıcılar tarafından istenmeyen en önemli güç kalitesi problemlerinden biri gerilim düşümleridir. Kısa süreli gerçekleşen gerilim düşümleri ekipmanlarda arızalara ve ciddi ekonomik kayıplara sebep olabilmektedir (Özdemir, 2009). Bu durumun önüne geçebilmek için sisteme ek besleme kaynakları kullanılabilmektedir (Gencer, 2005). Gerilim sabitleyici transformatörler, kesintisiz güç kaynakları ve dinamik gerilim yenileyiciler gerilim düşümlerinin önlenmesi için kullanılan cihazlardandır (Müh, 2007).

Gerilim düşümlerini tespit etmek için farklı yaklaşım yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlardan biri istatiksel yaklaşımdır. İstatiksel yaklaşım sistem veri yollarında gerilim düşümlerinin kestirimini yapmak amacıyla kullanılmaktadır. İstatiksel yaklaşımlar daha önce meydana gelen hata verilerine göre uzun süreli kestirimler için kullanılmaktadır (Arıkan ve Özdemir, 2012). İstatiksel yaklaşımlar uzun süreli kestirimler için uygun olsa da belirli bir yıl için kestirimi yapılan gerilim düşümlerinin sayısı için doğrudan kullanılabilecek bir yaklaşım değildir. Çünkü yıl içerisindeki sistem hata oranları, bakımı, hava koşulları gibi etmenler farklılıklar göstereceği için yıllar arasında büyük ölçüde farklılıklar oluşabilir. Gerilim düşümlerinin daha iyi analiz edilebilmesi için güç kaynaklarının izlenmesi yöntemi ile gerilim düşümlerinin doğrudan değerlendirilmesi sağlanabilir (Juarez ve HernÁndez, 2007). Güç kaynaklarının izlenmesi yöntemi istatiksel ölçüm ile gerçek ölçüm verileri arasında oluşan hata payını en aza indirmek için kullanılan yöntemdir (Olguin, 2003).

İzleme metotları; ölçüm cihazı yerleştirilen sınırlı sayıda bus ile ölçüm cihazı yerleştirilmeyen buslarda oluşan gerilim düşümlerinin kestirimini yapmaktadır (Turan ve Karci, 2021; Olguin ve ark., 2006). Sistemde sınırlı sayıda ölçüm noktasına bakılarak ölçülmeyen noktalarda oluşan gerilim düşümleri için kesirim metodu önerilmektedir (Juarez ve HernÁndez, 2007).

Gerilim düşümü durum kestirimi için izleme yönteminin öne sürdüğü özelliklere ve kısıtlamalara dikkat etmek gerekir. Bir elektrik sisteminin gerilim

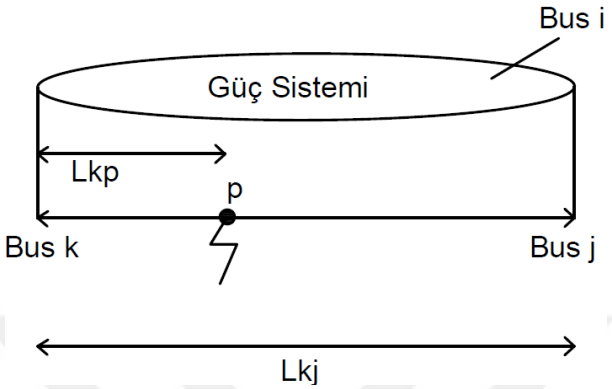
durum kestirimi için kullanıcının ölçüm cihazı sayısı önemlidir. Durum kestirimi için kullanılan ölçüm cihaz sayısının fazla olması gerçeğe yakın kestirim değerleri bulmamızı sağlasa da cihazların sayısını minimum düzeyde tutmak maliyeti azaltmak için gereklidir (Juarez ve Hernández, 2006). Durum kestirimi için kullanılacak olan minimum sayıdaki ölçüm cihazlarının gerçek değerlere yakın değerler vermesi için önemli iki parametre vardır. Bunlar; cihazların konumu ve sayısıdır. Bu iki parametre yaklaşım sonuçlarını büyük ölçüde etkileyecektir. Gerilim düşümleri durum kestirimi yapılırken ölçüm cihazlarının tüm sistemi kapsayacak sayıda ve konumda olması gerekmektedir. Ölçüm cihazı yerleştirme yaklaşımında sistemdeki her hata en az bir ölçüm cihazı tarafından okunarak tüm sistemi kapsayacak şekilde yapılmıştır (Olguin ve ark., 2006).

Ölçüm cihazı yerleştirilen bus sayısının sistemdeki tüm busların sayısından küçük olduğu kabul edilir. Belli bir L uzunluğa sahip sistem için bus sayısı N ve ölçüm cihazı yerleştirilen bus sayısı M olarak verilirse $\mathrm{M} < N$ şeklinde ifade edilebilir. Durum kestirimlerinde kullanılan matematiksel formül aşağıda verilmiştir (Grainger ve Stevenson, 1994).

$$\mathrm{H} = \mathrm{MX} + \mathrm{E} \qquad (3.2)$$

Bu ifade de H vektörü izlenen busların kaydettiği hata sayısını içerir ve H vektörünün satırları ölçülen buslara karşılık gelmektedir. X vektörü iletim hatlarındaki arızaların gerilim düşümü meydana getirip getirmemesine göre bölgelere ayrılır. X vektörünün uzunluğu tüm sistem boyunca oluşan bölge sayısı kadardır. Bölgelerdeki hata sayısı X vektörü ile tanımlanır. E sistemdeki gürültü matrisini ifade eder. Bu çalışmada sistemdeki gürültü parametresi ihmal edilecektir (Matair, 2000). M ölçüm matrisi ikili matristir ve satırları izlenen buslara karşılık gelir. X vektöründe ifade edilen bölgeler ise M matrisinin sütunlarını oluşturur. Eğer kestirimi yapılacak olan bölgede hata oluştuğunda izlenen busta gerilim düşümüne sebep oluyorsa $m_{ij} = 1$, gerilim düşümüne sebep olmuyorsa $m_{ij} = 0$ olur.

Örnek bir sistemde herhangi bir noktadaki hata durumunda izlenmeyen bus-I'da hata oluşturup oluşturmama durumunu incelemek için **Şekil 3.2.1.**'i dikkate alalım.



Şekil 3.2.1. p noktasında hata meydana gelen elektrik sistemi.

Bus k ve bus j arasındaki iletim hattının p noktasında oluşan hatanın ilgilenilen bus I'da oluşturacağı gerilim düşüm değeri p noktasının konumuna bağlı olarak p.u. birim sisteminde denklem (1.3)'te verilen şeklinde ifade edilmektedir (Juarez ve HernÁndez, 2007). (3.3)'e göre genel bir hat üzerinde bir arıza meydana geldiğinde ilgilenilen bus ve ölçüm cihazı yerleştirilen buslarda kalan gerilim değerini elde etmek mümkündür.

$$V_i = 1 - \frac{(1-\Psi)Z_{ik}+\Psi Z_{ij}}{(1-\Psi)^2 Z_{kk}+\Psi^2 Z_{jj}+2\Psi(1-\Psi)Z_{kj}+\Psi(1-\Psi)z_{kj}} \quad (1.3)$$

Z_{ij} bus empedansı değeri, z_{kj} k, j busları arasındaki iletim hattının empedansıdır. Ψ parametresi hatanın meydana geldiği p noktasının konumunu ifade eder ve değeri $0 \leq \Psi \leq 1$ aralığında değişmektedir. L_{kp} p noktasının bus-k' ya olan mesafesini ifade ederken, L_{kj} iletim hattının toplam uzunluğudur.

$$\Psi = \frac{L_{kp}}{L_{kj}} \quad (3.4)$$

Ψ parametresinin değeri denklem **(3.4)**'te verildiği gibi elde edilebilmektedir. k-j

hattı boyunca meydana gelen hataların izlenmeyen buslarda meydana getireceği gerilim düşümü miktarı denklem (1.3)'te verilen ifade ile elde edilebilmektedir. Buslarda oluşan gerilim düşümlerinin, dikkate alınan eşik gerilim değerinin altında olup olmama durumuna göre bölgelere ayrılmaktadır. Her bölge satır olarak X vektöründe yerini almaktadır.

Şekil 3.2.1.'te p noktasında oluşan gerilim düşümünü basit bir ifade ile;

$$V_i = V_i^{pf} - Z_{ip} I_p \tag{3.5}$$

(3.5)'teki gibi verilmiştir. Burada;

V_i^{pf} hata oluşmadan önce p noktasındaki gerilim değerini,

Z_{ip} bus I'daki empedans değeri,

I_p bus I'da oluşan hata akımını ifade eder.

(3.4) ile ifade edilen hata akımı ve hata empedansı gerilim değerinin değişimini verir.

$$\Delta V_i = -Z_{ip} I_p \tag{3.6}$$

Hata oluşmadan önce p noktasındaki gerilim değeri V_p' olarak ifade edilirse hata akımı;

$$I_p = \frac{V_p'}{Z_{pp}} \tag{3.7}$$

şeklindedir. Z_{pp} hat boyunca p noktasında meydana gelen hata empedansını ifade etmektedir. Hata akımı değeri (3.5)'te verilen denklemde (3.7)'de verilen ifadeye göre yerleşimi yapılırsa;

$$V_i = V_i' - Z_{ip} \frac{V_p'}{Z_{pp}} \tag{3.8}$$

ifadesi elde edilir. Burada hata öncesi gerilim değeri farklı olduğu için tek bir birim sisteme dönüştürmek işlemleri kolaylaştıracaktır. Bu yüzden hata öncesi gerilim değerini 1 p.u değeri olarak kabul edilir. Gerilim değeri;

$$V_i = 1 - \frac{Z_{ip}}{Z_{pp}} \tag{3.9}$$

şeklini alır.

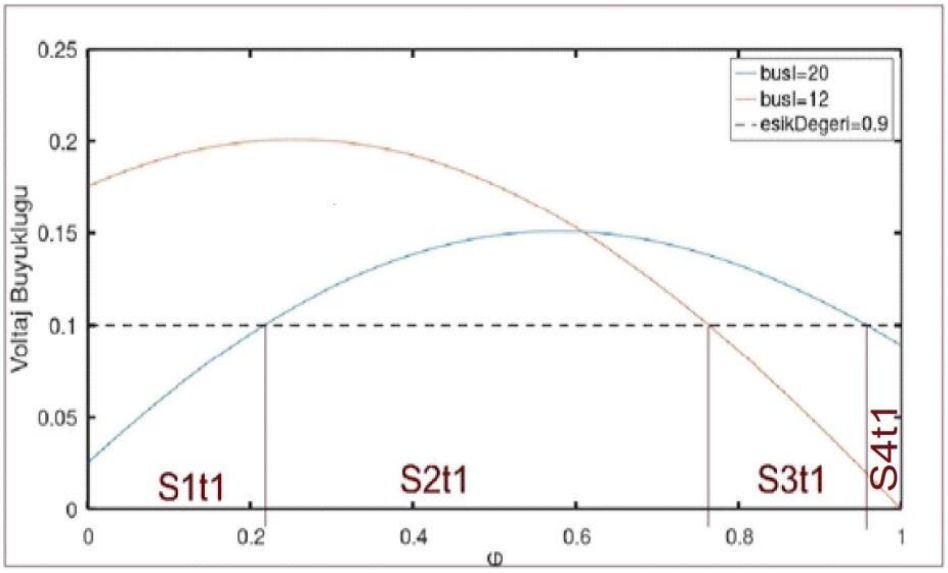
$$Z_{ip} = (1 - \Psi)Z_{ik} + \Psi Z_{ij} \tag{3.10}$$

Z_{ip} empedansı i, k ve j parametreleri veri yollarına gelen bus elemanlarıdır (Han 1982).

Hatanın meydana geldiği noktadaki empedans değeri için (Han 1982)'ten Z_{pp} değeri hesaplanabilir.

$$Z_{pp} = (1 - \Psi)^2 Z_{kk} + \Psi^2 Z_{jj} + 2\Psi(1 - \Psi)Z_{kj} + \Psi(1 - \Psi)Z_{kj} \tag{3.11}$$

Z_{kj} k-j iletim hattının empedansıdır. İletim hattında meydana gelen hatadan önceki gerilim değeri (3.11)'a göre hesaplanabilmektedir.



Şekil 3.2.2. Bus I'da oluşan hata için kalan gerilim, Bus I, t_1 eşik değeri.

Şekil 3.2.2.'de Ψ parametresine göre 0.9 eşik değeri için IEEE 24-Bus sisteminde ölçüm cihazı yerleştirilmemiş olan BusI = {12,24} için gerilim değerlerinin oluşturduğu bölümler çizilmiştir. Bölüm sayısı X vektöründe ifade edilmektedir. Şekil 3.2.2.'de kalan gerilim eğrisinde eşik değerinin altında kalan bölgeler herhangi bir hata durumunda ilgilenilen busta gerilim düşümüne sebep olacağı anlaşılmaktadır.

X vektörünün kestirimi uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Ölçüm cihazı yerleştirilmeyen busların gerilimi dikkate alınarak bölgeler oluştuğu için X vektörünün eleman sayısı artmaktadır. Bu durum X vektörünün kestirimini zorlaştırmaktadır.

3.2.1. M matrisinin hesaplanması

Şekil 3.2.2. 'de verilenlere göre belirlenen eşik değeri t_1 için kabul edilirse; M matrisinin elemanları t_1 eşik değerine göre belirlenir. İlgilenilen bus t_1 gerilim değerinin altında kaldıysa '1', t_1 eşik değerinin üstünde kaldıysa '0' değerini almaktadır (Juarez ve HernÁndez, 2007).

$$M = m(m_i, s_i)$$

$$= \begin{cases} 1, & S_j \, Segmentinde \, arıza \, meydana \, gelmesi \, durumunda \\ & bus \, m_i' \text{nin kalan gerilimi } t_1' \text{in altındaysa} \\ 0, & S_j \, Segmentinde \, arıza \, meydana \, gelmesi \, durumunda \\ & bus \, m_i' \text{nin kalan gerilimi } t_1' \text{in üstündeyse} \end{cases}$$

t_1 eşik değerine göre yukarıdaki gibi belirlenen M matrisinin elemanları Şekil 3.2.2.'de yapılmış olan uygulama için belirlemek istenirse $M = [1\ 0\ 0\ 1]$ şeklinde olacaktır. $S_2^{t_1}$ ve $S_3^{t_1}$ aralığında t_1 gerilim eşik değerinin üstünde, $S_1^{t_1}$ ve $S_4^{t_1}$ aralıklarında ise gerilim eşik değerinin altında kaldığı gözlemleniyor.

$$M = \begin{matrix} m_i \\ \vdots \\ m_M \end{matrix} \begin{bmatrix} 1\,0\,0\,1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \tag{3.12}$$

t_1 eşik değerine göre elde edilen M matrisi için uygulanan bu işlem basamakları her bir gerilim eşik değeri için oluşan bölüm sayısına göre sistemin tüm satırlarını dikkate almalıdır. M matrisinin satır sayısı ölçüm cihazı yerleştirilen busların sayısıdır. Sütün sayısı ise bölüm sayısıdır. Bu işlemler için öncelikle bölümlerin oluşturulması gerekir.

M matrisi oluşturulurken m satırında (1,1) noktası '1' değerindedir. Bu t_1 gerilim eşik değeri için $S_1^{t_1}$ bölümünde meydana gelen hataların gerilim düşmesine neden olduğunu ifade etmektedir. Aynı şekilde $m(1,2)$ noktası '0' değerindedir. Bu durum $S_2^{t_1}$ bölümündeki hataların t_1 gerilim eşik değeri için gerilim düşmesine neden olmadığını ifade etmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Güç kalitesi problemlerinden biri olan gerilim düşümleri sistemlerin düzgün çalışmasını engelleyerek istenmeyen durumlar meydana getirmektedir. Bu durumların önlenebilmesi için gerilim düşümlerinin tespitinin yapılması önem taşımaktadır. Önerilen yöntemde sistemlerde oluşan gerilim düşümlerinin kestirimi için izleme yöntemiyle GA kullanılarak Octave programında benzetim çalışmaları yapılmıştır. Sistemin belirlenen buslarına ölçüm cihazı yerleştirilip tüm sistemde oluşabilecek gerilim düşümlerinin ölçüm cihazlarında okunması gerekmektedir. Belirli noktalara yerleştirilen ölçüm cihazları tüm sistemi kapsayacak şekildedir (Juarez ve HernÁndez, 2007; Turan ve Karci, 2021).

Tez çalışmasında, IEEE 24-Bus, IEEE 30-Bus, IEEE 118-Bus ve IEEE 145 Bus, sistemlerinde önerilen metot kullanılarak ilgilenilen bus için kalan gerilim değerleri hesaplanır ve bu değere göre bölümler oluşturulur. Octave programında kodlar yazılarak gerçekleştirilen bu işlemler ile $H = MX$ problemi oluşturularak GA ile gerilim düşümü kestirimi yapılmaktadır. GA'nın işleyişi rastgele olduğundan her sistem için farklı popülasyon büyüklüklerinde 10 adet benzetim yapılarak ortalama hata değerleri elde edilmiştir.

