T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SEZGİSEL ALGORİTMALAR KULLANARAK TRANSFORMATÖR MERKEZLERİNDE TOPRAKLAMA AĞLARININ TASARIMI

Barış GÜRSU

Tez Yöneticisi
Yrd. Doç. Dr. Melih Cevdet İNCE

DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ – 2009

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SEZGİSEL ALGORİTMALAR KULLANARAK TRANSFORMATÖR MERKEZLERİNDE TOPRAKLAMA AĞLARININ TASARIMI

Barış GÜRSU

Doktora Tezi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez, 02/10/2009 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği ile başarılı olarak değerlendirilmiştir.

Danışman:	Yrd. Doç. Dr. Melih Cevdet İNCE
Üye:	Prof. Dr. Muhammet KÖKSAL
Üye:	Prof. Dr. Yakup DEMİR
Üye:	Prof. Dr. Mustafa POYRAZ
Üye:	Yrd. Doç. Dr. Ali KARCI

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Tez süresince çalışmalarıma yön veren, destekleyen, büyük güven veren ve örnek aldığım danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Melih Cevdet İNCE'ye çok teşekkür ederim.

Çalışmalarımın bitmesini sabırla bekleyen ve anlayışıyla destek veren eşime teşekkür ederim. Doktora süreci içerisinde zaman zaman ihmal etmek zorunda kaldığım, sıkıntılı zamanlarımda yaptığı şirinlikleri ve verdikleri sevgiyle en büyük moral kaynağım olan çocuklarım Ahmet Burak ve Sungur'a teşekkür ederim.

Öğrenim hayatımızı devam ettirebilmemiz için olanakları zorlayan ve sunan, hayat felsefesini unutmadığım ve rahmet dilediğim babama teşekkür ederim. Manevi desteklerini ve dualarını hep yanımda hissettiğim, beni büyüten anneme teşekkür ederim.

Lisans, yüksek lisans ve doktora süresince öğrenimimize katkıda bulunan Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü hocalarına ve asistanlarına teşekkür ederim.

Desteği ve güveniyle övündüğüm ve sıkça yardımlarını gördüğüm İTÜ hocalarından Sayın Prof. Dr. Sedef KENT'e teşekkür ederim.

Sezgisel Algoritmalar konusundaki açılımlarıyla yardımlarını gördüğüm Sayın Yrd. Doç. Dr. Ali KARCI'ya teşekkür ederim.

Barış GÜRSU

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER……..I
ŞEKİLLER LİSTESİ…… V
TABLOLAR LİSTESİ…….. VII
EKLER LİSTESİ……...IX
SİMGELER LİSTESİ……..... X
KISALTMALAR LİSTESİ…….. XII
ÖZET…….. XIII
ABSTRACT……... XIV

1.GİRİŞ……...1
1.1. Tezin Organizasyonu…….4
1.2. Tezin Kapsamı……... 5

2. GENETİK ALGORİTMALAR…….... 6
2.1. Giriş……6
2.2. Optimizasyon…… 7
2.3. Genetik Algoritmaların İşleyişi……..8
2.4. GA'nın Geleneksel Optimizasyon Yöntemlerinden Farklılıkları…….. 10

3. GENETİK ALGORİTMALARDA BAŞLANGIÇ POPÜLASYONU OLUŞTURMA YÖNTEMLERİ VE DİFERANSİYEL GELİŞİM ALGORİTMASI……...13
3.1. Giriş……13
3.2. Halton ve Hammersley Dizilerle Görünüşte Rassal Başlangıç Popülasyonlarının Üretimi……..... 14
3.2.1. Rassal, Halton ve Hammersley Görünüşte Rassal Dizilerinin Çözüm Uzayında Dağılımları……..…… 16
3.3. Faure Dizisiyle Başlangıç Popülasyonu Üretimi……... 18
3.4. Sobol Dizisiyle Başlangıç Popülasyonu Üretimi……... 22
3.5. Ortogonal Dizilerle Başlangıç Popülasyonu Üretimi…….24
3.5.1. Ortogonal Dizinin Özellikleri…… 25
3.5.2. Ortogonal Dizinin Kurulması……26
3.5.3. Kuantalama Tekniği İle Başlangıç Populasyonu Üretimi…….....27
3.6. Düzenli Popülasyon……... 30
3.7. Uniform Dizilerle Başlangıç Popülasyonu…….31

3.7.1. Uniform Diziler……..32
3.7.2. Uniform Dizi İle Başlangıç Populasyonu Üretimi……33
3.8. Lojistik Haritalı Kaotik Başlangıç Popülasyonu……36
3.8.1. Lojistik Harita…… 36
3.9. Diferansiyel Gelişim Algoritması…….. 37

4. TRANSFORMATÖR MERKEZLERİ VE TOPRAKLAMA KONUSUNDA TEMEL KAVRAMLAR……...41
4.1. Genel…….. 41
4.2. Topraklama Konusunda Temel Kavramlar…… 42
4.2.1. Giriş……42
4.2.2. Temel Kavramlar……... 43
4.2.2.1. Toprak…… 43
4.2.2.2. Topraklama…… 43
4.2.2.3. Topraklayıcı……... 44
4.2.2.4. Toprak Özgül Direnci (ρ)……...44
4.2.2.5. Referans Toprak……44
4.2.2.6. Topraklayıcı Yayılma Direnci……... 44
4.2.2.7. Darbe Yayılma Direnci……... 44
4.2.2.8. Toprak Direnci……... 44
4.2.2.9. Potansiyel Dağılımı……44
4.2.2.10. Dokunma Gerilimi……... 45
4.2.2.11. Adım Gerilimi……...47
4.2.2.12. Topraklama Ağları……... 50
4.2.2.13. Toprak Potansiyel Yükselmesi (GPR)……51
4.2.2.14. Göz Gerilimi…… 58
4.2.3. Topraklama Çeşitleri……..58
4.2.3.1. Koruma Topraklaması……... 58
4.2.3.2. İşletme Topraklaması……59
4.2.3.3. Özel Topraklamalar……... 60
4.2.4. Müsaade Edilebilir Vücut Akımı Limiti…… 61

5.TOPRAKLAMA AĞI TASARIMI…….. 62
5.1. Giriş……62
5.2. Hata Devresi Eşdeğerleri……62
5.3. İnce Yüzey Malzemesi Tabakası ve Müsaade Edilebilir Değerler…… 65

5.4. Topraklama Ağı Tasarım Prosedürü…….. 67
5.5. Toprak Özdirenci……... 69
5.6. Topraklama İletkeni Kesiti……. 72
5.7. Topraklama Direnci Hesabı……... 73
5.8. Göz ve Adım Gerilimleri Hesabı……... 75

6. TOPRAKLAMA AĞI TASARIMINA ETKİ EDEN DİĞER FAKTÖRLER…… 78
6.1. Giriş…… 78
6.2. Toprak Modeli…… 79
6.2.1. İki Katmanlı Toprak Modeli…….. 80
6.2.1.1. Topraklama İletkenleri ve Topraklama Çubuklarının Üst Katmanda Olması……... 83
6.2.1.2. Topraklama İletkenleri ve Topraklama Çubuklarının Alt Katmanda Olması……... 85
6.2.1.3. Topraklama İletkenlerinin Üst Katmanda Olması ve Topraklama Çubuklarının Her İki Katmana Gelecek Şekilde Çakılması.. 86
6.2.1.4. Topraklama İletkenleri ve Topraklama Çubuklarının Kombinasyon Direnci……. 87
6.3. Mevsimsel Etkiler…….. 87
6.3.1. Türkiye'de Mevsimler ve Topraklama Sistemine Etkisi……... 88
6.3.2. Topraklama Sisteminin Mevsimsel Analizinde Yeni Modeller……92
6.3.3. Mevsimsel Faktörler Nedeniyle Oluşan Değişimler……..94
6.3.3.1. Toprak Özdirencindeki Değişimler……94
6.3.3.2. Yüzey Tabakası Düzeltme Katsayısının Hesabındaki Değişimler.... 95
6.4. Korozyon……96
6.5. Ağ İndüktansı…… 96
6.5.1. Topraklama Ağının İndüktansı……. 97
6.5.1.1 Ağ İndüktansının Hesabında Varsayımlar……..97
6.5.1.2. Bir İletkenin Özindüktansı…….98
6.5.1.3. Ağ İndüktansının Hesabı……... 98
6.6. Darbe Empedansı……99
6.7. Maliyet…… 100

7. FARKLI BAŞLANGIÇ POPÜLASYONLU GA VE DGA İLE TOPRAKLAMA AĞI TASARIMI UYGULAMALARI……...102

7.1. Giriş…….....102

7.2. Sezgisel Algoritmaların IEEE Std.80-2000'e Dayalı Topraklama Ağı Tasarımına Uyarlanması……... 102

7.2.1. Algoritmanın Temel Adımları……... 104

7.2.2. Çaprazlama ve Mutasyon……...104

7.2.3. Maliyet Fonksiyonu……... 105

7.3. Sezgisel Algoritmalar İle Topraklama Ağı Tasarımı Uygulamaları…….. 106

7.3.1. Mevsimsel Faktörlerin Etkisi Üzerine Uygulama……..106

7.3.1.1. Model-1 Uygulaması……. 107

7.3.1.2. Model-2 Uygulaması……. 112

7.3.1.3. Model-3 Uygulaması……. 120

7.3.1.4. Model-4 Uygulamaları……...123

7.3.2. İki Katmanlı Toprak Modeli Üzerine Uygulama……...131

7.3.3. Topraklama Ağı Tasarımında Matlab Optimizasyon Toolbox ve GA Karşılaştırması Üzerine Uygulama……...136

7.3.3.1. Doğrusal Olmayan Programlama……...136

7.3.3.2. SQP (Ardışık Kuadratik Programlama)…….137

7.3.3.3. 'fmincon' Komutu İle Topraklama Ağı Tasarım Örneği……...137

7.3.3.4. Karşılaştırma Uygulamaları……...139

7.3.4. Ağ İndüktansının Etkisi Üzerine Uygulama…….. 140

7.3.5. Darbe Empedansının Etkisi Üzerine Uygulama…… 143

7.3.6. İki Katmanlı Toprak Modelinde Topraklama Çubuklarının Etkisi Üzerine Uygulama……... 145

7.3.7. İletken Cinsinin Etkisi Üzerine Uygulama…… 147

7.3.7.1. Bakır, Alüminyum ve Çelik Özlü Alüminyum İletkenlerin Karşılaştırılması…….. 148

8. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME……... 152

KAYNAKLAR……...155

ÖZGEÇMİŞ

EKLER

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Optimizasyonun Temel Aşamaları……..7

Şekil 2.2. Tek Noktalı Çaprazlama Örneği……..... 9

Şekil 2.3. Mutasyon Örneği…….....9

Şekil 2.4. Bir GA Modeli…… 10

Şekil 2.5. İki Yerel Minimumlu *f(x)* Fonksiyonu…… 11

Şekil 2.6. Çok Yerel Minimumlu *f(x)* Fonksiyonu……..11

Şekil 3.1. 2 Boyutlu 50 noktalı Rassal sayı dizisi……..... 17

Şekil 3.2. 2 Boyutlu 50 noktalı Halton görünüşte rassal dizi……..... 17

Şekil 3.3. 2 Boyutlu 50 noktalı Hammersley görünüşte rassal dizi…….....17

Şekil 3.4. DGA İşleyiş Şeması ($f(x) = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5$)…….... 40

Şekil 4.1. Topraklayıcı Etrafındaki Potansiyel Dağılımı…….45

Şekil 4.2. Dokunma Gerilimi ve Potansiyel Dağılımı……. 45

Şekil 4.3. Adım Gerilimi ve Potansiyel Dağılımı……48

Şekil 4.4. Adım Gerilimi ve Eşpotansiyel Çizgiler……. 49

Şekil 4.5. Topraklama Çubuklarıyla Beraber Topraklama Ağı……...51

Şekil 4.6. Transfer Gerilimi ($\approx$ GPR) Gösterimi…….52

Şekil 4.7. Simetrik Toprak Arıza Akımı……. 53

Şekil 4.8. t_f arıza süresince I_F , I_f ve D_f ile Arıza Akımı Arasındaki İlişki……..... 54

Şekil 4.9. Bir Hattın Sonsuz Zincir Modeli……. 56

Şekil 4.10. 380 kV Keban-Kayseri Güney Hattı B Fazı Toprak Arızasında Akım ve Gerilimler……57