IEEE-24 Bus sistemi için yapılan benzetim çalışmalarında izlenen buslar $m = [3,5,8,17]$ olarak (Juarez ve HernÁndez, 2007)'de belirlenirken kestirimi yapılmak istenilen buslar monitör edilmeyen buslar arasından rastgele seçilir. Seçilen buslar için benzetim çalışması 3 farklı eşik gerilim değerinde ve farklı popülasyonlarda gerçekleştirilmiştir. Bu benzetimler sonucunda ortalama hata değerleri elde edilmiştir. Eşik gerilim değerinin $th = 0{,}1$ olarak seçildiği benzetim çalışmalarının değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. $\mathbf{th = 0.1}$ değerine göre IEEE-24 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri

BusI\Pop	20	50	100	200	300
2	1.2	1.7	2	2.001	2.002
4	1.9	1.8	2.9	2.901	2.902
5	0.9	0.8	2.2	2.201	2.202
9	1.6	2.5	1.9	1.901	1.902
10	1.9	1.3	1.9	1.901	1.902
11	2.4	2.1	3.4	3.401	3.402
13	3	4.2	2.1	2.101	2.102
18	1.8	1.3	3.5	3.501	3.502
21	2.3	1.3	0.8	0.801	0.802
23	4.4	6.9	0.9	0.901	0.902
ORTALAMA	2.14	2.39	2.16	2.161	2.162

Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi pop = [20, 50, 100, 200, 300] olarak seçilip belirlenen buslar için ortalama hata değerleri verilmiştir. Popülasyon büyüklüğünün ortalama hatayı çok etkilemediği tespit edilmiştir. Bus23 ve Bus13 incelendiğinde popülasyon büyüdükçe ortalama hata değerlerinin azaldığı gözlemlenebilmektedir. Sistemde izlenen busların sayısı ortalama hata değerinin farklılığını etkiler. IEEE-24 Bus sisteminde izlenen bus sayılarının artması farklı çözümlerin sayısının azalmasını sağlar.

Çizelge 4.2'de $\mathrm{th} = 0.2$ eşik değerinde $\mathrm{BusI} = [2, 4, 5, 9, 10, 11, 13, 18, 21, 23]$ busları için $\mathrm{pop} = [20, 50, 100, 200, 300]$ olarak seçilip benzetimler yapılarak ortalama hata kestirim değerleri elde edilmiştir. Bus18 ve Bus 23'de popülasyon büyüklüğünün artmasıyla iyileşmeler görülmektedir.

Çizelge 4.2. $\mathrm{th} = 0.2$ değerine göre IEEE-24 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri

BusI \ Pop	20	50	100	200	300
2	1.9	3	1.9	1.2	3
4	1.9	1	2.7	2.1	2.2
5	1.4	1.6	1.9	2.4	1.9
9	2.5	2.1	1.9	2.8	1.4

Çizelge 4.2. (devamı)

BusI \ Pop	20	50	100	200	300
10	3.2	1.8	1.2	2.2	3.1
11	2.2	1.3	5.7	2.3	2.3
13	1.5	2.2	4.2	1.8	1.6
18	1.6	1.3	1.1	1.4	0.9
21	2.3	1.5	1.3	2	3.7
23	2.1	3.3	1.9	1.3	1.7
ORTALAMA	2.06	1.91	2.36	1.95	2.18

Çizelge 4.3'de IEEE-24 Bus sisteminde $\mathrm{th} = 0.3$ eşik gerilim değeri izlenmeyen buslardaki gerilim düşümlerinin sayıları kestirilmeye çalışılmıştır. $\mathrm{BusI} = [2, 4,5,9,10,11,13,18,21,23\,]$ busları için $\mathrm{pop} = [20, 50, 100, 200, 300]$ büyüklüklerinde ortalama hata değerleri elde edilmiştir. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilen ortalama hata değerleri Çizelge 4.3'te verilen ortalama hata değerlerinden daha yüksektir. Gerilim eşik değerlerinin ortalama hata üzerine etkisinden söz edilebilir.

Çizelge 4.3. $\mathrm{th} = 0.3$ değerine göre IEEE-24 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri

BusI\Pop	20	50	100	200	300
2	1	1.2	1.1	1.3	2
4	1.9	0.7	1.2	1.1	1.6
5	2.3	1.3	2.4	3	1.6
9	1.1	2.1	2.5	2.1	1.8
10	1	1.4	1.2	1.4	1.2
11	0.9	0.6	1.9	1.5	1.2
13	2.1	2.8	1.8	0.7	0.7
18	0.3	1.5	0.6	1.5	0.5
21	1.1	1.7	0.5	1.4	0.4
23	1.8	0.9	1	1.2	2.3
ORTALAMA	1.35	1.42	1.42	1.52	1.33

Genetik algoritma ile gerilim düşümlerinin izleme yöntemiyle IEEE-30 Bus sistemi için de benzetim çalışmaları yapılmıştır. IEEE-30 Bus sistemi için (Turan ve Karci, 2021) 'da verilen ölçüm cihazı yerleştirilen busların konumu ve sayısı

verilmiştir. Bu sistemde ölçüm cihazı yerleştirilen buslar $\mathrm{th} = 0.1$ için $\mathrm{m} = [11, 13, 14, 20, 23, 26, 30]$ şeklindedir. Kestirimi yapılacak olan buslar ölçüm cihazı yerleştirilmeyen buslar içerisinden rastgele seçilmektedir. Farklı $\mathrm{pop} = [20, 50, 100, 200, 300]$ büyüklükleri için ortalama hata değerleri elde edilmektedir.

Çizelge 4.4. $\mathrm{th} = 0.1$ değerine göre IEEE-30 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri

BUS I/POP	20	50	100	200	300
2	1.5	2.5	0.9	1.4	1.5
4	0.7	3.1	1.2	0.7	0.6
5	2.1	1.2	0.6	0.8	0.5
9	0.3	0	0.3	0	0.6
10	1.6	2.8	2.1	1.5	1
12	0.4	0.2	0.1	0.9	0
18	0.6	1.5	1	1	0.6
21	2.4	1.7	2.5	1.4	2.7
22	1	2.1	2.6	2.1	2.7
29	1.1	0.8	1	1.1	1
ORTALAMA	1.17	1.59	1.23	1.09	1.12

IEEE-30 Bus sistemi için Çizelge 4.5'te $\mathrm{th} = 0.2$ değerine için benzetim çalışmaları yapılmıştır. IEEE-30 Bus sisteminde ölçüm cihazı yerleştirilen buslar $\mathrm{th} = 0.2$ için $\mathrm{m} = [11, 13, 14, 20, 23, 26, 30]$ şeklindedir. Kestirimi yapılacak olan buslar ölçüm cihazı yerleştirilmeyen buslar içerisinden rastgele seçilmektedir. Farklı $\mathrm{pop} = [20, 50, 100, 200, 300]$ büyüklükleri için ortalama hata değerleri elde edilmektedir.

Çizelge 4.5. $\mathrm{th} = 0.2$ değerine göre IEEE-30 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri

BUS I/POP	20	50	100	200	300
2	1.9	1.1	1.4	0.5	1.8
4	1.9	0.6	0.9	1.5	1.4
5	1.1	0.7	0.4	1.2	1
9	0	0.4	0.1	1	0.1
10	2.4	0.7	1.3	0.6	1.2
12	0.2	0.2	0.7	0	0.2

Çizelge 4.5. (devamı)

BUS I/POP	20	50	100	200	300
18	1.8	1.4	1	0.6	0.7
21	1.8	1.3	3	1.9	2.8
22	2.5	2.4	1.7	1	1.6
29	1.2	1.3	1.2	1.8	0.4
ORTALAMA	1.48	1.01	1.17	1.01	1.12

IEEE-30 Bus sistemi için gerilim eşik değeri $th = 0.3$ için ölçüm cihazı yerleştirilen buslar $\mathrm{m} = [11, 13, 14, 17, 19, 23, 26, 30]$ şeklindedir. Kestirimi yapılacak olan buslar ölçüm cihazı yerleştirilmeyen buslar içerisinden rastgele seçilmektedir. Benzetim çalışmalarında elde edilen ortalama hata değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. $\mathrm{th} = 0.3$ değerine göre IEEE-30 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri

BUS I/POP	20	50	100	200	300
2	1.5	1.7	1.7	2	2.8
4	0.6	0.6	1.5	1.5	1.1
5	0.6	0.8	1	1	0.9
9	0.3	0.2	0.5	0.2	0.7
10	0.8	1.6	0.9	2.1	1.1
12	0.1	0.9	0.3	0.5	0
18	1.2	1.5	3.2	1.6	1.7
21	1.6	2.4	0.9	1.5	2.7
22	0.9	1.3	1.4	2.2	1.2
29	0.6	1.6	2.3	1.3	2.7
ORTALAMA	0.82	1.26	1.37	1.39	1.49

Çizelge 4.4, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da IEEE-30 Bus sistemi için farklı gerilim eşik değerlerinde yapılan benzetimlerin ortalama hata değerlerinin 2'den küçük olması sistemin genetik algoritma ile başarılı bir şekilde kestirim yaptığını göstermektedir.

Genetik algoritma ile benzetim çalışmaları yapılırken kullanılan bir diğer sistem IEEE-118 Bus sistemidir. Bu sistemde de farklı gerilim eşik değerleri için

farklı popülasyon büyüklüklerinde benzetimlerle kestirim yapılarak ortalama hata değerleri elde edilmiştir. IEEE-118 Bus sistemi için ölçüm cihazı yerleştirilen buslar $\mathrm{th} = 0.1$ gerilim eşik değeri için (Turan ve Karci, 2021)'da verildiği gibi kullanılmıştır. İzlenen buslar $\mathrm{m} = \begin{bmatrix} 10,13,16,18,22,24,25,26,33,36,40,43,45,47,48,57, \\ 58,59,62,67,72,73,75,79,102,113,115,117,118 \end{bmatrix}$ şeklindedir. Kestirimi yapılacak olan buslar ölçüm cihazı yerleştirilmeyen buslar arasından rastgele seçilir.

Çizelge 4. 7. $\mathrm{th} = 0.1$ değerine göre IEEE-118 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri

BUS I/POP	20	50	100	200	300
2	0.5	0.7	0.7	0.9	0.7
12	2.1	1.3	1.4	1.8	1.2
17	2.1	2.1	1.8	1.3	1.9
44	1.1	0.4	0.5	0.4	0.9
64	1	1.3	4.9	1.9	1
70	0.4	1.2	2.6	1.8	0.8
88	0.6	0.8	0.9	0.9	0.5
89	2.4	3.1	2.9	4.5	1.3
111	0.3	0.4	0.2	0.3	0.3
116	1	1	1.4	3.7	2
ORTALAMA	1.15	1.23	1.73	1.75	1.06

IEEE-118 Bus sistemi için ölçüm cihazı yerleştirilen buslar $\mathrm{th} = 0.2$ gerilim eşik değeri için (Turan ve Karci, 2021)'da verildiği gibi kullanılmıştır. İzlenen buslar

$\mathrm{m} = \begin{bmatrix} 3,10,13,14,16,18,22,23,24,25,26,28,33,36,39,41,43,45,46,47,48,50,53, \\ 57,59,61,62,67,72,73,74,79,87,97,112,113,115,117,118 \end{bmatrix}$

şeklindedir. Kestirimi yapılacak olan buslar ölçüm cihazı yerleştirilmeyen buslar arasından rastgele seçilir. Çizelge 4.8'de $\mathrm{th} = 0.2$ gerilim eşik değeri için ortalama hata değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.8. $th = 0.2$ değerine göre IEEE-118 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri

BusI\Pop	20	50	100	200	300
2	0.6	0.7	0.8	0.3	1.7
12	1.2	2.4	2.5	1.1	2.2
17	1.3	0.7	1	1.6	2.1
44	0.9	0.9	0.7	1.2	0.8
64	1.3	0.9	0.8	1.2	1.1
70	1.3	1.3	2.1	0.7	1.5
88	0.7	1.1	0.5	0.6	0.5
89	0.9	1.7	1.9	1.6	1.3
111	0.9	0.8	1.2	1.5	2.1
116	0.5	1.6	2	0.8	1.9
ORTALAMA	0.96	1.21	1.35	1.06	1.52

IEEE-118 Bus sistemi için ölçüm cihazı yerleştirilen buslar $th = 0.3$ gerilim eşik değeri için (Turan ve Karci, 2021)'da verildiği gibi kullanılmıştır. İzlenen buslar

$$m = \begin{bmatrix} 3,10,13,14,16,18,19,21,23,24,25,26,29,33,36,39,41,42,43,45,46,47,48,50,53, \\ 57,58,59,60,62,63,67,72,73,74,79,87,97,98,112,113,115,117,118 \end{bmatrix}$$

şeklindedir. Kestirimi yapılacak olan buslar ölçüm cihazı yerleştirilmeyen buslar arasından rastgele seçilir. Çizelge 4.9'da $th = 0.3$ gerilim eşik değeri için ortalama hata değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.9. $\mathrm{th} = 0.3$ değerine göre IEEE-118 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri

BusI\Pop	20	50	100	200	300
2	0.7	0.8	0.5	0.7	0.6
12	1.6	1.7	1.6	1.6	2.5
17	1.1	1	0.1	0.6	0.1
44	0.8	0.6	0.6	0.5	0.6
64	1.2	1.5	0.7	1.6	2.1
70	0.9	1.3	1.5	1.1	0.9
88	2.5	0.6	1.2	0.5	0.9
89	1.2	1.4	1.7	1	3
111	1.9	2.4	1.1	0.9	1.2
116	2	1.8	1.4	1.3	2.1
ORTALAMA	1.39	1.31	1.04	0.98	1.4

Çizelge 4.7, Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9'da elde edilen sonuçlar incelendiğinde ortalama hata değerlerinin 2'den küçük olduğu tespit edilmiştir. Ortalama hata değerinin düşük olması GA'nın kestirimi başarıyla gerçekleştirdiği anlamına gelmektedir. Fakat popülasyon büyüklüğünün artışının ortalama hata değerini fazla etkilememesi popülasyon büyüklüğü ile başarım arasındaki ilişkinin zayıf olduğunu ifade eder.

Genetik algoritma ile benzetim çalışmaları yapılırken kullanılan bir diğer sistem IEEE-145 Bus sistemidir. Bu sistemde için de farklı gerilim eşik değerleri için farklı popülasyon büyüklüklerinde benzetimlerle kestirim yapılarak ortalama hata değerleri elde edilmiştir. IEEE-145 Bus sistemi için ölçüm cihazı yerleştirilen buslar $\mathrm{th} = 0.1$ gerilim eşik değeri için (Turan ve Karci, 2021)'da verildiği gibi kullanılmıştır. İzlenen buslar

$$\mathrm{m} = \begin{bmatrix} 11, 13, 32, 43, 44, 49, 50, 52, 55, 58, 64, 65, 68, 70, 71, 75, 79, 81, 84, \\ 85, 86, 87, 88, 89, 96, 97, 99, 101, 103, 104, 106, 109, 111, 112, 129, 133 \end{bmatrix}$$

şeklindedir. Kestirimi yapılacak olan buslar ölçüm cihazı yerleştirilmeyen buslar arasından rastgele seçilir.