Şekil 4.11. Arızalı Fazın Belirlenmesi ve Arıza Anındaki Akım-Gerilim Değerleri…….. 58

Şekil 5.1. Dokunma Gerilimi Hata Devresi…….....63

Şekil 5.2. Dokunma Gerilimi Devresi……. 63

Şekil 5.3. Adım Gerilimi Hata Devresi……... 64

Şekil 5.4. Adım Gerilimi Devresi…… 64

Şekil 5.5. Topraklama Ağı Dizayn Prosedürü Blok Diyagramı (IEEE)……..68

Şekil 5.6. Toprak Özgül Direncinin a)Nem, b)Sıcaklık, c)Tuz Miktarına Göre Değişimi. 69

Şekil 5.7. Wenner'in Dört Elektrod Metodu Toprak Özgül Direnci Ölçüm Şeması…….. 70

Şekil 5.8. Schwarz katsayısı (k_1 için)……. 74

Şekil 5.9. Schwarz katsayısı (k_2 için)…… 74

Şekil 6.1. Elektrotlar Arası Mesafeye Göre Toprak Özgül Direnci Değişimi……81
Şekil 6.2. Sunde' nin Grafiksel Metodu…….....81
Şekil 6.3. Sunde' nin Grafik Metoduyla Örnek……...82
Şekil 6.4. Özdirenç Eğrisinden 'a' Değerinin Belirlenmesi…….....82
Şekil 6.5. Topraklama Ağının Üst Katmanda Olması Durumu……...84
Şekil 6.6. Topraklama Ağının Alt Katmanda Olması Durumu……... 85
Şekil 6.7. Topraklama İletkenlerinin Üst, Topraklama Çubuklarının Hem Üst Hem Alt Katmanda Olması Durumu…….....86
Şekil 6.8. Türkiye 2008-2009 Kış Mevsimi Minimum Sıcaklık Haritası……... 90
Şekil 6.9. Türkiye'nin 12 Aylık Meteorolojik Kuraklık Haritası…….....91
Şekil 6.10. Model 1 Topraklama Sistemi…… 92
Şekil 6.11. Model 2 Topraklama Sistemi…… 92
Şekil 6.12. Model 3 Topraklama Sistemi…… 93
Şekil 6.13. Model 4 Topraklama Sistemi…… 93
Şekil 7.1. GA'nın IEEE Std.80-2000'e Dayalı Topraklama Ağı Tasarımına Uyarlanması…….103
Şekil 7.2. 3 Satırlı 6 Sütunlu Topraklama Ağı Yaklaşımı……... 107
Şekil 7.3. Model-1 Sezgisel Algoritma Uygulamaları…….111
Şekil 7.4. Model-2 Sezgisel Algoritma Uygulamaları (Don)……..115
Şekil 7.5. Model-2 Sezgisel Algoritma Uygulamaları (Kurak)……...118
Şekil 7.6. Model-3 Sezgisel Algoritma Uygulamaları…….123
Şekil 7.7. Model-4 Sezgisel Algoritma Uygulamaları (Don)……..126
Şekil 7.8. Model-4 Sezgisel Algoritma Uygulamaları (Kurak)……...129
Şekil 7.9. İki Katmanlı Toprak Modeli Uygulaması……... 135
Şekil 7.10. Kısıtlar İçin Oluşturulan m-file……. 138
Şekil 7.11. Ana Program İçin Oluşturulan m-file……138
Şekil 7.12. Geometrik Şeklin ve Besleme Noktasının Ağ İndüktansına Etkisi……...142
Şekil 7.13. Uniform Toprak Modeli İle Tasarımda Bakır, Alüminyum ve Çelik Özlü Alüminyum İletken……151

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Üçlü tabanda (p=3) 7 kromozomlu (N=7) 1 boyutlu Halton görünüşte rassal dizinin elde edilmesi……..…….. 15

Tablo 3.2. İkili Tabanda (p=2) 7 kromozomlu (N=7) 1 boyutlu Halton görünüşte rassal dizinin elde edilmesi…….. 15

Tablo 3.3. 3 Boyutlu (n=3) 6 kromozomlu (N=6) Halton görünüşte rassal dizi…… 15

Tablo 3.4. 3 Boyutlu (n=3) 6 kromozomlu (N=6) Hammersley görünüşte rassal dizi..... 16

Tablo 3.5. 3 Boyutlu Faure Dizisi…….. 19

Tablo 3.6. $L_9(3^3)$ Ortogonal Dizisine Dayalı 9 Kombinasyonlu 3 Faktörlü Deney……...25

Tablo 3.7. r=1 için Rasgele Kromozom (C_0) ve Üretilen Kromozom…… 30

Tablo 3.8. r=2 için Rasgele Kromozom (C_0) ve Üretilen Kromozomlar…… 30

Tablo 3.9. r=3 için Rasgele Kromozom (C_0) ve Üretilen Kromozomlar…… 30

Tablo 3.10. r=4 için Rasgele Kromozom (C_0) ve Üretilen Kromozomlar……..... 31

Tablo 3.11. Farklı Faktör ve Seviye Sayıları İçin σ Parametresi…….. 32

Tablo 5.1. Kesit Hesabı İçin Malzeme Sabitleri……. 72

Tablo 6.1. Dört Noktalı Wenner Metoduna Dayalı Direnç Ölçümleri ve Hesaplanan Özdirençler…….80

Tablo 6.2. Normal ve Mevsimsel Etkili Toprak Katmanlarının Özdirençleri…… 94

Tablo 6.3. Analiz Modeline Göre Toprak Modellerinin ve C_s, ρ_s Tespiti…….....95

Tablo 6.4. Ağ İndüktansı Hesabı İçin $D_{indüktans}$ Katsayısı Değerleri……98

Tablo 7.1. Model-1 Simulasyon Girişleri……109

Tablo 7.2. Yüzey Kaplamasız Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünülmediği Uygulama (Model-1)……109

Tablo 7.3. Model-2 Simulasyon Girişleri……113

Tablo 7.4. Yüzey Kaplamasız Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünüldüğü Uygulama (Model-2 Don)……113

Tablo 7.5. Model-1 Uygulama Sonuçlarının Model-2 Don Uygulamasında Kullanılması 115

Tablo 7.6. Yüzey Kaplamasız Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünüldüğü Uygulama (Model-2 Kurak)……116

Tablo 7.7. Model-1 Uygulama Sonuçlarının Model-2 Kuru Toprak Uygulamasında Kullanılması…….....118

Tablo 7.8. Yüzey Kaplamasız Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünüldüğü Uygulama (Model-2 Nem)……... 119

Tablo 7.9. Model-1 Uygulama Sonuçlarının Model-2 Nem Uygulamasında Kullanılması120

Tablo 7.10. Model-3 Simülasyon Girişleri……...121

Tablo 7.11. Yüzey Kaplamalı Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünülmediği Uygulama (Model-3)……..121
Tablo 7.12. Model-4 Simulasyon Girişleri……..124
Tablo 7.13. Yüzey Kaplamalı Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünüldüğü Uygulama (Model-4 Don)……..125
Tablo 7.14. Model-3 Uygulama Sonuçlarının Model-4 Don Tutmuş Toprak Uygulamasında Kullanılması……... 127
Tablo 7.15. Yüzey Kaplamalı Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünüldüğü Uygulama (Model-4 Kurak)……...127
Tablo 7.16. Model-3 Uygulama Sonuçlarının Model-4 Kuru Toprak Uygulamasında Kullanılması……129
Tablo 7.17. Yüzey Kaplamalı Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünüldüğü Uygulama (Model-4 Nem)……130
Tablo 7.18. Model-3 Uygulama Sonuçlarının Model-4 Nemli Toprak Uygulamasında Kullanılması……131
Tablo 7.19. İki Katmanlı Toprak Modeli Örnek Uygulaması Girişleri…….. 133
Tablo 7.20. İki Katmanlı Toprak Modeli Uygulaması……133
Tablo 7.21. IEEE Std.80-2000' e Göre Yapılan Topraklama Ağı Tasarım Sonuçları……139
Tablo 7.22. Farklı Başlangıç Değerleriyle Yapılan Topraklama Ağı Tasarım Sonuçları...140
Tablo 7.23. 'fmincon' Komutunda RGA Referanslı Başlangıç Değerleri Alınmasıyla Topraklama Ağı Tasarım Sonuçları……... 140
Tablo 7.24. Ağ İndüktansı İçin Kare ve Dikdörtgen Şekilli Topraklama Ağı Tasarım Giriş Parametreleri……141
Tablo 7.25. Ağ Geometrik Şekli ve Besleme Noktasının Ağ İndüktansına Etkisi…..…… 142
Tablo 7.26. Darbe Empedansı İçin Kare ve Dikdörtgen Şekilli Topraklama Ağı Tasarım Giriş Parametreleri……143
Tablo 7.27. Ağ Geometrik Şekli ve Besleme Noktasının Darbe Empedansına Etkisi……144
Tablo 7.28. Üst Katmanda Topraklama Ağı Dizaynı (Çubuklu ve Çubuksuz)……. 145
Tablo 7.29. Alt Katmanda Topraklama Ağı Dizaynı (Çubuklu ve Çubuksuz)……..146
Tablo 7.30. Her İki Katmanda Topraklama Ağı Dizaynı (Çubuklu ve Çubuksuz)…….... 146
Tablo 7.31. Örgülü Bakır İletkenler……149
Tablo 7.32. Örgülü Alüminyum İletkenler…….....149
Tablo 7.33. Örgülü Çelik Özlü Alüminyum İletkenler……... 149
Tablo 7.34. Uniform Toprak Modeli Uygulama Girişleri……...150
Tablo 7.35. Uniform Toprak Modeli Topraklama Ağı Tasarım Sonuçları……150

EKLER LİSTESİ

EK-1 : Rassal Popülasyon
EK-2 : Halton Dizili Popülasyon
EK-3 : Hammersley Dizili Popülasyon
EK-4 : Faure Dizili Popülasyon
EK-5 : Sobol Dizili Popülasyon
EK-6 : Ortogonal Dizili Popülasyon
EK-7 : Düzenli Dizili Popülasyon
EK-8 : Lojistik Haritalı Kaotik Popülasyon
EK-9 : Uniform Dizili Popülasyon

SİMGELER LİSTESİ

a	: Topraklama çubuğu yarıçapı
A	: Topraklama ağının kapladığı toplam alan (m^2)
C_s	: Yüzey tabakası düzeltme katsayısı
d	: Ağ iletkeninin çapı (m)
D	: Paralel iletkenler arası mesafe (m)
$D_{indüktans}$	: Akımın besleme noktası ve ağdaki göz sayısına bağlı amprik bir katsayı
D_f	: Azaltma faktörü
D_m	: Ağın iki nokta arasındaki maksimum mesafe (m)
$E_{adım-50}$	: 50 kg ağırlığındaki insan vücudu için müsaade edilebilir maksimum adım gerilimi
$E_{dokunma-50}$	: 50 kg ağırlığındaki insan vücudu için müsaade edilebilir maksimum dokunma gerilimi
E_m	: Göz gerilimi (V)
E_s	: Adım gerilimi (V)
GPR	: Toprak potansiyel yükselmesi (V)
h	: Ağ gömülme derinliği (m)
h_s	: Yüzey malzeme kalınlığı (m)
h_1	: Üst katman kalınlığı
I	: Kısa devre akımı (A)
I_f	: Simetrik toprak arıza akımının rms değeri (A)
I_G	: Maksimum ağ akımı (A)
I_0	: Sıfır dizi arıza akımı (A)
K	: Yansıma faktörü
K_i	: Ağ geometrisi için düzeltme faktörü
K_m	: Göz gerilimi için mesafe faktörü
L	: (x) doğrultusunda ağın maximum uzunluğu (m)
$L_{öz}$	: İletkenin özindüktansı (μH)
L_C	: Topraklama iletkenlerinin toplam uzunluğunu (m)
L_P	: Topraklanacak yerin çevresi (m)
L_r	: Her bir topraklama çubuğunun uzunluğu (m)
L_R	: Topraklama çubuklarının toplam uzunluğunu (m)
L_s	: Ağ indüktansı
R	: Ağın kapladığı alana eşdeğer alanlı dairesel levhanın yarıçapı (m)

R_g : Topraklama ağı direnci (Ω)

r_e : Ağın etkin alanına eşdeğer alanlı dairesel levhanın yarıçapı (m)