Çizelge 4.10. $th = 0.1$ değerine göre IEEE-145 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri

BUS I/POP	20	50	100	200	300
10	3.8	1.7	4.8	2.6	1.6
14	1.7	3	1.3	2.2	5.7
66	0.8	1.3	0.8	1.8	1.4
72	2.2	1.1	2.5	3.5	1
82	3	2.8	3.1	2.5	2.7
92	2.8	2.5	2	2.5	2
98	3.7	2	4.1	1.3	0.9
110	7.6	2.6	2	3.1	2.9
115	2.5	3.7	2.5	2.7	3
141	6.3	9.6	5.6	8.1	7.2
ORTALAMA	3.44	3.03	2.87	3.03	2.84

IEEE-145 Bus sistemi için ölçüm cihazı yerleştirilen buslar $th = 0.2$ gerilim eşik değeri için (Turan ve Karci, 2021)'da verildiği gibi kullanılmıştır. İzlenen buslar

$$m = \begin{bmatrix} 11, 13, 15, 16, 21, 26, 31, 33, 38, 39, 40, 45, 46, 49, 50, 51, 52, 53, 64, 65, 68, \\ 70, 71, 75, 81, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 91, 95, 96, 97, 99, 101, 103, \\ 104, 107, 109, 112, 123, 129, 133, 140 \end{bmatrix}$$

şeklindedir. Kestirimi yapılacak olan buslar ölçüm cihazı yerleştirilmeyen buslar arasından rastgele seçilir. Çizelge 4.11'de $th = 0.2$ gerilim eşik değeri için ortalama hata değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.11. $th = 0.2$ değerine göre IEEE-145 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri

BusI\Pop	20	50	100	200	300
10	2.6	1.4	2.3	4.2	2.1
14	1.9	1.2	2.8	3.7	1.8
66	3.2	3.1	2.7	3.1	3.6
72	1.6	1.1	3.9	1.3	3.5
82	1.9	2.9	1.3	1.7	1.7
92	2.4	1.8	3.2	3.6	2.9
98	1.4	1.1	2.3	2.7	2.1
110	2.4	1.9	1.6	1.4	3.3
115	5.5	8.3	3.9	5.4	5.7
141	2.7	4.4	2.7	5.2	4.8
ORTALAMA	2.56	2.72	2.67	3.23	3.15

IEEE-145 Bus sistemi için ölçüm cihazı yerleştirilen buslar $th = 0.3$ gerilim eşik değeri için (Turan ve Karci, 2021)'da verildiği gibi kullanılmıştır. İzlenen buslar

$$m = \begin{bmatrix} 8, 11, 13, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 26, 28, 29, 31, 32, 38, 39, 40, 43, 44, 49, 50, \\ 51, 52, 53, 54, 55, 56,57, 62, 64, 65, 68, 70, 71, 77, 78, 81, 83, 84, 85, 87, 88, 90, 91, \\ 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 106, 107, 109, 112, 123, 127, 133, 137 \end{bmatrix}$$

şeklindedir. Kestirimi yapılacak olan buslar ölçüm cihazı yerleştirilmeyen buslar arasından rastgele seçilir. Çizelge 4.12'de $th = 0.3$ gerilim eşik değeri için ortalama hata değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.12. $th = 0.3$ değerine göre IEEE-145 Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri

BusI\Pop	20	50	100	200	300
10	1.6	5.8	5.4	2.8	8.1
14	4.1	2.5	2.1	1.6	2.3
66	1.8	2.8	1	1.5	1.5
72	2.1	0.7	1.6	1.2	0.9
82	3.1	2.6	1.1	2.4	2.3
92	3.2	1.9	1.5	1.3	2.8
98	0.7	1.3	0.3	0.6	0.2
110	4.5	2.8	1.8	2.8	1
115	5.7	8.7	3.3	3.5	6.6
141	2.5	4.2	3.1	2.5	6.3
ORTALAMA	2.93	3.33	2.12	2.02	3.2

Çizelge 4.12'de elde edilen sonuçlar incelendiğinde ortalama hata değerlerinin 2'den büyük olduğu tespit edilmiştir. IEEE-145 Bus sisteminde benzetimi yapılan diğer sistemlere göre ortalama hata değerlerinin daha yüksek çıktığı görülmektedir. Test edilen diğer sistemlere göre busların hata oranları da daha yüksek çıkmaktadır. Buda yöntemin diğer test sistemlerindeki başarısının IEEE-145 Bus sisteminde gösteremediği, başarının daha düşük olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Elektrik dağıtım sistemlerinde meydana gelen gerilim düşümlerinin izlenebilmesi için tüm buslara ölçüm cihazlarının yerleştirilmesi gerekir. Ancak bus sayının çok olmasından dolayı bu yöntem ekonomik değildir. Bunun yerine elektrik dağıtım sisteminde meydana gelen gerilim düşümlerinin tamamını ölçecek şekilde minimum sayıda monitör yerleştirilmesi ekonomik sebeplerden dolayı tercih edilir.

Bu çalışmada sınırlı sayıdaki monitörden elde edilen gerilim düşüm bilgileri kullanılarak monitör yerleştirilmeyen buslardaki gerilim düşümlerinin sayısı GA kullanılarak kestirilmeye çalışılmıştır. IEEE-Bus 24, IEEE-Bus 30, IEEE-Bus 118 ve IEEE-145 Bus sistemlerinin matematiksel modelleri Octave ortamında oluşturulmuştur. Octave'da geliştirilen yazılım ve Octave programının genetik algoritma kütüphanesi kullanılarak ilgili sistemleri gerilim düşümleri kestirilmiştir. Farklı eşik değerleri ve farklı büyüklükteki popülasyonlar için simülasyonlar yürütülmüştür. GA'nın rassal özelliği dikkate alınarak her durum için 10 adet simülasyon yürütülmüş ve elde edilen değerler gerçek değerler ile karşılaştırılarak hata değerinin ortalaması hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ortalama hata değerinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu ve geliştirilen yazılımın hata kestirimi için kullanılabileceği göstermektedir

KAYNAKLAR

AKYEL, A. 2011.Elektrik Elektronik Enerji Sistemlerinde Güç Kalitesinin İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 114s.

ALTAY, A. 2007. Genetik Algoritma ve Bir Uygulama. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 98s.

APAY, F. 2008. Güç Kalitesi Parametrelerinin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 159s.

ARIKAN, Ç. 2012. ELECO 2012, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 01.12.2012, Bursa, 128-32.

AVŞAROĞLU, M. 2004. Elektrik Güç Kalitesi ve Uygulamaları. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 91s.

BALIN, A. 2010. Genetik Algoritma İle Hat Dengeleme. Yıldız Teknik Üniversitesi, , Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 150s.

BOLAT, B., EROL, O. ve ERDEM, C. 2004. Mühendislik Uygulamalarında Genetik Algoritmalar ve Operatörlerin İşlevleri. .Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma,4, 264-271.

BOLLEN, M.H.J. 2003. What Is Power Quality. Electric Power Systems Research 66 (1): 5-14.

DİKMEN, H., ELBİR, A., EKŞİ, Z. ve ÇELİK, F. 2014. Gezgin Satıcı Probleminin Karınca Kolonisi ve Genetik Algoritmalarla Eniyilemesi ve Karşılaştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 18 (1): 8-13.

EATON, J.W., BATEMAN, D., HAUBERG, S. and WEHBRİNG, R. 2022. GNU Octave version 7.1.0 manual: a high-level interactive language for numerical compu tations.

GÖKAY, E. ve TAŞKIN, Ç. 2002. Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 21 (1): 129-52.

AVUÇLU, E. ve ELEN, A. 2019. Genetik Algoritmada Çaprazlama Yöntemleri. Geleceğin Dünyasında Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar, 1-18.

ENGİN, O. ve FIĞLALI, A. 2002. "Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma Yardımı ile Çözümünde Uygun Çaprazlama Operatörünün Belirlenmesi. Doğuş Üniversitesi Dergisi, 3(2): 27-35.

ERCİRE, M. ve ÜNSAL, A. 2019. Kısa Süreli Güç Kalitesi Bozulmalarının Dalgacık Analizi ve Rastgele Orman Yöntemi ile Sınıflandırılması. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans, Kütahya, 111s.

ERCİRE, M. ve ÜNSAL, A. 2021. Güç Kalitesi Olay İşaretlerinin LabVIEW ile Üretilmesi ve Doğrulanması. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8(2): 868-881

EROĞLU, H. ve AYDIN, M. 2009. Bir Dağıtım Şebekesinin Güç Kalitesi ve Harmonikler Yönünden İncelenmesi. Selçuklu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans, Konya, 207s.

JUAREZ, E. and HERNANDEZ, A. 2006. Voltage Sag State Estimation: An Approach Based on the Concept of Fault Positions. Proc. Int. Conf. on

Harmonics and Quality of Power (ICHQP-2006), Cascais, Portugal.
JUAREZ, E. and HERNANDEZ, A. 2007. A Method for Voltage Sag State Estimation in Power Systems. IEEE Transactions on Power Delivery 22 (4): 2517-26
GENCER, Ö., ÖZTÜRK, Ö., YEĞİN, E. ve KARAARSLAN, K. 2005. Gerilim Düşümü Kompanze Yöntemleri. EVK 2005, Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 17.05.2005,Kocaeli, 66-70.
GÖKOZAN, H. 2011. Endüstriyel Tesislerde Güç Kalitesinin İzlenmesi, Analizi ve Uygun Harmonik Filtre Seçimi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora, Sakarya,125s.
GRAINGER, J. J. and STEVENSON, W.D. 1994. Power System Analysis. New York, 787s.
HAN, Z. 1982. Generalized Method of Analysis of Simultaneous Faults in Electric Power System. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems PAS-101 (10): 3933-42.
IEEE Std-1159, 2009, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. IEEE, New York, USA. t.y.
IGUAL, R. MEDRANO, C., ARCEGA, F. and MANTESCU, G. 2018. Integral Mathematical Model of Power Quality Disturbances".2018 18th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 05.2018, Ljubljana, 1-6.
İŞÇİ, Ö. 2003. Genetik Algoritma Yaklaşım ve Yöneylem Araştırmasında Bir Uygulama. Yönetim ve Ekonomi Dergisi, 10 (2): 191-208.
KALİNLİ, A. ve AKSU, Ö. 2011. "Baskın Gen Seçimi Operatörüne Dayalı Genetik Algoritma Modeli. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 26 (4): 8.
KESLER, M. 2010. Birleşik Güç Kalitede Düzenleyicisinin Senkron Referans Yapı Tabanlı Uygulama Tasarımı ve Analizi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kocaeli, 243s.
KURT, M. ve SEMETAY, C. 2001 Genetik Algoritma ve Uygulama Alanları Mühendis ve Makina, 42(501): 19-24.
KURUCA, E. 2009. Gezgin Satıcı Problemi Tabanlı Bir Sistemin Dinamik Bulanık Genetik Algoritmalar ile Optimizasyonu. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 96s.
KUSKO, A. 2007. Power Quality in Electrical Systems. McGraw-Hill Education. New York.
KÜÇÜK, D., SALOR, Ö., GÜDER, M., DEMİRCİ, T., AKKAYA, Y., ÇADIRCI, I. ve ERMİŞ, M. Türkiye Elektrik İletim Sisteminde Harmonik Bozulma ve Kırpışma Parametrelerinin Oluşturulan Güç Kalitesi Veritabanı Yapısıyla Değerlendirilmesi. III. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli, 6s.
LAMBARA, A., GUPTA, K. and CHOPRA, K. 2019. Genetic Algorithm- A Literature Review. 2019 International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (COMITCon), Faridabad, India, 380-84.
LIAO, H., MILANOVIC, J.V., RADRIQUES, M. and SHENFİELD, A. 2018.Voltage Sag Estimation in Sporsely Monitored Power Systems Based on Deep Learning and System Area Mopping. IEEE Transactions on Power Delivery, 20(2): 1738-1477.
PEHLİVANTÜRK, E. 2018. Güç kalitesi ve Güç kalitesi kontrolörleri. Yıldız

Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 115s.

PARK, C.H. and JANG, G. 2007.Stochastic Estimation of Voltage Sags in a Large Meshed Network. IEEE Transactions on Power Delivery, 22(3): 1655-1664.

MAHFOUD, F., GUZUN, Y., LAZAROIU, G. and ALHELOU, H. 2019. Power Quality of Electrical Power Systems. Chapter. Handbook of Research on Smart Power System Operation and Control. IGI Global.

MAN, K., TANG, K. and KWONG, S. 2001. Genetic Algorithms: Concepts and Designs. Springer Science & Business Media.

MATAIR, S.S., WATSON, N., WONG, K., PHAM, V. and ARRILLAGA, J. 2000. Harmonic state estimation: a method for remote harmonic assessment in a deregulated utility network. DRPT2000. International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies. Proceedings (Cat. No.00EX382), London, 41-46.

MATPOWER/matpower. (2016) 2022. MATLAB. MATPOWER Development.

MERAL, M. 2009. Voltage Quality Enhancementwith Custom Power Park. Adana: Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 212s.

VELAYATI, M. and MORAVEJ, Z. 2009. Power quality events classification and recognition using a novel support vector algorithm. Energy Conversion and Management, 50:3071-3077.

KARADAYI, Ş. 2007. Elektrik Enerji Sistemlerinde Gerilim Düşümlerinin Etkileri. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi Sakarya, 149s.

OLGUIN, G., VUINOVICH, F. and BOLLEN, M.H.J. 2006. An optimal monitoring program for obtaining Voltage sag system indexes. IEEE Transactions on Power Systems 21 (1): 378-84.

OLGUIN, G. 2003. Stochastic Assessment of Voltage Dips Caused by Faults in Large Transmission System. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. Göteborg, Sweden, 123s.

ÖZDEMİR, E. 2009. Elekrik Enerjisi Kalitesi. EVK 2009, 3. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 20.05.2009, Kocaeli, 280-285.

ÖZDEMİR, M. 2017. Genetik Algoritma İle Doğrusal Regresyonda Tahmin Amaçli Model Seçimi. Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (28), 213-233.

ÖZDEMİR, Ö. 2020. Güç Ssistemlerinde Dinamik Voltaj Regülatörlerin Kullanılması. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 88s.

ÖZSA, M.Y. ve ÇUNKA, M. 2008. Optimizasyon Problemlerinin Çözümü için Parçaçık Sürü Optimizasyonu Algoritması. Politeknik Dergisi 11 (4): 299-305.

ÖZŞAHİN, M. ve ORAL, M. 2010. Genetik Algoritma ile İki Boyutlu Şekil Yerleştirme. Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu-BMYS 2010, 415-432.

PAKSOY, S. ve UZUN, A. 2008. Genetik Algoritma ile Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme. Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 17 (2): 345-62.

PARK, C. and JANG, G. 2007. Stochastic Estimation of Voltage Sags in a Large Meshed Network. Transactions on Power Delivery, 22(3): 1655-1664.

POWER SYSTEMS TEST CASE ARCHIVE ,1993

https://labs.ece.uw.edu/pstca/pf30/pg_tca30bus.htm 13.03.2022
POWER SYSTEMS TEST CASE ARCHIVE ,1993 https://labs.ece.uw.edu/pstca/pf118/pg_tca118bus.htm 13.03.2022
POWER SYSTEMS TEST CASE ARCHIVE, 1987 https://labs.ece.uw.edu/pstca/dyn50/pg_tcadd50.htm 13.03.2022
ŞAHİN, Ö. 2003. Elektrik Güç Sistemlerinde Harmonik Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 86s.
TAYJASANANT, T., LI, C. and XU,W. 2005. A Resistance Sign-based Method for Voltage Sag Source.IEEE Transactions on Power Delivery, 20(4): 2544-2551.
TURAN, M. ve KARCİ, H. 2021. Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Esnek Hesaplama Yöntemleri ile Güç Kalite İzleyici Yerleşimi. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi 6 (2): 102-10.
UÇAR, F. 2019. Güç Kalitesi Olaylarının Makine Öğrenme Teknikleri ile Sınıflandırılması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ, 166s.
YÜKSEL, O. 2022. Konya'nın Kar Yağışlı Bölgesinde Alçak Gerilimde Dağıtım Sistemine Bağlı Farklı İnverter Yapılarının Güç Kalitesine Etkilerinin Değerlendirilmesi. Konya Teknik Üniversitesi, Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 81s.
ZEYVELİ, M. 2007. Genetik Algoritmalar Ve Mekanik Tasarım Problemleri Uygulamaları. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi,2, 1-13.
WANG, J., LIE, T.T. and CHEN, S. 2005. System Voltage Sag Performance Estimation. IEEE Transactions on Power Delivery, 20(2): 1738-1747.
WANG, B., XU, W. and PON, Z. 2005. System Voltage Sag Estimation for Power Distribution System. IEEE Transactions on Power Delivery, 20(2): 806-812.

EKLER

EK.1: Octave'da 0.1,0.2,0.3 eşik değeri için IEEE Bus-24 için ortalama hata değerlerinin elde edilmesi;

```
function hataVec = solveProblem ()
clear all;
pkg load ga
%monitoredBus = [3 6 8 17];
phi=0:0.01:1;
threshold = 0.1,%0.2,%0.3;
simNum =10;
global H;
global M;
global newlines;
global maxVoltSagPerSeg;
tahminEdilenBuslar = [2, 4,5,9,10,11,13,18,21,23];
ltEB =length(tahminEdilenBuslar);
hataVec=[];
popSize = 200;
for j=1:ltEB
    hata=0;
    busI = tahminEdilenBuslar(j);
   [H,M,X,HbusI,MbusI] = setProblem (threshold, monitoredBus,busI,phi);
   maxVoltSagPerSeg = sum(H)/length(H);
for i=1:simNum
     lb = zeros(1,length(X)) ;
     ub = maxVoltSagPerSeg * ones( 1, length(X));
    myOptions                                                    =
gaoptimset('CreationFcn',@myCreationFunc,'MutationFcn',{@myMutation,4,1},'Po
pulationSize',popSize);
     myOptions.PopInitRange = [lb;ub];
     bulunanX = ga(@myFitness,length(X),[],[],[],[],lb,ub,[],myOptions);
```

```
      bulunanHbusI = MbusI * bulunanX';
      hata = hata + abs(bulunanHbusI - HbusI);
    endfor
ortHata = hata /simNum
hataVec=[hataVec ortHata];
endfor
endfunction
```

EK.2: Octave'da 0.1,0.2,0.3 eşik değeri için IEEE Bus-30 için ortalama hata değerlerinin elde edilmesi;

```
function hataVec = solveProblem ()
clear all;
pkg load ga
monitoredBus = [11 13 14 20 23 26 30]; %0,1 ve 0,2  için
monitoredBus = [11 13 14 17 19 23 26 30]; %0,3 için
phi=0:0.01:1;
threshold = 0.1,%0.2,%0.3;
simNum =10;
global H;
global M;
global newlines;
global maxVoltSagPerSeg;
tahminEdilenBuslar = [2,4,5,9,10,12,18,21,22,29]
ltEB =length(tahminEdilenBuslar);
hataVec=[];
popSize = 200;
for j=1:ltEB
    hata=0;
    busI = tahminEdilenBuslar(j);
   [H,M,X,HbusI,MbusI] = setProblem (threshold, monitoredBus,busI,phi);
   maxVoltSagPerSeg = sum(H)/length(H);
for i=1:simNum
     lb = zeros(1,length(X)) ;
     ub = maxVoltSagPerSeg * ones( 1, length(X));
    myOptions                                                                    =
gaoptimset('CreationFcn',@myCreationFunc,'MutationFcn',{@myMutation,4,1},'Po
pulationSize',popSize);
     myOptions.PopInitRange = [lb;ub];
     bulunanX = ga(@myFitness,length(X),[],[],[],[],lb,ub,[],myOptions);
     bulunanHbusI = MbusI * bulunanX';
```

```
      hata = hata + abs(bulunanHbusI - HbusI);
    endfor
ortHata = hata /simNum
hataVec=[hataVec ortHata];
endfor
endfunction
```

EK.3: Octave'da 0.1,0.2,0.3 eşik değeri için IEEE Bus-118 için ortalama hata değerlerinin elde edilmesi;

```
function hataVec = solveProblem ()
clear all;
pkg load ga
monitoredBus = [10 13 16 18 22 24 25 26 33 36 40 43 45 47 48 57 58 59 62 67 72
73 75 79 102 113 115 117 118];
 monitoredBus = [3 10 13 14 16 18 22 23 24 25 26 28 33 36 39 41 43 45 46 47 48
50 53 57 59 61 62 67 72 73 74 79 87 97 112 113 115 117 118];
 monitoredBus = [3 10 13 14 16 18 19 21 23 24 25 26 29 33 36 39 41 42 43 45 46
47 48 50 53 57 58 59 60 62 63 67 72 73 74 79 87 97 98 112 113 115 117 118];
phi=0:0.01:1;
threshold = 0.1,%0.2,%0.3;
simNum =10;
global H;
global M;
global newlines;
global maxVoltSagPerSeg;
tahminEdilenBuslar = [2,12,21,29,37,46,60,76,104,109];
ltEB =length(tahminEdilenBuslar);
hataVec=[];
popSize = 200;
for j=1:ltEB
    hata=0;
    busI = tahminEdilenBuslar(j);
   [H,M,X,HbusI,MbusI] = setProblem (threshold, monitoredBus,busI,phi);
   maxVoltSagPerSeg = sum(H)/length(H);
for i=1:simNum
     lb = zeros(1,length(X)) ;
     ub = maxVoltSagPerSeg * ones( 1, length(X));
    myOptions                                                              =
gaoptimset('CreationFcn',@myCreationFunc,'MutationFcn',{@myMutation,4,1},'Po
```

```
pulationSize',popSize);
      myOptions.PopInitRange = [lb;ub];
      bulunanX = ga(@myFitness,length(X),[],[],[],[],lb,ub,[],myOptions);
      bulunanHbusI = MbusI * bulunanX';
      hata = hata + abs(bulunanHbusI - HbusI);
    endfor
ortHata = hata /simNum
hataVec=[hataVec ortHata];
endfor
endfunction
```

EK.4: Octave'da 0.1,0.2,0.3 eşik değeri için IEEE Bus-118 için ortalama hata değerlerinin elde edilmesi;

```
function hataVec = solveProblem ()
clear all;
pkg load ga
monitoredBus = [10 13 16 18 22 24 25 26 33 36 40 43 45 47 48 57 58 59 62 67 72
73 75 79 102 113 115 117 118]; %ieee-118 0,1 bus sistemi için
 monitoredBus = [3 10 13 14 16 18 22 23 24 25 26 28 33 36 39 41 43 45 46 47 48
50 53 57 59 61 62 67 72 73 74 79 87 97 112 113 115 117 118]; %ieee-118 0,2 bus
sistemi için
 monitoredBus = [3 10 13 14 16 18 19 21 23 24 25 26 29 33 36 39 41 42 43 45 46
47 48 50 53 57 58 59 60 62 63 67 72 73 74 79 87 97 98 112 113 115 117 118];
%ieee-118 0,3 bus sistemi için
phi=0:0.01:1;
threshold = 0.1,%0.2,%0.3;
simNum =10;
global H;
global M;
global newlines;
global maxVoltSagPerSeg;
tahminEdilenBuslar = [2,12,21,29,37,46,60,76,104,109];
ltEB =length(tahminEdilenBuslar);
hataVec=[];
popSize = 200;
for j=1:ltEB
    hata=0;
    busI = tahminEdilenBuslar(j);
   [H,M,X,HbusI,MbusI] = setProblem (threshold, monitoredBus,busI,phi);
   maxVoltSagPerSeg = sum(H)/length(H);
for i=1:simNum
     lb = zeros(1,length(X)) ;
     ub = maxVoltSagPerSeg * ones( 1, length(X));
```

```
    myOptions =
gaoptimset('CreationFcn',@myCreationFunc,'MutationFcn',{@myMutation,4,1},'Po
pulationSize',popSize);
     myOptions.PopInitRange = [lb;ub];
     bulunanX = ga(@myFitness,length(X),[],[],[],[],lb,ub,[],myOptions);
     bulunanHbusI = MbusI * bulunanX';
     hata = hata + abs(bulunanHbusI - HbusI);
   endfor
ortHata = hata /simNum
hataVec=[hataVec ortHata];
endfor
endfunction
```

EK.5: Problemin oluşturulması

```
function [H,M,X,HbusI,MbusI] = setProblem (threshold, monitoredBus,busI,phi)
  global newlines;
[zbus,Zbus,Ybus,lines] = IEEE118();
[allSegments,segmentsBoundary,newlines]=setSegments(threshold,monitoredBus,b
usI,phi,zbus,Zbus,Ybus,lines);
M=setMMatrix(threshold,monitoredBus,phi,busI,zbus,Zbus,Ybus,lines,allSegments
,segmentsBoundary);
MbusI=
setMMatrix(threshold,busI,phi,busI,zbus,Zbus,Ybus,lines,allSegments,segmentsBo
undary;
X=setXvector(newlines);
H=M*X;
HbusI=MbusI*X;
endfunction
```

EK.6: Segmentlerin oluşturulması

```
function
[allSegments,segmentsBoundary,newlines]=setSegments(threshold,monitoredBus,b
usI,phi,zbus,Zbus,Ybus,lines)
 monitoredBus=[monitoredBus busI];
 lphi=length(phi);
 [lrow,lcol] = size(lines);
 lmonitoredBus=length(monitoredBus);
 allSegments
  segmentsBoundary =
 segmentStart = 1;
 for ii=1:lrow
  segments=[];
  for jj=1:lmonitoredBus
   voltBusM=
abs(voltageBusIAfterFaultJK(monitoredBus(jj),lines(ii,1),lines(ii,2),phi,zbus,Zbus);
    for k=1:lphi-1
     if( (voltBusM(k)-threshold)*(voltBusM(k+1)-threshold) <= 0 )
     if( (voltBusM(k) - threshold )<= 0)
     segments=[segments,phi(k)];
     elseif( (voltBusM(k+1) - threshold) <= 0 )
     segments=[segments,phi(k+1)];
    endif
  endif
 endfor
endfor
segments=unique(segments);
segments=[segments 1];
lines(ii,3) = length(segments);
lines(ii,4) = lines(ii,5) / lines(ii,3);
allSegments=[allSegments segments];
segmentEnd = length(allSegments);
```

```
segmentsBoundary = [segmentsBoundary;segmentStart segmentEnd];
segmentStart = segmentEnd+1;
endfor
newlines = lines;
endfunction
```

EK.7: Fonksiyonun oluşturulması

```
function myPop = myCreationFunc (geneLength, fitnessFunc,optionObj)
global newlines;
myPop = zeros(optionObj.PopulationSize,geneLength);
for i=1:optionObj.PopulationSize
myPop(i,:) = setXvector(newlines);
endfor
endfunction
```

EK.8: Çaprazlamanın gerçekleştirilmesi

```
function xoverKids = myCrossover(parents, options, nvars, FitnessFcn, unused, thisPopulation)
nc_parents=columns(parents);
xoverKids = zeros( nc_parents,nvars);
for i=1:nc_parents
startIndex = randi(nvars);
endIndex = randi(nvars);
xoverKids(i,:) = thisPopulation(parents(i),:);
endfor
xoverKids = crossoverscattered(parents, options, nvars, FitnessFcn, unused, thisPopulation);
endfunction
```

EK.9: Mutasyonun gerçekleştirilmesi

```
function mutationChildren = myMutation (parents, options, nvars, FitnessFcn,state,
thisScore,thisPopulation)
global maxVoltSagPerSeg;
nc_parents=columns(parents);
mutationChildren = zeros( nc_parents,nvars);
for i=1:nc_parents
startIndex = randi(nvars);
if(thisPopulation(parents(i),startIndex) < maxVoltSagPerSeg)
thisPopulation(parents(i),startIndex);
else
thisPopulation(parents(i),startIndex);
endif
thisPopulation(parents(i),startIndex) = abs(maxVoltSagPerSeg -
thisPopulation(parents(i),startIndex));
mutationChildren(i,:) = thisPopulation(parents(i),:);
endfor
endfunction
```

EK.10: Fitness fonksiyonunun oluşturulması

```
function err = myFitness (stateX)
global H;
global M;
err = sum(abs(H-M*stateX'));
endfunction
```

EK.11: IEEE30 Bus sistemi

```
function [zbus,Zbus,Ybus,lines] = IEEE30()
% F  T    X     R      B     rA  rB  rC rat ang sts angmin  angmax
line=[
1    2    0.02  0.06   0.0528 130 130 130 0   0   1   -
360  360;
     1    3    0.05  0.19   0.0408 130 130 130 0   0   1
     -360 360;
     2    4    0.06  0.17   0.0368 65  65  65  0   0   1
     -360 360;
     3    4    0.01  0.04   0.0084 130 130 130 0   0   1
     -360 360;
     2    5    0.05  0.2    0.0418 130 130 130 0   0   1
     -360 360;
     2    6    0.06  0.18   0.0374 65  65  65  0   0   1
     -360 360;
     4    6    0.01  0.04   0.0090 90  90  90  0   0   1
     -360 360;
     5    7    0.05  0.12   0.0204 70  70  70  0   0   1
     -360 360;
     6    7    0.03  0.08   0.0170 130 130 130 0   0   1
     -360 360;
     6    8    0.01  0.04   0.0090 32  32  32  0   0   1
     -360 360;
     6    9    0     0.21   0      65  65  65  0   0   1
     -360 360;
     6    10   0     0.56   0      32  32  32  0   0   1
     -360 360;
     9    11   0     0.21   0      65  65  65  0   0   1
     -360 360;
     9    10   0     0.11   0      65  65  65  0   0   1
```

-360	360;									
4	12	0	0.26	0	65	65	65	0	0	1
-360	360;									
12	13	0	0.14	0	65	65	65	0	0	1
-360	360;									
12	14	0.12	0.26	0	32	32	32	0	0	1
-360	360;									
12	15	0.07	0.13	0	32	32	32	0	0	1
-360	360;									
12	16	0.09	0.2	0	32	32	32	0	0	1
-360	360;									
14	15	0.22	0.2	0	16	16	16	0	0	1
-360	360;									
16	17	0.08	0.19	0	16	16	16	0	0	1
-360	360;									
15	18	0.11	0.22	0	16	16	16	0	0	1
-360	360;									
18	19	0.06	0.13	0	16	16	16	0	0	1
-360	360;									
19	20	0.03	0.07	0	32	32	32	0	0	1
-360	360;									
10	20	0.09	0.21	0	32	32	32	0	0	1
-360	360;									
10	17	0.03	0.08	0	32	32	32	0	0	1
-360	360;									
10	21	0.03	0.07	0	32	32	32	0	0	1
-360	360;									
10	22	0.07	0.15	0	32	32	32	0	0	1
-360	360;									
21	22	0.01	0.02	0	32	32	32	0	0	1
-360	360;									
15	23	0.1	0.2	0	16	16	16	0	0	1

```
    -360    360;
    22      24      0.12    0.18    0       16      16      16      0       0       1
    -360    360;
    23      24      0.13    0.27    0       16      16      16      0       0       1
    -360    360;
    24      25      0.19    0.33    0       16      16      16      0       0       1
    -360    360;
    25      26      0.25    0.38    0       16      16      16      0       0       1
    -360    360;
    25      27      0.11    0.21    0       16      16      16      0       0       1
    -360    360;
    28      27      0       0.4     0       65      65      65      0       0       1
    -360    360;
    27      29      0.22    0.42    0       16      16      16      0       0       1
    -360    360;
    27      30      0.32    0.6     0       16      16      16      0       0       1
    -360    360;
    29      30      0.24    0.45    0       16      16      16      0       0       1
    -360    360;
    8       28      0.06    0.2     0.0428  32      32      32      0       0       1
    -360    360;
    6       28      0.02    0.06    0.0130  32      32      32      0       0       1
    -360    360;
];
outageRate =[0.1611;0.4625;0.3463;0.4324;0.3691;0.3105;0.2697;
0.3866;0.3994;0.4321;0.3539;0.2999;0.1857;0.4683;0.3076;0.2153;
0.6148;0.4234;0.6064;0.4252;0.3542;0.3749;0.3743;0.2458;0.1940;
0.2223;0.2555;0.4616;0.3639;0.5762;0.1455;0.4348;0.1927;0.2685;
0.5612;0.4213;0.5728;0.4515;0.4456;0.5092;0.3000];
F = line(:,1);
T = line(:,2);
lines=zeros(41,5);
```

```
lines(:,1) = F;
lines(:,2) = T;
lines(:,3) = 1;
lines(:,4) = outageRate;
lines(:,5) = outageRate;
R = line(:,3);
X = line(:,4);
B = line(:,5);
tap = line(:,9);
tap(tap == 0) = 1;
zbusTemp = R + i*X;
zbus=zeros(30,30);
for i=1:length(F)
  zbus(F(i),T(i))= R(i)+i*X(i);
  zbus(T(i),F(i)) = R(i)+i*X(i);
  endfor
ybus = 1./zbusTemp;
nline = length(F);
nbus=max(max(F),max(T));
Ybus=zeros(nbus,nbus);
% off diagonal elements
for k=1:nline
   Ybus(F(k),T(k))= Ybus(F(k),T(k))-ybus(k);
    Ybus(T(k),F(k))= Ybus(F(k),T(k));
end
for m=1:nbus
    for n=1:nline
        if F(n)==m
            Ybus(m,m)=Ybus(m,m)+ybus(n) + 4*i*B(n);
        elseif T(n)==m
            Ybus(m,m)=Ybus(m,m)+ybus(n)+4*i*B(n);
        end
```

```
    end
end
Zbus=inv(Ybus);
end
```

EK.12: IEEE118 Bus sistemi

```
function [zbus,Zbus,Ybus,lines] = IEEE118()
% F  T    X     R      B     rA  rB  rC rat ang sts angmin  angmax
line=[
      1    2    0.0303 0.0999 0.0254 0    0    0    0    0    1
      -360 360;
      1    3    0.0129 0.0424 0.01082    0    0    0    0    0
      1    -360 360;
      4    5    0.00176      0.00798      0.0021 0    0    0    0
      0    1    -360 360;
      3    5    0.0241 0.108  0.0284 0    0    0    0    0    1
      -360 360;
      5    6    0.0119 0.054  0.01426    0    0    0    0    0
      1    -360 360;
      6    7    0.00459      0.0208 0.0055 0    0    0    0    0
      1    -360 360;
      8    9    0.00244      0.0305 1.162  0    0    0    0    0
      1    -360 360;
      8    5    0      0.0267 0      0    0    0    0.985  0
      1    -360 360;
      9    10   0.00258      0.0322 1.23   0    0    0    0    0
      1    -360 360;
      4    11   0.0209 0.0688 0.01748    0    0    0    0    0
      1    -360 360;
      5    11   0.0203 0.0682 0.01738    0    0    0    0    0
      1    -360 360;
      11   12   0.00595      0.0196 0.00502    0    0    0    0
      0    1    -360 360;
      2    12   0.0187 0.0616 0.01572    0    0    0    0    0
      1    -360 360;
      3    12   0.0484 0.16   0.0406 0    0    0    0    0    1
      -360 360;
```