S_f : Arıza akım dağılım faktörü

t : Kısa devre akım süresi (sn)

T : Dalga cephe süresi (μsn)

T_a : Ortam sıcaklığı (^{0}C)

T_{CAP} : Isıl kapasite faktörü (J/cm^3/^{0}C)

T_m : Müsaade edilebilir maximum sıcaklık (^{0}C)

T_r : Malzeme sabitleri için referans sıcaklık (^{0}C)

t_f : Arıza süresi (sn)

Z_d : Darbe empedansı

X : Ağın uzunluk/genişlik oranı

W : (y) doğrultusunda ağın maksimum uzunluğu (m)

ρ : Toprak özdirenci (Ω·m)

ρ_1 : Üst katman toprağının özdirenci (Ω·m)

ρ_2 : Alt katman toprağının özdirenci (Ω·m)

ρ_r : Referans sıcaklıkta topraklama iletkeninin özdirenci ($\mu\Omega cm$)

ρ_s : Yüzey malzemesi özdirenci (Ω·m)

α_r : Refereans sıcaklıkta özdirencin ısıl katsayısı

KISALTMALAR LİSTESİ

AK : Alt katmanda
AKDS : Alt katmandaki deney sayısı
C : Maliyet
$C_{çubuk}$: Çubuk maliyeti
$C_{hafriyat}$: Hafriyat maliyeti
$C_{iletken}$: İletken maliyeti
Col : x doğrultusundaki göz sayısı (sütun sayısı)
Deney : Deney sayısı
DGA : Diferansiyel Gelişim Algoritması
EİDS : En iyi deney sayısı
EİYDS : En iyiye yakın deney sayısı
EŞSDS : Emniyet şartını sağlamayan deney sayısı
F : Uygunluk
G : Maksimum generasyon sayısı
GA : Genetik Algoritmalar
$Göz_x$: x doğrultusundaki göz sayısı
$Göz_y$: y doğrultusundaki göz sayısı
HİK : Her iki katmanda
HİKS : Her iki katmandaki deney sayısı
Lin : y doğrultusundaki göz sayısı (satır sayısı)
N : Popülasyondaki kromozom sayısı
P : Penaltı fonksiyonu
RGA : Rassal Genetik Algoritmalar
$S_{hesaplanan}$: Hesaplanan iletken kesiti
$S_{kullanılan}$: Kullanılan iletken kesiti
SQP : Ardışık Kuadratik Programlama
UOGDS : Uygunluk ortalamasını geçen deney sayısı
ÜK : Üst katmanda
ÜKDS : Üst katmandaki deney sayısı

ÖZET

Doktora Tezi

SEZGİSEL ALGORİTMALAR KULLANARAK TRANSFORMATÖR MERKEZLERİNDE TOPRAKLAMA AĞLARININ TASARIMI

Barış GÜRSU

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği

2009, Sayfa:168

Bu tezde, sezgisel algoritmalardan Genetik Algoritma (GA) ve Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) kullanılarak, iletim merkezi topraklama sisteminin analizi ve tasarımı yapılmıştır. Rassal, Halton, Hammersley, Faure, Sobol, Ortogonal, Düzenli, Lojistik Kaotik ve Uniform dizileriyle oluşturulmuş farklı başlangıç popülasyonlarının kullanıldığı GA ve ayrıca DGA metodu ile bir yandan topraklama sisteminin analizi ve tasarımı yapılırken, diğer yandan bu başlangıç popülasyonlarının ve DGA'nın bu problemdeki performansları belirlenmiştir.

DGA ve farklı dizilerle üretilmiş başlangıç popülasyonlu GA'nın topraklama sistemine ilk kez uygulandığı bu tezde, uniform ve iki katmanlı toprak modelleri incelenerek, topraklama sisteminin mevsimsel analizi de yapılmıştır. Bu amaçla oluşturulan modellerin her birine, tüm başlangıç popülasyonu metodları ve DGA uygulanmıştır.

İletim merkezi topraklama sisteminde kullanılan topraklama ağlarının tasarımında, güvenlik şartı ve minimum maliyet birlikte sağlanmıştır. Sezgisel algoritmaların iki katmanlı toprak modeline ilk kez uygulandığı tezde, ağ gömülme derinliği optimizasyonu ile, topraklama ağının iki katmanlı toprağın hangi katmanına yerleştirilmesi gerektiği güvenlik şartı ve minimum maliyet sağlanarak belirlenmiştir.

Topraklama sisteminin analizinde, dikkatlere sunulan ağ indüktansı ve darbe empedansı etkili ağ tasarımları da yine GA kullanılarak yapılmıştır.

Sezgisel Algoritmalar yardımıyla iki katmanlı toprak modelinde topraklama çubuklarının etkisinin belirlendiği uygulamalar yapılmıştır.

Problemin çözümünde Matlab optimizasyon toolbox ve GA farkı üzerine yapılan uygulamalarda, GA'nın başlangıç değerlerine bağlı olmadan çözüme ulaşabildiği gösterilmiştir.

Topraklama ağı için iletken cinsinin etkileri tartışılmış ve GA yardımıyla farklı cins iletkenlerin kullanıldığı topraklama ağları tasarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Genetik Algoritmalar, Başlangıç Popülasyonu Üretim Yöntemleri, Diferansiyel Gelişim Algoritması, İletim Merkezi Topraklama Sistemi, Optimum Topraklama Ağı Tasarımı, Uniform ve İki Katmanlı Toprak Modeli.

ABSTRACT

PhD Thesis

DESIGN OF GROUNDING GRIDS IN TRANSFORMATOR STATIONS BY USING HEURISTIC ALGORITHMS

Barış GÜRSU

Fırat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electronics and Electrical Engineering

2009, Page:168

In this thesis, the analysis of transmission substation grounding system and its design have been done. Genetic Algorithm (GA) and Differential Evolutionary Algorithm (DGA) methods that are intuitional algorithms are used for analysis and design. Different initial populations are used in GA method. Random, Halton, Hammersley, Faure, Sobol, Ortogonal, Regular, Logistic Chaotic Map, Uniform are used as initial population. The performances of GA in which these sequences are used for analysis and design of grounding system are determined. For grounding system uniform and two-layer soil models are examined. Thus, the seasonal analysis is also done. New models are formed for the seasonal analysis, GA and DGA are applied.

In the design of grounding grid, both the safety condition and minimum cost are provided. It is the first time that intuitional algorithms have been applied to two-layer soil model in this thesis. The optimization of grid burial depth is done. Thus, it is determined which layer the grounding grid should be located in two-layer soil.

Grid inductance and impulse impedance analysis are done for grounding system and grounding grid is designed via GA.

In two-layer soil model, the effect of grounding rods is determined by using heuristic algorithms.

For the problem of grounding grid design Matlab optimization toolbox and GA are compared. It is shown that GA is able to reach the solution without related to initial values.

For grounding grid, the effects of conductor types are discussed and grounding grids are designed by using different conductors via GA.

Keywords: Genetic Algorithms, The Methods of Initial Population Generation, Differential Evolutionary Algorithm, Transmission Substation Grounding System, Optimum Grounding Grid Design, Uniform and Two-Layer Soil Model.

1. GİRİŞ

Çok büyük yatırımlar ve emeklerle kurulan ve sonrasında yıllarca işletilen elektrik iletim sisteminin can damarı transformatör merkezleridir. Transformatör merkezleri, enerjinin üretildiği yerden tüketildiği noktaya kadar iletim hatları vasıtasıyla taşınmasında, farklı gerilim seviyelerinin oluşmasında enterkonekte sistem zincirinin en önemli halkasını oluşturmaktadır. Transformatör merkezlerindeki çalışan her bir fonksiyonun elbette ki kendine göre önemi olmakla beraber, can damarı topraklama sistemidir. Transformatör merkezlerinde topraklama sistemi olarak, topraklama iletkenleri ve topraklama çubuklarıyla beraber anılan topraklama ağlarından faydalanılmaktadır. Topraklama ağlarının kendisinden beklenen en genel görevi, elektrik iletim sürekliliğini sağlamaktır. Bunun için de kesintisiz, can kaybı olmayan, ekonomik iletim arzu edilmektedir. Transformatör merkezinin topraklama sistemi, güç sisteminde bir arıza durumunda insan ve canlı emniyetini garantiye almalı ve güç sisteminin güvenilir ve emniyetli şekilde çalışmasını sürdürmesini sağlamalıdır.

Yıldırım, kısa devreler, devreye alma-devreden çıkarma manevraları, elektrostatik deşarjlar yüksek gerilimli transformatör merkezlerinde çok yüksek akımların akmasına ve dolayısıyla çok yüksek gerilimlerin oluşmasına sebebiyet verir. Ortaya çıkan bu gerilimler canlılar için hayati tehlikeler oluşturabileceği gibi, elektriksel teçhizatlar için de oldukça yüksek maddi kayıpların oluşmasına neden olabilir [1]. Elektriksel teçhizatların zarar görmesi de sistemde enerji kesintilerine neden olacaktır. Öyleyse topraklama ağlarının görevlerinin, en başta insan ve canlı emniyetini sağlamak, enerji kesintilerini önleyerek sistem devamlılığını sağlamak, teçhizatların zarar görmesini engelleyerek kesintisiz ve ekonomik iletim sağlamak gibi çok önemli görevleri vardır.

Yüksek gerilimli bir transformatör merkezi kurulduktan ve enerji altına alındıktan sonra, topraklama ağıyla ilgili bir sorunu telafi edebilmek çok zor olduğu kadar çok da tehlikelidir. Transformatör merkezindeki tüm teçhizatlar topraklama ağı üzerine yerleştirilmiş ve topraklama ağıyla irtibatlanmıştır. Topraklama ağından kaynaklanan bir hatayı işletme esnasında ve enerjili sistemde düzeltmeye çalışmak son derece tehlikelidir. Hata düzeltimi sırasında oluşacak bir faz-toprak arızasında arıza akımı topraklama ağıyla toprağa iletileceğinden, ağ üzerinde çalışanlar için ölümcül kazalara neden olabilir. Bu nedenle topraklama ağı üzerinde yapılacak çalışmaların enerjisiz durumda yapılması zorunludur. Ancak elektrik talebinin yoğunluğu nedeniyle, transformatör merkezinin günlerce enerjisiz bırakılması isteği de TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi) Yük Tevzi İşletmecileri tarafından kabul görecek bir durum değildir. Öyleyse henüz boş bir arazi durumundayken tasarımı başlayan topraklama ağının en baştan itibaren titizlikle ve tutarlı olarak ele alınması zaruridir. Topraklama ağı tasarımına etki edecek tüm parametreler, dikkatlice ve etraflıca irdelenmelidir.

Yaşayan organizma, mükemmel bir problem çözücüdür. Problemlerin çözümünde tabiat bize hayli yardımcı olmaktadır (karınca koloni sistemi, arı koloni algoritması, parçacık sürü optimizasyonu, yapay sinir ağları, fidan gelişim algoritması, genetik algoritmalar vb.). İnsanlık doğadaki olaylardan ilham alıp, buluşlar yapma eğilimindedir. Uçağın yapılması, radarın icadı vb. gibi birçok teknolojik gelişme, insanlığın doğayı incelemesi sonucu ortaya çıkmıştır. Doğadaki sistemleri incelediğimizde bunlar sadece çevreye uyum sağlamakla kalmamış, aynı zamanda optimal seviyeye ulaşmışlardır. Doğanın amacı uyumdur, en iyileme dolaylı sonuçtur.

En elverişli çözümler için doğayı bilinçli bir biçimde taklit etmek, özellikle son yıllarda araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Yaşamın milyonlarca yıldır basit kurallar ve temel maddelerle geliştirdiği oldukça karmaşık sistemler (yani bizler ve diğer canlılar), kendi oluşturduğumuz teknolojilerimizle yaşamı inceliyor ve her geçen gün daha da ilerliyoruz. Öğrendiklerimizi kendi teknolojilerimizde de uygulamaya çalışıyoruz. Genetik Algoritmalar (GA), doğadaki evrimsel süreçleri model olarak kullanan bilgisayara dayalı problem çözme teknikleridir. Geleneksel programlama teknikleriyle çözülmesi güç olan ya da istenen sonucun alınamadığı karmaşık nonlineer fonksiyonlu optimizasyon problemleri, GA yardımıyla daha kolay ve hızlı çözülebilmektedir. GA, bilimin hemen her alanındaki problemlere başarıyla uygulanabilen [2-8], popüleritesi artmış sezgisel yöntemlerdendir.