7 12 0.00862 0.034 0.00874 0 0 0 0
0 1 -360 360;
11 13 0.02225 0.0731 0.01876 0 0 0 0
0 1 -360 360;
12 14 0.0215 0.0707 0.01816 0 0 0 0 0
1 -360 360;
13 15 0.0744 0.2444 0.06268 0 0 0 0 0
1 -360 360;
14 15 0.0595 0.195 0.0502 0 0 0 0 0 1
-360 360;
12 16 0.0212 0.0834 0.0214 0 0 0 0 0 1
-360 360;
15 17 0.0132 0.0437 0.0444 0 0 0 0 0 1
-360 360;
16 17 0.0454 0.1801 0.0466 0 0 0 0 0 1
-360 360;
17 18 0.0123 0.0505 0.01298 0 0 0 0 0
1 -360 360;
18 19 0.01119 0.0493 0.01142 0 0 0 0
0 1 -360 360;
19 20 0.0252 0.117 0.0298 0 0 0 0 0 1
-360 360;
15 19 0.012 0.0394 0.0101 0 0 0 0 0 1
-360 360;
20 21 0.0183 0.0849 0.0216 0 0 0 0 0 1
-360 360;
21 22 0.0209 0.097 0.0246 0 0 0 0 0 1
-360 360;
22 23 0.0342 0.159 0.0404 0 0 0 0 0 1
-360 360;
23 24 0.0135 0.0492 0.0498 0 0 0 0 0 1
-360 360;

```
23  25  0.0156 0.08   0.0864 0  0  0  0  0  1
-360 360;
26  25  0      0.0382 0      0  0  0  0.96 0  1
-360 360;
25  27  0.0318 0.163  0.1764 0  0  0  0  0  1
-360 360;
27  28  0.01913      0.0855 0.0216 0  0  0  0  0
1   -360 360;
28  29  0.0237 0.0943 0.0238 0  0  0  0  0  1
-360 360;
30  17  0      0.0388 0      0  0  0  0.96 0  1
-360 360;
8   30  0.00431      0.0504 0.514  0  0  0  0  0
1   -360 360;
26  30  0.00799      0.086  0.908  0  0  0  0  0
1   -360 360;
17  31  0.0474 0.1563 0.0399 0  0  0  0  0  1
-360 360;
29  31  0.0108 0.0331 0.0083 0  0  0  0  0  1
-360 360;
23  32  0.0317 0.1153 0.1173 0  0  0  0  0  1
-360 360;
31  32  0.0298 0.0985 0.0251 0  0  0  0  0  1
-360 360;
27  32  0.0229 0.0755 0.01926      0  0  0  0  0
1   -360 360;
15  33  0.038  0.1244 0.03194      0  0  0  0  0
1   -360 360;
19  34  0.0752 0.247  0.0632 0  0  0  0  0  1
-360 360;
35  36  0.00224      0.0102 0.00268      0  0  0  0
0   1   -360 360;
```

35 37 0.011 0.0497 0.01318 0 0 0 0 0
1 -360 360;
33 37 0.0415 0.142 0.0366 0 0 0 0 0 1
-360 360;
34 36 0.00871 0.0268 0.00568 0 0 0 0
0 1 -360 360;
34 37 0.00256 0.0094 0.00984 0 0 0 0
0 1 -360 360;
38 37 0 0.0375 0 0 0 0 0.935 0
1 -360 360;
37 39 0.0321 0.106 0.027 0 0 0 0 0 1
-360 360;
37 40 0.0593 0.168 0.042 0 0 0 0 0 1
-360 360;
30 38 0.00464 0.054 0.422 0 0 0 0 0
1 -360 360;
39 40 0.0184 0.0605 0.01552 0 0 0 0 0
1 -360 360;
40 41 0.0145 0.0487 0.01222 0 0 0 0 0
1 -360 360;
40 42 0.0555 0.183 0.0466 0 0 0 0 0 1
-360 360;
41 42 0.041 0.135 0.0344 0 0 0 0 0 1
-360 360;
43 44 0.0608 0.2454 0.06068 0 0 0 0 0
1 -360 360;
34 43 0.0413 0.1681 0.04226 0 0 0 0 0
1 -360 360;
44 45 0.0224 0.0901 0.0224 0 0 0 0 0 1
-360 360;
45 46 0.04 0.1356 0.0332 0 0 0 0 0 1
-360 360;

```
46  47  0.038  0.127  0.0316 0  0  0  0  0  1
-360 360;
46  48  0.0601 0.189  0.0472 0  0  0  0  0  1
-360 360;
47  49  0.0191 0.0625 0.01604 0  0  0  0  0
1   -360 360;
42  49  0.0715 0.323  0.086  0  0  0  0  0  1
-360 360;
42  49  0.0715 0.323  0.086  0  0  0  0  0  1
-360 360;
45  49  0.0684 0.186  0.0444 0  0  0  0  0  1
-360 360;
48  49  0.0179 0.0505 0.01258 0  0  0  0  0
1   -360 360;
49  50  0.0267 0.0752 0.01874 0  0  0  0  0
1   -360 360;
49  51  0.0486 0.137  0.0342 0  0  0  0  0  1
-360 360;
51  52  0.0203 0.0588 0.01396 0  0  0  0  0
1   -360 360;
52  53  0.0405 0.1635 0.04058 0  0  0  0  0
1   -360 360;
53  54  0.0263 0.122  0.031  0  0  0  0  0  1
-360 360;
49  54  0.073  0.289  0.0738 0  0  0  0  0  1
-360 360;
49  54  0.0869 0.291  0.073  0  0  0  0  0  1
-360 360;
54  55  0.0169 0.0707 0.0202 0  0  0  0  0  1
-360 360;
54  56  0.00275          0.00955          0.00732          0  0  0
0   0   1    -360 360;
```

55 56 0.00488 0.0151 0.00374 0 0 0 0
0 1 -360 360;
56 57 0.0343 0.0966 0.0242 0 0 0 0 0 1
-360 360;
50 57 0.0474 0.134 0.0332 0 0 0 0 0 1
-360 360;
56 58 0.0343 0.0966 0.0242 0 0 0 0 0 1
-360 360;
51 58 0.0255 0.0719 0.01788 0 0 0 0 0
1 -360 360;
54 59 0.0503 0.2293 0.0598 0 0 0 0 0 1
-360 360;
56 59 0.0825 0.251 0.0569 0 0 0 0 0 1
-360 360;
56 59 0.0803 0.239 0.0536 0 0 0 0 0 1
-360 360;
55 59 0.04739 0.2158 0.05646 0 0 0 0
0 1 -360 360;
59 60 0.0317 0.145 0.0376 0 0 0 0 0 1
-360 360;
59 61 0.0328 0.15 0.0388 0 0 0 0 0 1
-360 360;
60 61 0.00264 0.0135 0.01456 0 0 0 0
0 1 -360 360;
60 62 0.0123 0.0561 0.01468 0 0 0 0 0
1 -360 360;
61 62 0.00824 0.0376 0.0098 0 0 0 0 0
1 -360 360;
63 59 0 0.0386 0 0 0 0 0.96 0 1
-360 360;
63 64 0.00172 0.02 0.216 0 0 0 0 0
1 -360 360;

64 61 0 0.0268 0 0 0 0 0.985 0 1 -360 360;
38 65 0.00901 0.0986 1.046 0 0 0 0 0 1 -360 360;
64 65 0.00269 0.0302 0.38 0 0 0 0 0 1 -360 360;
49 66 0.018 0.0919 0.0248 0 0 0 0 0 1 -360 360;
49 66 0.018 0.0919 0.0248 0 0 0 0 0 1 -360 360;
62 66 0.0482 0.218 0.0578 0 0 0 0 0 1 -360 360;
62 67 0.0258 0.117 0.031 0 0 0 0 0 1 -360 360;
65 66 0 0.037 0 0 0 0 0.935 0 1 -360 360;
66 67 0.0224 0.1015 0.02682 0 0 0 0 0 1 -360 360;
65 68 0.00138 0.016 0.638 0 0 0 0 0 1 -360 360;
47 69 0.0844 0.2778 0.07092 0 0 0 0 0 1 -360 360;
49 69 0.0985 0.324 0.0828 0 0 0 0 0 1 -360 360;
68 69 0 0.037 0 0 0 0 0.935 0 1 -360 360;
69 70 0.03 0.127 0.122 0 0 0 0 0 1 -360 360;
24 70 0.00221 0.4115 0.10198 0 0 0 0 0 1 -360 360;
70 71 0.00882 0.0355 0.00878 0 0 0 0 0 1 -360 360;

24	72	0.0488	0.196	0.0488	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
71	72	0.0446	0.18	0.04444		0	0	0	0	0
1	-360	360;								
71	73	0.00866		0.0454	0.01178		0	0	0	0
0	1	-360	360;							
70	74	0.0401	0.1323	0.03368		0	0	0	0	0
1	-360	360;								
70	75	0.0428	0.141	0.036	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
69	75	0.0405	0.122	0.124	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
74	75	0.0123	0.0406	0.01034		0	0	0	0	0
1	-360	360;								
76	77	0.0444	0.148	0.0368	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
69	77	0.0309	0.101	0.1038	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
75	77	0.0601	0.1999	0.04978		0	0	0	0	0
1	-360	360;								
77	78	0.00376		0.0124	0.01264		0	0	0	0
0	1	-360	360;							
78	79	0.00546		0.0244	0.00648		0	0	0	0
0	1	-360	360;							
77	80	0.017	0.0485	0.0472	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
77	80	0.0294	0.105	0.0228	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
79	80	0.0156	0.0704	0.0187	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
68	81	0.00175		0.0202	0.808	0	0	0	0	0
1	-360	360;								

81	80	0	0.037	0	0	0	0	0.935	0	1
-360	360;									
77	82	0.0298	0.0853	0.08174		0	0	0	0	0
1	-360	360;								
82	83	0.0112	0.03665		0.03796		0	0	0	0
0	1	-360	360;							
83	84	0.0625	0.132	0.0258	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
83	85	0.043	0.148	0.0348	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
84	85	0.0302	0.0641	0.01234		0	0	0	0	0
1	-360	360;								
85	86	0.035	0.123	0.0276	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
86	87	0.02828		0.2074	0.0445	0	0	0	1	0
1	-360	360;								
85	88	0.02	0.102	0.0276	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
85	89	0.0239	0.173	0.047	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
88	89	0.0139	0.0712	0.01934		0	0	0	0	0
1	-360	360;								
89	90	0.0518	0.188	0.0528	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
89	90	0.0238	0.0997	0.106	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
90	91	0.0254	0.0836	0.0214	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
89	92	0.0099	0.0505	0.0548	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
89	92	0.0393	0.1581	0.0414	0	0	0	0	0	1
-360	360;									

91	92	0.0387	0.1272	0.03268	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
92	93	0.0258	0.0848	0.0218	0	0	0	0	1
-360	360;								
92	94	0.0481	0.158	0.0406	0	0	0	0	1
-360	360;								
93	94	0.0223	0.0732	0.01876	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
94	95	0.0132	0.0434	0.0111	0	0	0	0	1
-360	360;								
80	96	0.0356	0.182	0.0494	0	0	0	0	1
-360	360;								
82	96	0.0162	0.053	0.0544	0	0	0	0	1
-360	360;								
94	96	0.0269	0.0869	0.023	0	0	0	0	1
-360	360;								
80	97	0.0183	0.0934	0.0254	0	0	0	0	1
-360	360;								
80	98	0.0238	0.108	0.0286	0	0	0	0	1
-360	360;								
80	99	0.0454	0.206	0.0546	0	0	0	0	1
-360	360;								
92	100	0.0648	0.295	0.0472	0	0	0	0	1
-360	360;								
94	100	0.0178	0.058	0.0604	0	0	0	0	1
-360	360;								
95	96	0.0171	0.0547	0.01474	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
96	97	0.0173	0.0885	0.024	0	0	0	0	1
-360	360;								
98	100	0.0397	0.179	0.0476	0	0	0	0	1
-360	360;								

```
99      100     0.018   0.0813  0.0216  0       0       0       0       0       1
-360    360;
100     101     0.0277  0.1262  0.0328  0       0       0       0       0       1
-360    360;
92      102     0.0123  0.0559  0.01464 0       0       0       0       0
1       -360    360;
101     102     0.0246  0.112   0.0294  0       0       0       0       0       1
-360    360;
100     103     0.016   0.0525  0.0536  0       0       0       0       0       1
-360    360;
100     104     0.0451  0.204   0.0541  0       0       0       0       0       1
-360    360;
103     104     0.0466  0.1584  0.0407  0       0       0       0       0       1
-360    360;
103     105     0.0535  0.1625  0.0408  0       0       0       0       0       1
-360    360;
100     106     0.0605  0.229   0.062   0       0       0       0       0       1
-360    360;
104     105     0.00994         0.0378  0.00986 0       0       0       0
0       1       -360    360;
105     106     0.014   0.0547  0.01434 0       0       0       0       0
1       -360    360;
105     107     0.053   0.183   0.0472  0       0       0       0       0       1
-360    360;
105     108     0.0261  0.0703  0.01844 0       0       0       0       0
1       -360    360;
106     107     0.053   0.183   0.0472  0       0       0       0       0       1
-360    360;
108     109     0.0105  0.0288  0.0076  0       0       0       0       0       1
-360    360;
103     110     0.03906         0.1813  0.0461  0       0       0       0       0
1       -360    360;
```

```
109 110 0.0278 0.0762 0.0202 0 0 0 0 0 1
-360 360;
110 111 0.022 0.0755 0.02 0 0 0 0 0 1
-360 360;
110 112 0.0247 0.064 0.062 0 0 0 0 0 1
-360 360;
17 113 0.00913 0.0301 0.00768 0 0 0 0
0 1 -360 360;
32 113 0.0615 0.203 0.0518 0 0 0 0 0 1
-360 360;
32 114 0.0135 0.0612 0.01628 0 0 0 0 0
1 -360 360;
27 115 0.0164 0.0741 0.01972 0 0 0 0 0
1 -360 360;
114 115 0.0023 0.0104 0.00276 0 0 0 0 0
1 -360 360;
68 116 0.00034 0.00405 0.164 0 0 0 0
0 1 -360 360;
12 117 0.0329 0.14 0.0358 0 0 0 0 0 1
-360 360;
75 118 0.0145 0.0481 0.01198 0 0 0 0 0
1 -360 360;
76 118 0.0164 0.0544 0.01356 0 0 0 0 0
1 -360 360;
];
outageRate =[0.290269;0.381090;0.146276;0.309032;0.316890;
0.217949;0.340436;0.417250;0.184782;0.489593;0.538555;0.452419;
0.175341;0.192591;0.199857;0.471233;0.425950;0.267192;0.335300;
0.305550;0.275611;0.205449;0.262028;0.045922;0.288857;0.289663;
0.314651;0.550623;0.582056;0.216690;0.219584;0.443484;0.435661;
0.433048;0.305179;0.108227;0.492438;0.216832;0.282740;0.443718;
0.471780;0.369247;0.393893;0.421600;0.279724;0.221257;0.506462;
```

```
0.197995;0.569199;0.230491;0.503380;0.030648;0.443704;0.414812;
0.257407;0.526780;0.535322;0.099641;0.325391;0.158790;0.420231;
0.230746;0.582647;0.510903;0.407307;0.289061;0.375720;0.301069;
0.244183;0.080530;0.237456;0.413052;0.183074;0.277226;0.232433;
0.494766;0.434315;0.410665;0.308727;0.372184;0.124242;0.218792;
0.430121;0.421496;0.277302;0.287353;0.040789;0.226759;0.020911;
0.379965;0.295630;0.424994;0.266456;0.296414;0.582961;0.417351;
0.280169;0.305924;0.582258;0.283453;0.316693;0.130133;0.165808;
0.231587;0.173203;0.289841;0.312061;0.071770;0.276896;0.487274;
0.500986;0.357222;0.551558;0.081898;0.477925;0.560263;0.325432;
0.355530;0.215952;0.279694;0.690654;0.386509;0.276595;0.142612;
0.319370;0.106417;0.203735;0.058284;0.177473;0.299957;0.014312;
0.335924;0.395709;0.338537;0.421880;0.384008;0.154385;0.428676;
0.208065;0.100197;0.498536;0.326354;0.049346;0.569116;0.592353;
0.332437;0.246489;0.209119;0.275304;0.381965;0.673952;0.133003;
0.147720;0.130488;0.580146;0.416544;0.268113;0.209349;0.293820;
0.120146;0.430163;0.199618;0.303997;0.149913;0.315807;0.229786;
0.282677;0.388235;0.220296;0.485252;0.256750;0.402648;0.138468;
0.323323;0.422769;0.189773;0.142292;0.320412;0.211907;0.219218;
0.311143;0.310784;0.156204;0.442891;0.484540;0.343802];
F = line(:,1);
T = line(:,2);
lines=zeros(186,5);
lines(:,1) = F;
lines(:,2) = T;
lines(:,3) = 1;
lines(:,4) = outageRate;
lines(:,5) = outageRate;
R = line(:,3);
X = line(:,4);
B = line(:,5);
tap = line(:,6);
```

```
tap(tap == 0) = 1;
zbusTemp = R + i*X;
ybus = 1./zbusTemp;
zbus=zeros(118,118);
for i=1:length(F)
  zbus(F(i),T(i))= R(i)+i*X(i);
  zbus(T(i),F(i)) = R(i)+i*X(i);
  endfor
nline = length(F);
nbus=max(max(F),max(T));
Ybus=zeros(nbus,nbus);
for k=1:nline
   Ybus(F(k),T(k))= Ybus(F(k),T(k))-ybus(k);
    Ybus(T(k),F(k))= Ybus(F(k),T(k));
end
for m=1:nbus
    for n=1:nline
        if F(n)==m
            Ybus(m,m)=Ybus(m,m)+ybus(n)/(tap(n)^2) + i*B(n)/2;
        elseif T(n)==m
            Ybus(m,m)=Ybus(m,m)+ybus(n)+i*B(n)/2;
        end
    end
end
Zbus=inv(Ybus);
end
```