Doğal seçim ilkesine dayanan ve biyolojik sürecin modellenmesiyle ortaya çıkan GA, başlangıçta gelişigüzel olarak üretilen çözüm olduğu varsayılan değerlerle yola çıkarak, problemin global optimum çözümünü bulmaya çalışır. Ancak özellikle; büyük boyutlu, karmaşık nonlineer fonksiyonlu, çözüm uzayının geniş ve lokal optimum sayısının çok olduğu problemlerde; başlangıçtaki rasgele üretilen değerlerle, yalancı optimum çözümlere takılabilinir, yalancı çözümler global çözüm sanılabilir, gerçek çözüme yakınsama olamayabilir ya da yakınsamada gecikebilinir. Çünkü başlangıçta gelişigüzel üretilen değerlerin hepsinin birbirinin aynı olma ihtimali, hepsinin birbirinin çok yakınında olma ihtimali ve hepsinin global çözümden çok uzakta ya da lokal çözümlere çok yakında kümelenmiş olma ihtimali vardır. Bu sonuçlarla karşılaşmamak için, başlangıç popülasyonu üzerinde çalışmalar yapılmıştır. GA'nın arama sürecinin başında oluşturulan başlangıç populasyonunun üretilmesinde, tamamen rasgelelik yerine kısmen rasgelelik ve bir takım kurallar uygulanmıştır. Böylelikle, başlangıç populasyonunun çözüm uzayına düzgün dağıtılması ve yalancı çözümlere takılmadan global çözüme kısa sürede yakınsama hedeflenmiştir. Çünkü başlangıç populasyonu, GA'nın ilk adımı olduğu kadar, belki de bu populasyonu oluşturan herhangi bir kromozomu çözüm olacak son adımı olabilir. Yani, başlangıç popülasyonundaki bir kromozom, bütün genetik süreç içerisindeki en iyi kromozom olabilir. Ayrıca, genetik işlemler başlangıç populasyonu etrafında yapılacağından çözüm uzayına düzgün dağılması neticesinde GA'nın global çözüme

ulaşmasında çok etkilidir. Bu amaçla Halton görünüşte rassal, Hammersley görünüşte rassal [9], Faure dizisi, Sobol dizisi [10, 11], Ortogonal [12], Düzenli [13], Uniform Dizaynlı [14] ve Lojistik Haritalı Kaotik [15] başlangıç popülasyonu üretme yöntemleri geliştirilmiştir. GA gibi, literatürde önerilen optimizasyon algoritmalarından biri de Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA)' dır [16-18]. DGA da tıpkı GA gibi, popülasyon temelli sezgisel yöntemlerdendir. Sürekli parametreli problemlerin çözümünde daha hızlı ve daha kullanışlı olduğu iddiasıyla geliştirilen DGA, topraklama sistemi tasarımlarına uygulanarak performansı izlenmiştir.

Bu tez çalışmasının amaçları aşağıda açıklanmıştır:

- Transformatör merkezlerinin topraklama sistemini GA metoduyla detaylı olarak analiz etmek ve insan, canlı ve güç sistemi teçhizatlarının emniyetini garantiye alan ve en ekonomik topraklama ağı tasarımlarını, başlangıç popülasyonları farklı GA ve DGA ile yaparak, bunları karşılaştırmaktır. Bu amaçla, topraklama ağı tasarımı problemi, optimizasyon problemi haline çevrilerek, belirlenen kısıtlar altında global optimum çözüm bulunması hedeflenmiştir. Bu hedefi gerçekleştirmek için, popülasyon tabanlı optimizasyon metodu olan GA ve DGA'dan faydalanılmıştır. GA'nın performansını artırmak amacıyla literatürde sunulan başlangıç popülasyonu üretme yöntemleri, probleme uygulanmıştır.
- Başlangıçta emniyeti sağlayacak şekilde dizayn edilen topraklama sisteminin, sonradan çeşitli faktörlere bağlı olarak canlıların ve güç sisteminin güvenliği yönünden büyük tehlikeler arz edebileceğini göstererek, sezgisel algoritmalar metoduyla bu etkileri göz önüne alan ve bertaraf edebilecek topraklama ağını optimum olarak tasarlamaktır. Bu gibi tehlikeleri, en başından, oluşmasına mani olabilmek için yeni modeller geliştirilmiş ve bu modellerle topraklama ağı tasarımları gerçekleştirilmiştir.
- IEEE Std.80-2000 referans alınarak yapılan topraklama ağı tasarımına, bazı faktörler ve minimum maliyet şartları da eklenerek yeni bir tasarım modeli oluşturulmuştur. Son yıllarda bakır fiyatları tüm dünyada hızlı ve sürekli yükselişler göstermiştir. Bu duruma bağlı olarak, yüksek gerilim transformatör merkezlerinin topraklama ağlarında kullanılan bakır iletkenlerin yükselen fiyatlarından kaynaklanan maliyet artışları dikkate değerdir. Topraklama ağı tasarımına maliyetin minimum olması şartı da konulmuş, böylece mühendisliğin temel ilkelerinden biri olan teknik problemleri en ekonomik şekilde çözme stratejisi de izlenmiştir.
- Topraklama çubuklarının topraklama ağı tasarımındaki rolünü sezgisel algoritmalar yardımıyla belirlemektir.

Topraklama ağı tasarımında, ağ parametrelerinin tümü pozitif olacağından sürekli, ağ parametreleri üzerinde sınırlandırmalar olduğundan sınırlayıcılı, bazı parametreler reel bazıları da tamsayılı değerler alacağından karışık kesikli ve doğrusal olmayan fonksiyonlar kullanıldığı için, sürekli-karışık kesikli-sınırlayıcılı-doğrusal olmayan-dinamik bir optimizasyon problemi söz konusudur.

1.1. Tezin Organizasyonu

Tez sekiz bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölüm, tezin giriş, amaç, organizasyon ve kapsamının yer aldığı bölümdür.

İkinci bölümde, GA metodu tanıtılarak, nasıl çalıştığı akış diyagramıyla genel olarak verilmiştir. GA metodu kullanılarak [19-21]'deki çalışmalarımız yayınlanmıştır.