EK.13: IEEE145 Bus sistemi

```
function [zbus,Zbus,Ybus,lines] = IEEE145()
% F  T     X     R      B     rA  rB  rC rat ang sts angmin  angmax
line=[
      1     2     3e-05 0.0008 0.0632 8659  0     0     0     0     1
      -360  360;
      1     2     3e-05 0.0008 0.0632 0     0     0     0     0     1
      -360  360;
      1     3     -0.009 -0.1718       0     0     0     0     0.935 0
      1     -360  360;
      1     4     -0.009 -0.1718       0     0     0     0     0.935 0
      1     -360  360;
      1     5     -0.0089       -0.1697       0     0     0     0
      0.935 0     1     -360  360;
      1     6     0.00194       0.0209 2.3792 8659  0     0     0     0
      1     -360  360;
      1     33    0.0001 0.006  0     750   0     0     0.935       1
      -360  360;
      1     93    0.0002 0.0138 0     0     0     0     1.1036 0     1
      -360  360;
      1     93    0.0002 0.0138 0     0     0     0     1.1036 0     1
      -360  360;
      2     6     0.00194       0.0209 2.3792 8659  0     0     0     0
      1     -360  360;
      2     113   0      0.0148 0     0     0     0     1.1052 0     1
      -360  360;
      2     114   0.00018       0.0145 0     0     0     0     1.1052 0
      1     -360  360;
      3     33    0.0002 0.0221 0     0     0     0     0     0     1
      -360  360;
      4     33    0.0002 0.0221 0     0     0     0     0     0     1
```

-360 360;
5 33 0.0002 0.0219 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
6 7 0.00129 0.0139 1.4652 8659 0 0 0 0
1 -360 360;
6 9 0.00016 0.0017 0.1752 8659 0 0 0 0
1 -360 360;
6 10 0.00016 0.0017 0.1752 8659 0 0 0 0
1 -360 360;
6 12 0.0002 0.0021 0.8776 8659 0 0 0 0 1
-360 360;
6 12 0.0002 0.0021 0.8776 8659 0 0 0 0 1
-360 360;
7 8 -0.0112 -0.1516 0 0 0 0
0.9716 0 1 -360 360;
7 66 0.00015 0.0097 0 750 0 0 0.9716 0
1 -360 360;
7 104 0.00036 0.019 0 0 0 0 1.1052 0
1 -360 360;
7 104 0.00041 0.0174 0 0 0 0 1.1052 0
1 -360 360;
8 66 0.0002 0.0299 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
8 66 0.0002 0.0221 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
9 11 -0.0217 -0.3062 0 0 0 0
0.9166 0 1 -360 360;
9 69 0.0004 0.0188 0 750 0 0 0.9166 0 1
-360 360;
10 32 -0.027 -0.3041 0 0 0 0 0.9166 0
1 -360 360;
10 69 0.0004 0.0187 0 750 0 0 0.9166 0 1

-360 360;
11 69 0.0002 0.0262 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
12 13 -0.0223 -0.3099 0 0 0 0
0.9166 0 1 -360 360;
12 13 -0.0237 -0.316 0 0 0 0 0.9166 0
1 -360 360;
12 13 -0.0237 -0.316 0 0 0 0 0.9166 0
1 -360 360;
12 14 0.00096 0.0091 0.8556 8659 0 0 0 0
1 -360 360;
12 14 0.00096 0.0091 0.8556 8659 0 0 0 0
1 -360 360;
12 25 0.00051 0.0055 0.625 8659 0 0 0 0
1 -360 360;
12 25 0.00051 0.0055 0.625 8659 0 0 0 0
1 -360 360;
12 72 0.0003 0.0189 0 750 0 0 0.9166 0 1
-360 360;
12 72 0.0003 0.019 0 750 0 0 0.9166 0 1
-360 360;
12 72 0.0003 0.019 0 0 0 0 0.9166 0 1
-360 360;
13 72 0.0002 0.026 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
13 72 0.0003 0.0262 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
13 72 0.0002 0.026 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
14 15 -0.0415 -0.3996 0 0 0 0
0.9164 0 1 -360 360;
14 16 -0.01 -0.1669 0 0 0 0 0.9164 0

1 -360 360;
14 17 0.00339 0.0367 3.4582 8659 0 0 0 0
1 -360 360;
14 17 0.00352 0.0367 3.4516 8659 0 0 0 0
1 -360 360;
14 58 0.0002 0.0097 0 750 0 0 0.9164 0 1
-360 360;
15 58 0.0002 0.0255 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
16 58 0.0002 0.022 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;

17 18 -0.3181 -1.315 0 0 0 0 0.8708 0
1 -360 360;
17 19 0 -0.847 0 0 0 0 0.8634 0 1
-360 360;
17 20 0 -0.8676 0 0 0 0 0.8634 0
1 -360 360;
17 21 -0.0095 -0.1615 0 0 0 0
0.8708 0 1 -360 360;
17 22 0.00228 0.0276 2.6204 8659 0 0 0 0
1 -360 360;
17 59 0.0001 0.0071 0 750 0 0 0.8708 0 1
-360 360;
18 59 0.0002 0.0298 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
19 59 0 0.0629 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
20 59 0 0.0638 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
21 59 0.0002 0.0329 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;

22 23 0 -0.3787 0 0 0 0 0.9322 0
1 -360 360;
22 24 0.00173 0.0208 1.9648 8659 0 0 0 0
1 -360 360;
22 30 0 -0.3066 0 0 0 0 0.9532 0
1 -360 360;
22 78 0 0.0268 0 0 0 0 0.9532 0 1
-360 360;
22 83 0 0.0349 0 0 0 0 0.9322 0 1
-360 360;
23 83 0.0004 0.0595 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
23 83 0.0003 0.0597 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
24 76 0.0002 0.0088 0 0 0 0 0.9898 0 1
-360 360;
24 77 -0.0023 -0.0603 0 0 0 0
0.9898 0 1 -360 360;
25 26 -0.006 -0.1375 0 0 0 0 0.9166 0
1 -360 360;
25 27 0.0023 0.0266 3.0508 8659 0 0 0 0 1
-360 360;
25 27 0.0023 0.0266 3.0508 8659 0 0 0 0 1
-360 360;
25 31 -0.0082 -0.1648 0 0 0 0
0.9166 0 1 -360 360;
25 73 0.0003 0.0172 0 750 0 0 0.9166 0 1
-360 360;
25 74 0.0004 0.0179 0 750 0 0 0.9166 0 1
-360 360;
26 73 0.0003 0.0267 0 0 0 0 0 0
-360 360;

```
27	28	-0.1153	-0.7453	0	0	0	0
0.9074	0	1	-360	360;
27	29	-0.0163	-0.2618	0	0	0	0
0.9074	0	1	-360	360;
27	75	0.00016	0.01	0	750	0	0	0.9074	0
1	-360	360;
28	75	0.0002	0.029	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;
29	75	0.0002	0.0269	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;
30	78	0	0.0335	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;
31	74	0.0003	0.0279	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;
32	69	0.0002	0.0265	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;
33	34	6e-05	0.0009	0.0006	788	0	0	0	0	1
-360	360;
33	35	6e-05	0.0009	0.0006	490	0	0	0	0	1
-360	360;
33	37	0.00996	0.0707	0.1116	0	0	0	0	0
1	-360	360;
33	38	0.00995	0.0693	0.111	1155	0	0	0	0
1	-360	360;
33	39	0.0085	0.0699	0.1006	1208	0	0	0	0	1
-360	360;
33	40	0.00849	0.0698	0.1004	1208	0	0	0	0
1	-360	360;
33	49	0.0056	0.0493	0.0778	1078	0	0	0	0	1
-360	360;
33	50	0.0056	0.0493	0.0778	1078	0	0	0	0	1
-360	360;
```

33 110 0.00024 0.0157 0 0 0 0 1.18 0
1 -360 360;
33 110 0.00023 0.0156 0 0 0 0 1.18 0
1 -360 360;
34 36 0.00025 0.0022 0.0006 788 0 0 0 0
1 -360 360;
36 99 0.0008 0.0455 0 0 0 0 1.1291 0 1
-360 360;
37 87 0.00093 0.0442 0 0 0 0 1.05 0
1 -360 360;
37 88 0.0031 0.1651 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
38 88 0.0031 0.1638 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
39 43 0.00602 0.0495 0.0712 1208 0 0 0 0
1 -360 360;
39 84 0.00722 0.2786 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
40 44 0.00603 0.0496 0.0714 1208 0 0 0 0
1 -360 360;
40 84 0.00729 0.2756 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
41 42 0.0005 0.1514 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
41 43 1e-05 0.0009 0.0006 0 0 0 0 0 1
-360 360;
42 44 1e-05 0.0009 0.0006 0 0 0 0 0 1
-360 360;
43 46 0.00618 0.0508 0.0732 1208 0 0 0
1 -360 360;
44 45 0.00618 0.0508 0.0732 1208 0 0 0 0
1 -360 360;

45 61 0.00445 0.0366 0.0526 1208 0 0 0 0
1 -360 360;
45 85 0 0.26 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
46 61 0.00445 0.0366 0.0526 1208 0 0 0 0
1 -360 360;
46 85 0 0.2592 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
47 48 -0.01 0.2306 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
47 50 1e-05 0.0009 0.0006 0 0 0 0 0 1
-360 360;
47 87 0.0831 0.401 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
48 49 1e-05 0.0009 0.0006 0 0 0 0 0 1
-360 360;
48 87 0.0998 0.436 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
49 51 0.00898 0.079 0.1248 1078 0 0 0 0
1 -360 360;
50 51 0.00898 0.079 0.1248 1078 0 0 0 0
1 -360 360;
51 52 0.0029 0.0279 0.0466 858 0 0 0 0 1
-360 360;
51 53 0.0029 0.0279 0.0466 858 0 0 0 0 1
-360 360;
51 56 0.00759 0.0483 0.0712 1093 0 0 0 0
1 -360 360;
51 57 0.00759 0.0483 0.0712 1093 0 0 0 0
1 -360 360;
52 53 -0.0067 0.3911 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;

```
52	54	0.0047	0.0293	0.0462	0	0	0	0	0	1
-360	360;
53	55	0.0047	0.0293	0.0462	0	0	0	0	0	1
-360	360;
54	55	-0.0553	0.9289	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;
54	61	0.00141	0.0087	0.0138	390	0	0	0	0	0
1	-360	360;
55	61	0.00141	0.0087	0.0138	390	0	0	0	0	0
1	-360	360;
56	57	-0.009	0.3895	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;
56	58	0.0019	0.012	0.0178	0	0	0	0	0	1
-360	360;
57	58	0.0019	0.012	0.0178	0	0	0	0	0	1
-360	360;
58	59	0.6674	2.2175	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;
58	72	0.0302	0.2364	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;
58	87	0.0863	0.3906	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;
58	98	0.0131	0.1765	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;
58	100	0.1193	1.269	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;
58	103	0.8416	5.5383	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;
59	60	-0.1803	5.9659	0	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;
59	72	0.8613	3.0485	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;
```

59 79 0.0099 0.2644 0 0 0 0 0 0
-360 360;
59 80 0.2876 2.3898 0 0 0 0 0 1
-360 360;
59 89 0.3421 9.0571 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
59 92 -0.007 0.5678 0 0 0 0 0 0
-360 360;
59 94 0.7041 5.9885 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
59 98 0.106 0.5845 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
59 100 0.0183 0.2016 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
59 103 0.0368 0.3341 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
59 107 0.0372 0.8834 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
60 135 -1.831 9.7964 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
60 79 -0.0375 1.1068 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
60 80 0.0655 2.6441 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
60 90 -0.0201 1.5135 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
60 92 -0.264 3.7139 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
60 94 0.0012 0.0775 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
60 95 -0.0855 0.9926 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;

60 138 -0.3639 1.7936 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
61 62 -0.0362 -0.2608 0 0 0 0 1.05
0 1 -360 360;
61 62 -0.0472 -0.5438 0 0 0 0 1.05
0 1 -360 360;
61 63 0.00812 0.0782 0.1318 1331 0 0 0 0
1 -360 360;
61 63 0.00812 0.0782 0.1318 1331 0 0 0 0
1 -360 360;
61 64 0.00242 0.0318 0.0568 1839 0 0 0 0
1 -360 360;
61 65 0.00242 0.0318 0.0568 1208 0 0 0 0
1 -360 360;
61 86 0.00132 0.032 0 215 0 0 1.05 0
1 -360 360;
61 86 0.0011 0.037 0 250 0 0 1.05 0 1
-360 360;
61 86 0.0011 0.037 0 225 0 0 1.05 0 1
-360 360;
62 86 0.0036 0.0501 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
62 86 0.0013 0.0838 0 0 0 0 0 0
-360 360;
63 64 0.0147 0.2825 0 0 0 0 0 1
-360 360;
63 65 0.0147 0.2813 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
63 66 0.0056 0.09 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
63 67 0.0321 0.2785 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;

63 69 0.0107 0.1571 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
63 102 0.0106 0.1583 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
63 102 0.0106 0.1576 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
63 102 0.0107 0.1604 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
63 102 0.0104 0.1542 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
63 116 -0.3897 6.8588 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
63 117 0.003 0.056 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
63 118 -0.0125 0.2425 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
63 124 -0.1265 2.022 0 0 0 0 0
1 -360 360;
64 65 0.0013 0.1674 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
64 66 0.0039 0.0684 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
64 67 0.0233 0.212 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
64 69 0.0075 0.1196 0 0 0 0 0 0
-360 360;
64 97 -0.4336 8.2923 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
64 124 -0.1041 1.5375 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
65 66 0.0039 0.0682 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;

65	67	0.0233	0.2111	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
65	69	0.0075	0.1191	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
65	97	-0.4292		8.2582	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								
65	124	-0.1032		1.5312	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								
66	67	0.0081	0.0675	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
66	68	-2.473	2.472	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
66	69	0.0028	0.0381	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
66	97	-0.1119		2.6432	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								
66	111	0	0.0264	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
66	111	0.00057		0.0266	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								
66	111	0	0.0273	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
66	111	0.00057		0.0264	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								
66	124	-0.0283		0.4902	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								
67	68	-3.443	3.7172	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
67	69	0.0061	0.055	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
67	97	0.0063	0.1166	0	0	0	0	0	0	
-360	360;									

67	119	-0.2213	9.3918	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
67	120	-0.0034	1.7847	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
67	121	0.0082	1.17	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
67	122	-0.0047	0.4473	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
67	124	0.0003	0.0065	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
67	125	0.0062	0.2519	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
67	132	-0.3194	4.3566	0	0	0	0		0
1	-360	360;							
68	69	-0.692	0.6984	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
69	70	0.0085	0.3333	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
69	71	0.0075	0.312	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
69	72	0.0013	0.01	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
69	73	0.0098	0.0747	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
69	74	0.0135	0.0741	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
69	97	-0.0674	1.5849	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
69	101	0.0174	0.2188	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
69	112	0.0175	0.2201	0	0	0	0	0	1
-360	360;								

69	124	-0.0267	0.3986	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
70	71	-0.4891	2.6613	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
70	72	-0.0062	0.1216	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
70	73	-0.0424	0.9125	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
70	74	0.0032	0.9138	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
70	101	-0.1248	1.0409	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
70	112	-0.1257	1.0471	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
71	72	-0.006	0.1138	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
71	73	-0.0409	0.8541	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
71	74	0.0018	0.8553	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
71	101	-0.1592	1.2303	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
71	112	-0.1603	1.2377	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
72	73	0.0015	0.0275	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
72	74	0.0028	0.0274	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
72	98	0.0138	0.2417	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
72	100	0.1337	1.7384	0	0	0	0	0	1
-360	360;								

72	101	0.0002	0.0802	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
72	103	1.0224	7.5945	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
72	112	0.0002	0.0806	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
73	74	-0.0007	0.0393	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
73	75	0.0147	0.2581	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
73	81	-0.0122	0.3068	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
73	82	0.0036	2.0169	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
73	91	0.0271	0.5732	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
73	96	0.0245	0.4805	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
73	101	0.0044	0.6014	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
73	105	0.0007	0.0325	0	0	0	0	0		1
-360	360;									
73	105	0.0007	0.0325	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
73	105	0.0006	0.0295	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
73	108	-0.0182	0.5832	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
73	109	0.0524	3.0059	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
73	112	0.0043	0.605	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									

73	121	-0.0268	1.7653	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
74	75	0.0215	0.3277	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
74	81	-0.0333	0.4631	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
74	82	-0.0098	1.9859	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
74	91	0.0413	0.7511	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
74	96	0.435	7.6901	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
74	101	0.0344	0.6005	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
74	106	0.003	0.0335	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
74	106	0.0005	0.0328	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
74	108	-0.0187	0.4544	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
74	109	0.1004	3.4697	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
74	112	0.0345	0.6042	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
74	121	-0.0348	1.3757	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
75	82	0.0777	1.125	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
75	91	-0.2255	3.1442	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
75	96	-0.4516	4.631	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								

75 108 0.0042 0.1049 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
75 109 0.1046 1.4465 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
75 121 0.0178 0.3172 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
76 77 0.0002 0.016 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
76 89 0.0011 0.0221 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
79 80 0.044 0.0991 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
79 90 0.0506 2.471 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
79 92 0.0017 0.3032 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
79 94 0.1275 1.1195 0 0 0 0 0 0
-360 360;
79 95 0.305 6.4154 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
79 107 0.0786 1.414 0 0 0 0 0 0
-360 360;
80 90 0.4658 5.8756 0 0 0 0 0 0
-360 360;
80 92 0.1192 1.5053 0 0 0 0 0 0
-360 360;
80 94 0.46 2.6475 0 0 0 0 0 0
-360 360;
82 91 -0.2349 2.4188 0 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
82 108 -0.0742 0.7278 0 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;

82	109	-0.0071	0.2634	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
82	121	-0.1892	2.2054	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
83	89	0.0582	0.3855	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
89	103	-1.073	4.1433	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
90	92	-0.138	8.2959	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
90	94	0.0689	1.0717	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
91	96	-0.1224	4.2463	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
91	108	-0.1078	0.6994	0	0	0	0		0
1	-360	360;							
91	109	-0.2699	4.2634	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
91	121	-0.2924	2.121	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
92	94	0.2883	3.7717	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
92	107	0.0176	3.0227	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
94	95	0.0534	0.996	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
94	138	-0.1125	1.8385	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
95	138	-0.0732	0.6389	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
96	108	-0.8215	6.1143	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							

97	124	-0.3793	1.9557	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
98	100	-0.0063	0.3269	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
98	103	0.0544	1.4358	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
100	103	-0.0249	0.4891	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
101	112	-0.0138	0.361	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
102	117	-0.0003	0.019	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
102	118	-0.0267	0.3222	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
108	109	-0.0825	1.2713	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
108	121	-0.0009	0.0431	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
109	121	-0.1881	3.8499	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
115	116	0.0008	0.0291	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
115	117	-0.0092	0.2222	0	0	0	0	0		
1	-360	360;								
115	118	-0.0044	0.0677	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
115	143	-0.1017	0.4924	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
116	117	0.00191	0.0288	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
116	118	-0.001	0.044	0	0	0	0	0		1
-360	360;									

116 143 -0.2187 1.2896 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
117 118 0.0008 0.0081 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
117 143 -0.0834 0.6854 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
118 131 -0.8925 6.2385 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
118 132 -0.6967 8.143 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
118 143 -0.0011 0.0231 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
119 120 0.001 0.0236 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
119 121 -0.011 0.2901 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
119 122 -0.6013 5.8941 0 0 0 0 0
1 -360 360;
119 124 -0.2618 3.394 0 0 0 0 0
1 -360 360;
119 125 -0.0082 0.2595 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
119 126 0.00153 0.0179 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
119 127 -0.1172 1.3932 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
119 128 -0.0054 0.0516 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
119 129 0.0034 0.0642 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
119 130 -0.0022 0.0163 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;

119	131	-0.0044	0.0242	0	0	0	0	0	
1	-360	360;							
119	132	-0.4137	2.4027	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
119	144	-0.8511	3.8358	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
120	121	0.0009	0.0779	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
120	122	-0.061	0.9305	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
120	123	-0.0466	0.5011	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
120	124	-0.0259	0.4722	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
120	125	-0.0002	0.0555	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
120	127	0.002	0.1818	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;								
120	128	-0.0029	0.0743	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
120	129	-0.0229	0.4911	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
120	130	-0.1674	1.0675	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
120	131	-0.0687	0.4516	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
120	132	-0.0255	0.4566	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
121	122	-0.0108	0.483	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							
121	123	-0.1712	1.9482	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;							

121	124	-0.006	0.3494	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
121	125	0	0.0124	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
121	127	-0.0204		0.8338	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
121	128	-0.0278		0.3095	0	0	0	0		0
1	-360	360;								
121	129	-0.4545		4.254	0	0	0	0		0
1	-360	360;								
121	131	-0.2183		1.5066	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								
121	132	-0.1308		1.3815	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								
122	123	-0.584	4.8609	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
122	124	-0.0009		0.0552	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								
122	125	-0.0069		0.1583	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								
122	131	-0.2433		1.935	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								
122	132	-0.0187		0.2572	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								
122	133	-0.098	0.9821	0	0	0	0	0		1
-360	360;									
122	143	-0.0312		0.4888	0	0	0	0		0
1	-360	360;								
123	124	-0.223	1.967	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
123	125	-0.0821		0.6062	0	0	0	0		0
1	-360	360;								

123	131	-0.1783	1.2535	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
123	132	-0.1355	1.2041	0	0	0	0		0	
1	-360	360;								
124	125	-0.0017	0.0949	0	0	0	0		0	
1	-360	360;								
124	128	-1.153	8.2513	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
124	131	-0.1062	0.8185	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
124	132	-0.0094	0.1612	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
124	133	-0.0342	1.1798	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
124	143	-0.0078	0.7607	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
125	127	-0.0791	0.9851	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
125	128	-0.062	0.5991	0	0	0	0	0	0	
-360	360;									
125	129	-0.4217	3.9702	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
125	130	-1.974	8.4854	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
125	131	-0.1251	0.6939	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
125	132	-0.0536	0.5086	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
127	128	-0.0026	0.124	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
127	129	-0.0392	1.1082	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								

128	129	-0.001	0.0207	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
128	130	-1.1	2.9924	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
128	131	-1.559	4.0869	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
130	131	-0.0027		0.0154	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								
130	132	-0.6509		3.031	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								
130	144	-0.7532		3.0664	0	0	0	0		0
1	-360	360;								
131	132	-0.0032		0.0411	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								
131	133	-1.077	5.5285	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
131	143	-0.0588		0.4055	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								
131	144	-0.0022		0.0151	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								
132	133	-0.0916		0.8229	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								
132	143	-0.0049		0.0965	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								
132	144	-0.1108		0.9827	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								
133	143	-0.36	2.6309	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
134	131	-0.4042		0.9144	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								
134	136	-0.0698		0.6428	0	0	0	0	0	0
1	-360	360;								

134	139	-0.0353	0.166	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
134	141	-0.023	0.1179	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
134	142	-0.0263	0.1167	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
134	144	-0.0145	0.0435	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
134	145	-0.0034	0.0216	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
135	95	-0.3448	3.4845	0	0	0	0		0	
1	-360	360;								
135	136	-0.0031	0.0178	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
135	138	-0.0084	0.1729	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
135	141	-0.129	0.6993	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
136	115	-0.012	0.0855	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
136	116	-1.2	4.2655	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
136	117	-2.969	9.0875	0	0	0	0	0		1
-360	360;									
136	118	-0.5749	1.6206	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
136	138	-0.1581	0.5485	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
136	139	-0.0059	0.0293	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
136	140	-2.403	9.378	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									

136 141 -0.0026 0.0175 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
136 142 -0.0467 0.1709 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
136 143 -1.762 3.4549 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
136 145 -0.0049 0.0539 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
137 139 -0.0183 0.0936 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
137 140 -2.229 8.0228 0 0 0 0 0 0 1
-360 360;
137 145 -0.0852 0.4071 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
139 140 -0.0054 0.0239 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
139 141 -0.0083 0.046 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
139 142 -0.3102 1.267 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
139 145 -0.0009 0.008 0 0 0 0 0
1 -360 360;
140 145 -0.1088 0.48 0 0 0 0 0
1 -360 360;
141 115 -0.0007 0.0131 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
141 116 -0.1568 0.7448 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
141 117 -0.3702 1.382 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;
141 118 -0.0414 0.1439 0 0 0 0 0 0
1 -360 360;

141	131	-0.2331	0.8129	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
141	132	-1.628	7.0936	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
141	142	-0.0018	0.0105	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
141	143	-0.0702	0.1778	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
141	144	-0.0756	0.2441	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
141	145	-0.0038	0.0358	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
142	115	-0.0166	0.1563	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
142	116	-0.6916	2.6302	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
142	117	-0.5596	2.2284	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
142	118	-0.0185	0.1037	0	0	0	0		0	
1	-360	360;								
142	119	-0.2742	1.8611	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
142	120	-0.6043	7.353	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
142	122	-0.2589	2.1732	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
142	124	-0.1736	2.1347	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								
142	125	-1.09	8.616	0	0	0	0	0	0	1
-360	360;									
142	130	-0.3608	1.8618	0	0	0	0	0	0	
1	-360	360;								

```
    142     131     -0.0013     0.0157 0     0     0     0     0     0
    1       -360    360;
    142     132     -0.0055     0.081  0     0     0     0     0     0
    1       -360    360;
    142     133     -1.636  9.1725 0     0     0     0     0     0     1
    -360    360;
    142     143     -0.0038     0.0187 0     0     0     0     0     0
    1       -360    360;
    142     144     -0.002  0.0229 0     0     0     0     0     1
    -360    360;
    142     145     -0.0738     0.438  0     0     0     0     0     0
    1       -360    360;
    143     144     -0.4863     2.3282 0     0     0     0     0     0
    1       -360    360;
    144     145     -0.3835     1.2052 0     0     0     0     0     0
    1       -360    360;
];
outageRate=[0.6897;0.4251;0.3533;0.3872;0.5006;0.4844;0.4331;0.4513;0.4521;0.3
914;0.5808;0.4165;0.4876;0.4822;
0.5526;0.4802;0.3605;0.6372;0.4915;0.3441;0.5216;0.3746;0.3365;0.3925;0.4491;0.
5450;0.6055;0.4035;0.4214;0.5848;
0.4573;0.3773;0.3760;0.5714;0.3555;0.4208;0.6556;0.5371;0.4297;0.5494;0.3370;0.
4915;0.3488;0.3886;0.4752;0.5405;
0.3370;0.3804;0.3807;0.5202;0.4912;0.4150;0.5936;0.4744;0.5978;0.3771;0.4390;0.
3920;0.4406;0.4001;0.3751;0.4372;
0.5091;0.5986;0.4602;0.4277;0.4780;0.5407;0.5252;0.3809;0.5265;0.5994;0.4539;0.
3691;0.4777;0.4524;0.3784;0.4168;
0.8167;0.4709;0.3838;0.3696;0.5680;0.4747;0.3367;0.4721;0.6811;0.5263;0.3708;0.
5530;0.4289;0.4916;0.4493;0.3820;
0.4660;0.4269;0.3941;0.5007;0.5002;0.4738;0.4155;0.3590;0.3734;0.5343;0.6223;0.
5285;0.4874;0.3888;0.6259;0.3378;
0.6163;0.5407;0.4095;0.3701;0.3619;0.4291;0.5054;0.5036;0.4660;0.5061;0.5283;0.
```

4483;0.4661;0.3491;0.3409;0.5184;
0.4175;0.5388;0.4173;0.4860;0.4250;0.4031;0.3940;0.4411;0.3763;0.4028;0.3938;0.6717;0.4552;0.3539;0.4297;0.3710;
0.4962;0.4529;0.4324;0.3521;0.5094;0.3559;0.3743;0.3433;0.6114;0.4857;0.4421;0.3618;0.3829;0.4884;0.4546;0.6247;
0.4931;0.4276;0.5266;0.4169;0.3829;0.4714;0.3868;0.4083;0.4637;0.4626;0.3967;0.3862;0.3566;0.3995;0.3887;0.4599;
0.6034;0.3560;0.5114;0.3971;0.6152;0.5423;0.4381;0.3605;0.4996;0.3775;0.7464;0.4882;0.3725;0.4512;0.3667;0.4654;
0.3756;0.3553;0.3528;0.5369;0.4981;0.4943;0.3811;0.3523;0.3943;0.3874;0.6589;0.4163;0.4524;0.3568;0.4764;0.4167;
0.4162;0.3752;0.3830;0.6123;0.5095;0.4978;0.4115;0.3535;0.3931;0.4213;0.4854;0.4183;0.4379;0.6808;0.4131;0.3755;
0.5643;0.4047;0.5879;0.4322;0.4592;0.3563;0.3940;0.4431;0.5270;0.5473;0.3437;0.3412;0.4568;0.4011;0.3447;0.3446;
0.4370;0.3516;0.3936;0.3550;0.3673;0.3605;0.4586;0.4725;0.6198;0.4046;0.4605;0.6150;0.3387;0.4299;0.3824;0.4657;
0.3679;0.4151;0.4686;0.4836;0.3375;0.3406;0.5537;0.4177;0.4004;0.3780;0.5813;0.3407;0.4005;0.6081;0.4413;0.3432;
0.3935;0.4623;0.5537;0.3744;0.5574;0.7532;0.6433;0.5315;0.4323;0.4009;0.5099;0.4340;0.3806;0.4750;0.5088;0.3481;
0.4268;0.5947;0.5090;0.3592;0.4223;0.3758;0.3519;0.3873;0.4329;0.3484;0.6541;0.5954;0.5251;0.3655;0.4782;0.3825;
0.3613;0.4701;0.3814;0.5159;0.3787;0.5254;0.4271;0.4096;0.5242;0.5425;0.3601;0.3546;0.3927;0.5293;0.5604;0.3537;
0.5835;0.4215;0.3583;0.6441;0.4804;0.3919;0.4632;0.4767;0.4269;0.4681;0.4500;0.5385;0.3946;0.4896;0.4306;0.3569;
0.4145;0.3545;0.5151;0.3883;0.3392;0.5527;0.4431;0.4036;0.5061;0.3946;0.5854;0.3916;0.4411;0.3655;0.6662;0.3495;
0.4224;0.4977;0.3713;0.4733;0.3840;0.3995;0.3865;0.3564;0.5677;0.3711;0.3527;0.3512;0.5083;0.5911;0.3932;0.3474;
0.3725;0.5397;0.4036;0.5630;0.3442;0.4786;0.3840;0.4858;0.4899;0.5196;0.5280;0.

```
3696;0.4254;0.3462;0.3767;0.4755;
0.5132;0.3754;0.5763;0.4790;0.3821;0.5221;0.5121;0.3743;0.4209;0.3572;0.4568;0.
3825;0.3546;0.3694;0.5129;0.3624;
0.5697;0.4398;0.6724;0.4983;0.3757;0.4462;0.6395;0.4169;0.4872;0.3831;0.7461;0.
6092;0.3769;0.4160;0.4724;0.3703;
0.6300;0.5592;0.4487;0.4762;0.4752;0.3967;0.6358;0.5449;0.5945;0.3436;0.5148;0.
4597;0.3981;0.4021;0.3634;0.5677;
0.3738;0.4137;0.6768;0.3426;0.4496;0.3595;0.6693;0.3501;0.5144;0.5183;0.3766;0.
4671;0.3435;0.4560;0.4599;0.5627;
0.7865;0.6260;0.3636;0.4501;0.6465;0.6366;0.5546
];
i=sqrt(-1);
F = line(:,1);
T = line(:,2);
R = line(:,3);
X = line(:,4);
B = line(:,5);
lines=zeros(453,5);
lines(:,1) = F;
lines(:,2) = T;
lines(:,3) = 1;
lines(:,4) = outageRate;
lines(:,5) = outageRate;
tap = line(:,9);
tap(tap == 0) = 1;
zbusTemp = R + i*X;
ybus = 1./zbusTemp;
zbus=zeros(145,145);
for i=1:length(F)
  zbus(F(i),T(i))= R(i)+i*X(i);
  zbus(T(i),F(i)) = R(i)+i*X(i);
  endfor
```

```
nline = length(F);
nbus=max(max(F),max(T));
Ybus=zeros(nbus,nbus);
for k=1:nline
   Ybus(F(k),T(k))= Ybus(F(k),T(k))-ybus(k);
   Ybus(T(k),F(k))= Ybus(F(k),T(k));
endfor
for m=1:nbus
   for n=1:nline
      if F(n)==m
         Ybus(m,m)=Ybus(m,m)+ybus(n)/(tap(n)^2) + i*B(n)/2;
      elseif T(n)==m
         Ybus(m,m)=Ybus(m,m)+ybus(n)+i*B(n)/2;
      endif
   endfor
endfor
Zbus=inv(Ybus);
endfunction
```

EK.14: IEEE24 Bus sistemi

```
function [zbus,Zbus,Ybus,lines]=IEEEtest24bus()
SegmentOlasiligi=(yillik_lineOlasiligi/SegmentSayisi
zbus=zeros(24,24);
lines=[];
B=zeros(24,24);
zbus(1,2)  = (.0026+.0139i);   zbus(2,1) = zbus(1,2); lines=[lines;1,2,1,0.24,0.24];
B(1,2) = .4611i;       B(2,1)=B(1,2);
zbus(1,3)  = (.0546+.2112i);   zbus(3,1) = zbus(1,3); lines=[lines;1,3,1,0.51,0.51];
B(1,3) = .0572i;       B(3,1)=B(1,3);
zbus(1,5)  = (.0218+.0845i);   zbus(5,1) = zbus(1,5); lines=[lines;1,5,1,0.33,0.33];
B(1,5) = .0229i;       B(5,1)=B(1,5);
zbus(2,4)  = (.0328+.1267i);   zbus(4,2) = zbus(2,4); lines=[lines;2,4,1,0.39,0.39];
B(2,4) = .0343i;       B(4,2)=B(2,4);
zbus(2,6)  = (.0497+.1920i);   zbus(6,2) = zbus(2,6); lines=[lines;2,6,1,0.48,0.48];
B(2,6) = .0520i;       B(6,2)=B(2,6);
zbus(3,9)  = (.0308+.1190i);   zbus(9,3) = zbus(3,9); lines=[lines;3,9,1,0.38,0.38];
B(3,9) = .0322i;       B(9,3)=B(3,9);
zbus(3,24)          =          (.0023+.0839i);                zbus(24,3)=
zbus(3,24);lines=[lines;3,24,1,0.02,0.02];                B(3,24)  =  .0i;
B(24,3)=B(3,24);
zbus(4,9)  = (.0268+.1037i);   zbus(9,4) = zbus(4,9); lines=[lines;4,9,1,0.36,0.36];
B(4,9) = .0281i;       B(9,4)=B(4,9);
zbus(5,10)          =          (.0228+.0883i);                zbus(10,5)       =
zbus(5,10);lines=[lines;5,10,1,0.34,0.34];                B(5,10)  =  .0239i;
B(10,5)=B(5,10);
zbus(6,10)          =          (.0139+.0605i);                zbus(10,6)       =
zbus(6,10);lines=[lines;6,10,1,0.33,0.33];                B(6,10)  =  2.459i;
B(10,6)=B(6,10);
zbus(7,8)  = (.0159+.0614i);   zbus(8,7) = zbus(7,8); lines=[lines;7,8,1,0.30,0.30];
B(7,8) = .0166i;       B(8,7)=B(7,8);
```

zbus(8,9) = (.0427+.1651i); zbus(9,8) = zbus(8,9); lines=[lines;8,9,1,0.44,0.44]; B(8,9) = .0447i; B(9,8)=B(8,9);

zbus(8,10) = (.0427+.1651i); zbus(10,8) = zbus(8,10);lines=[lines;8,10,1,0.44,0.44]; B(8,10) = .0447i; B(10,8)=B(8,10);

zbus(9,11) = (.0023+.0839i); zbus(11,9) = zbus(9,11);lines=[lines;9,11,1,0.02,0.02]; B(9,11) = .0i; B(11,9)=B(9,11);

zbus(9,12) = (.0023+.0839i); zbus(12,9) = zbus(9,12);lines=[lines;9,12,1,0.02,0.02]; B(9,12) = .0i; B(12,9)=B(9,12);

zbus(10,11) = (.0023+.0839i); zbus(11,10) = zbus(10,11);lines=[lines;10,11,1,0.02,0.02]; B(10,11) = .0i; B(11,10)=B(10,11);

zbus(10,12) = (.0023+.0839i); zbus(12,10) = zbus(10,12);lines=[lines;10,12,1,0.02,0.02]; B(10,12) = .0i; B(12,10)=B(10,12);

zbus(11,13) = (.0061+.0476i); zbus(13,11) = zbus(11,13);lines=[lines;11,13,1,0.40,0.40]; B(11,13) = .0999i; B(13,11)=B(11,13);

zbus(11,14) = (.0054+.0418i); zbus(14,11) = zbus(11,14);lines=[lines;11,14,1,0.39,0.39]; B(11,14) = .0879i; B(14,11)=B(11,14);

zbus(12,13) = (.0061+.0476i); zbus(13,12) = zbus(12,13);lines=[lines;12,13,1,0.40,0.40]; B(12,13) = .0999i; B(13,12)=B(12,13);

zbus(12,23) = (.0124+.0966i); zbus(23,12) = zbus(12,23);lines=[lines;12,23,1,0.52,0.52]; B(12,23) = .2030i; B(23,12)=B(12,23);

zbus(13,23) = (.0111+.0865i); zbus(23,13) = zbus(13,23);lines=[lines;13,23,1,0.49,0.49]; B(13,23) = .1818i; B(23,13)=B(13,23);

zbus(14,16) = (.0050+.0389i); zbus(16,14) = zbus(14,16);lines=[lines;14,16,1,0.38,0.38]; B(14,16) = .0818i; B(16,14)=B(14,16);

zbus(15,16) = (.0022+.0173i); zbus(16,15) = zbus(15,16);lines=[lines;15,16,1,0.33,0.33]; B(15,16) = .0364i; B(16,15)=B(15,16);

zbus(15,21) = (.0063+.0490i)/2; zbus(21,15) = zbus(15,21);lines=[lines;15,21,1,0.41,0.41]; B(15,21) = .1030i/4; B(21,15)=B(15,21);

%[lines;21,15,1,0.41,0.41];

zbus(15,24) = (.0067+.0519i); zbus(24,15) = zbus(15,24);lines=[lines;15,24,1,0.41,0.41]; B(15,24) = .1091i; B(24,15)=B(15,24);

zbus(16,17) = (.0033+.0259i); zbus(17,16) = zbus(16,17);lines=[lines;17,16,1,0.35,0.35]; B(16,17) = .0545i; B(17,16)=B(16,17);

zbus(16,19) = (.0030+.0231i); zbus(19,16) = zbus(16,19);lines=[lines;19,16,1,0.34,0.34]; B(16,19) = .0485i; B(19,16)=B(16,19);

zbus(17,18) = (.0018+.0144i); zbus(18,17) = zbus(17,18);lines=[lines;18,17,1,0.32,0.32]; B(17,18) = .0303i; B(18,17)=B(17,18);

zbus(17,22) = (.0135+.1053i); zbus(22,17) = zbus(17,22);lines=[lines;17,22,1,0.54,0.54]; B(17,22) = .2212i; B(22,17)=B(17,22);

zbus(18,21) = (.0033+.0259i)/2; zbus(21,18) = zbus(18,21);lines=[lines;18,21,1,0.35,0.35]; B(18,21) = .0545i/4; B(21,18)=B(18,21);

%[lines;21,18,1,0.35,0.35];

zbus(19,20) = (.0051+.0396i)/2; zbus(20,19) = zbus(19,20);lines=[lines;19,20,1,0.38,0.38]; B(19,20) = .0833i/4; B(20,19)=B(19,20);

```
                                        %[lines;20,19,1,0.38,0.38];
zbus(20,23) = (.0028+.0216i)/2; zbus(23,20) = zbus(20,23);lines=[lines;20,23,1,0.34,0.34]; B(20,23) = .0455i/4; B(23,20)=B(20,23);
                                        %[lines;23,20,1,0.34,0.34];
zbus(21,22) = (.0087+.0678i); zbus(22,21) = zbus(21,22);lines=[lines;21,22,1,0.45,0.45]; B(21,22) = .1424i; B(22,21)=B(21,22);
%zbus=100*zbus;

Ybus=zeros(24,24);
Ybus(1,1) = (1/zbus(1,2))+1/zbus(1,3)+1/zbus(1,5)+(B(1,2)+B(1,3)+B(1,5))/2;
Ybus(1,2) =-(1/zbus(1,2));Ybus(1,3) = -(1/zbus(1,3));Ybus(1,5) = -(1/zbus(1,5));
Ybus(2,2) = (1/zbus(2,4))+1/zbus(2,6)+1/zbus(2,1)+(B(2,4)+B(2,6)+B(2,1))/2;
Ybus(2,1) =-1/zbus(2,1);Ybus(2,4) = -(1/zbus(2,4)); Ybus(2,6) = -1/zbus(2,6);
Ybus(3,3) = (1/zbus(3,1))+(1/zbus(3,9))+(1/zbus(3,24))+(B(3,9)+B(3,24)+B(3,1))/2;
Ybus(3,1) =-(1/zbus(3,1)); Ybus(3,9) = -(1/zbus(3,9));Ybus(3,24) = -1/zbus(3,24);
Ybus(4,4) = (1/zbus(4,2))+(1/zbus(4,9))+(B(4,9)+B(4,2))/2;
Ybus(4,2) = -(1/zbus(4,2)); Ybus(4,9) = -(1/zbus(4,9));
Ybus(5,5) = (1/zbus(5,1))+(1/zbus(5,10))+(B(5,10)+B(5,1))/2;
Ybus(5,1) = -(1/zbus(5,1)); Ybus(5,10) = -(1/zbus(5,10));
Ybus(6,6) = (1/zbus(6,2))+(1/zbus(6,10))+(B(6,10)+B(6,2))/2;
Ybus(6,2) = -(1/zbus(6,2)); Ybus(6,10) = -(1/zbus(6,10));
Ybus(7,7) = (1/zbus(7,8))+B(7,8);
Ybus(7,8) = -(1/zbus(7,8));
Ybus(8,8) = (1/zbus(8,7))+(1/zbus(8,9))+(1/zbus(8,10))+(B(8,9)+B(8,10)+B(8,7))/2;
Ybus(8,7) = -(1/zbus(8,7)); Ybus(8,9) = -(1/zbus(8,9));Ybus(8,10) = -1/zbus(8,10);
Ybus(9,9) = (1/zbus(9,3))+(1/zbus(9,4))+(1/zbus(9,8))+(1/zbus(9,11))+(1/zbus(9,12))+(B(9,11)+B(9,12)+B(9,3)+B(9,4)+B(9,8))/2;
Ybus(9,3) = -(1/zbus(9,3));Ybus(9,4) = -(1/zbus(9,4)); Ybus(9,8) = -(1/zbus(9,8));Ybus(9,11) = -1/zbus(9,11);Ybus(9,12)= -1/zbus(9,12);
```

Ybus(10,10) = (1/zbus(10,5))+(1/zbus(10,6))+(1/zbus(10,8))+(1/zbus(10,11))+(1/zbus(10,12))+(B(10,11)+B(10,12)+B(10,5)+B(10,6)+B(10,8))/2;

Ybus(10,5) = -(1/zbus(10,5)); Ybus(10,6) = -(1/zbus(10,6));Ybus(10,8) = -1/zbus(10,8);Ybus(10,11) = -(1/zbus(10,11));Ybus(10,12) = -(1/zbus(10,12));

Ybus(11,11) = (1/zbus(11,9))+(1/zbus(11,10))+(1/zbus(11,13))+(1/zbus(11,14))+(B(11,13)+B(11,14)+B(11,9)+B(11,10))/2;

Ybus(11,9) = -(1/zbus(11,9)); Ybus(11,10) = -(1/zbus(11,10));Ybus(11,13) = -1/zbus(11,13);Ybus(11,14) = -1/zbus(11,14);

Ybus(12,12) = (1/zbus(12,9))+(1/zbus(12,10))+(1/zbus(12,13))+(1/zbus(12,23))+(B(12,13)+B(12,23)+B(12,10)+B(12,9))/2;

Ybus(12,9) = -(1/zbus(12,9)); Ybus(12,10) = -(1/zbus(12,10));Ybus(12,13) = -1/zbus(12,13);

Ybus(12,23) = -(1/zbus(12,23));

Ybus(13,13) = (1/zbus(13,11))+(1/zbus(13,12))+(1/zbus(13,23))+(B(13,23)+B(13,12)+B(13,11))/2;

Ybus(13,11) = -(1/zbus(13,11)); Ybus(13,12) = -(1/zbus(13,12));Ybus(13,23) = -(1/zbus(13,23));

Ybus(14,14) = (1/zbus(14,11))+(1/zbus(14,16))+(B(14,16)+B(14,11))/2;

Ybus(14,11) = -(1/zbus(14,11)); Ybus(14,16) = -(1/zbus(14,16));

Ybus(15,15) = (1/zbus(15,16))+(1/zbus(15,21))+(1/zbus(15,24))+(B(15,16)+B(15,21)+B(15,24))/2;

Ybus(15,16) = -(1/zbus(15,16)); Ybus(15,21) = -(1/zbus(15,21));Ybus(15,24)= -(1/zbus(15,24));

Ybus(16,16) = (1/zbus(16,14))+(1/zbus(16,15))+(1/zbus(16,17))+(1/zbus(16,19))+(B(16,17)+B(16,19)+B(16,15)+B(16,14))/2;

Ybus(16,14) = -(1/zbus(16,14)); Ybus(16,15) = -(1/zbus(16,15));Ybus(16,17)=-(1/zbus(16,17));Ybus(16,19)=-(1/zbus(16,19));

Ybus(17,17) =

```
(1/zbus(17,16))+(1/zbus(17,18))+(1/zbus(17,22))+(B(17,18)+B(17,22)+B(17,16))/2;
Ybus(17,16) = -(1/zbus(17,16)); Ybus(17,18) = -(1/zbus(17,18));Ybus(17,22)=-
(1/zbus(17,22));
Ybus(18,18) = (1/zbus(18,17))+(1/zbus(18,21))+(B(18,21)+B(18,17))/2;
Ybus(18,17) = -(1/zbus(18,17)); Ybus(18,21) = -(1/zbus(18,21));
Ybus(19,19) = (1/zbus(19,16))+(1/zbus(19,20))+(B(19,20)+B(19,16))/2;
Ybus(19,16) = -(1/zbus(19,16)); Ybus(19,20) = -(1/zbus(19,20));
Ybus(20,20) = (1/zbus(20,19))+(1/zbus(20,23))+(B(20,23)+B(20,19))/2;
Ybus(20,19) = -(1/zbus(20,19)); Ybus(20,23) = -(1/zbus(20,23));
Ybus(21,21) =
(1/zbus(21,15))+(1/zbus(21,18))+(1/zbus(21,22))+(B(21,22)+B(21,18)+B(21,15))/2;
Ybus(21,15) = -(1/zbus(21,15)); Ybus(21,18) = -(1/zbus(21,18));Ybus(21,22)=-
(1/zbus(21,22));
Ybus(22,22) = (1/zbus(22,17))+(1/zbus(22,21))+(B(22,21)+B(22,17))/2;
Ybus(22,17) = -(1/zbus(22,17)); Ybus(22,21) = -(1/zbus(22,21));
Ybus(23,23) =
(1/zbus(23,12))+(1/zbus(23,13))+(1/zbus(23,20))+(B(23,20)+B(23,13)+B(23,12))/2;
Ybus(23,12) = -(1/zbus(23,12)); Ybus(23,13) = -(1/zbus(23,13));Ybus(23,20)=-
(1/zbus(23,20));
Ybus(24,24) = (1/zbus(24,3))+(1/zbus(24,15))+(B(24,15)+B(24,3))/2;
Ybus(24,3) = -(1/zbus(24,3)); Ybus(24,15) = -(1/zbus(24,15));
Zbus=inv(Ybus);
end
```

EK.15:

M Matrisinin oluşturulması

```
function
M=setMMatrix(threshold,monitoredBus,phi,busI,zbus,Zbus,Ybus,lines,allSegments
,segmentsBoundary)
    step = abs(phi(2) - phi(1));
    %[zbus,Zbus,Ybus,lines]=IEEEtest24bus();
    [lrow,lcol] = size(lines);
%[allSegments,segmentsBoundary]=setSegments(threshold,monitoredBus,busI,phi,
zbus,Zbus,Ybus,lines);
    lmonBus=length(monitoredBus);
    lallSegments = length(allSegments);
    M=zeros(lmonBus,lallSegments);
    for i=1:lmonBus
     for lineii=1:lrow
      segmentStart = segmentsBoundary(lineii,1);
      segmentEnd = segmentsBoundary(lineii,2);
      for j=segmentStart:segmentEnd
       voltBusM1                                                    =
abs(voltageBusIAfterFaultJK(monitoredBus(i),lines(lineii,1),lines(lineii,2),allSegm
ents(j),zbus,Zbus));
       voltBusM2                                                    =
abs(voltageBusIAfterFaultJK(monitoredBus(i),lines(lineii,1),lines(lineii,2),allSegm
ents(j)+step,zbus,Zbus));
       if (voltBusM1 <= threshold || voltBusM2 <= threshold)
        M(i,j)=1;
       endif
      endfor
     endfor
    endfor
  endfunction
```

EK.16.

X Vektörünün elde edilmesi

```
function X=setXvector(newlines)
  Ntoss = 365;
  [r,c]=size(newlines);
  i=1;
  for j=1:r
    for k=1:newlines(j,3)
      x = rand(1, Ntoss);
      X(i) = sum((x < newlines(k,4)/Ntoss));
      ++i;
    endfor
  endfor
  X=X';
Endfunction
```