Üçüncü bölümde, GA'nın performansını artırmak amacıyla literatürde sunulan, Halton Görünüşte Rassal, Hammersley Görünüşte Rassal, Faure, Sobol, Ortogonal, Düzenli, Uniform Dizaynlı ve Lojistik Haritalı Kaotik başlangıç popülasyonu üretme yöntemleri tanıtılmıştır. Bu başlangıç popülasyonlarının amacı, başlangıçta gelişigüzel üretilen değerlerle oluşturulan rassal GA'nın ıraksama ve yalancı optimum çözümlere takılmasını önlemektir. Bu başlangıç popülasyonlarının ayrı ayrı topraklama analizi ve tasarımına uygulanması tez çalışmasının özgünlüklerindendir. Başlangıç popülasyonları ile ilgili [22-26]'daki çalışmalarımız yayınlanmıştır. Ayrıca tezin üçüncü bölümünde, GA'ya benzer şekilde çalışan, ancak sürekli verilerin olduğu problemlerde daha etkin kullanılabilen DGA metodu tanıtılmıştır. Topraklama analizi ve ağ tasarımı bu metodla da yapılarak dokuzuncu bölümde gösterilmiştir. DGA'sının bu uygulaması da tez çalışmasının özgünlüklerindendir.

Dördüncü bölümde, elektrik üretim ve iletiminde, transformatör merkezlerinin önemi ve görevi hakkında bilgi verilmiştir. Topraklama konusunda temel kavramlar sunulmuştur.

Beşinci bölümde, IEEE Std.80-2000'in uyguladığı ve çalışmamızda da referans aldığımız topraklama sistemi tasarım algoritması ve esasları gösterilmiştir.

Altıncı bölümde, topraklama sistemine etki eden faktörler detaylı verilerek, tasarıma nasıl ekleneceğinden bahsedilmiştir.

Yedinci bölümde, farklı başlangıç popülasyonlu GA ve DGA ile topraklama analizi ve ağ tasarımı uygulamaları yapılmıştır. Özellikle mevsimsel faktörlerin etkisi üzerinde durulmuştur. Ayrıca topraklama ağı tasarımında Matlab optimizasyon toolbox çözümüyle GA'nın karşılaştırması da yapılmıştır. Bu bölümde yapılan tüm uygulamalar ayrı ayrı, tez çalışmasının özgünlüklerindendir. Bu bölümde yer alan uygulamalarla ilgili, [27-36]'daki çalışmalarımız yayınlanmıştır.

Sekizinci bölümde, tezde yapılanlar değerlendirilerek, elde edilen sonuçlar verilmiştir.

1.2. Tezin Kapsamı

- Yalancı optimumlara takılıp kalmasını engellemek ve global yakınsama hızını artırmak amacıyla oluşturulan başlangıç popülasyonlarını tanıtmak ve bunlarla desteklenen GA ile, topraklama sistemi analizini ve tasarımını yapmak ve başlangıç popülasyonlarının bu problemdeki performanslarını belirlemektir.
- DGA'nı topraklama sistemi analizi ve tasarımına uygulayarak, hem kendisinin performansını hem de ayrı ayrı başlangıç popülasyonu farklı üretilmiş GA karşısındaki performansını belirlemek ve karşılaştırmaktır.
- Topraklama ağı analizi ve tasarımında Matlab optimizasyon toolbox ve GA metodlarını karşılaştırmaktır.
- Topraklama ağı tasarımına etki eden faktörleri irdelemek, bu faktörlerin de ağ tasarımında göz önünde bulundurulması gerektiği olgusunu yerleştirmektir.
- Özellikle mevsimsel faktörlerin etkisinin topraklama ağı analizi ve tasarımında mutlaka göz önünde bulundurulması gerektiğini, oluşturulan yeni modeller ile ve GA metoduyla sunmaktır.
- GA yardımıyla tek ve iki katmanlı toprak modelleri kullanılarak topraklama ağı tasarlamak ve sonuçların doğruluğunu ve gerçeğe yakınlığını göstermektir.
- Sadece güvenlik şartının yerine getirilmesi şartını amaç edinen IEEE Std.80-2000'e dayalı topraklama ağı tasarımını referans alıp, güvenlik şartının yanına diğer faktörler ve minimum maliyeti de ekleyerek oluşturulan yeni tasarım modelleriyle ağ tasarımı yapmaktır.
- Bakır fiyatlarının oldukça yüksek olmasından dolayı, alternatif olarak alüminyum ve çelik özlü alüminyum iletkenlerin kullanıldığı topraklama ağlarını GA ile tasarlamak ve bunları çeşitli yönlerden birbirleri ile karşılaştırmaktır.
- Topraklama sisteminde topraklama çubuklarının önemini GA yardımıyla topraklama ağı tasarlayarak ve analiz ederek belirlemektir.

2. GENETİK ALGORİTMALAR

2.1. Giriş

Biyomimetik, doğadaki modelleri inceleyen, sonra da bu modelleri taklit ederek veya bunlardan ilham alarak insanların problemlerine çözüm getirmeyi amaçlayan bilim dalıdır. Biyomimetrinin ana teması, doğadan model ya da ilham alarak öğrenecek çok şeyimizin olduğudur [37]. İnsanoğlu doğa ile iç içe yaşamaktadır. Doğa, insana birçok konuda ilham kaynağı olmuştur. İnsanlar, karşılaştıkları problemlerin çözümünde, doğadaki modelleri kullanarak ilham almaktadırlar. Nitekim günümüzde problemlerin çözümü için hemen her bilim dalında, hızla yaygınlaşan doğayı taklit fikri önplandadır. Bu amaçla geliştirilen, yapay sinir ağları, karınca koloni algoritması, arı koloni algoritması, yapay bağışıklık sistemleri, parçacık sürü optimizasyonu, genetik algoritmalar gibi metodların genel adı yapay zekadır.

Yapay zeka uygulamalarından biri olan GA, gerçek hayatta canlıların yaşadığı evrim sürecini modellemektedir. Doğal evrim mekanizmasında, doğanın sürekli değişen çevreye uyumlu olduğu görülür. Canlılar; iklim, besin miktarı, coğrafya vb. gibi çevresel şartlara uyum sağlayarak yeryüzünde yaşarlar. Aynı tür canlılar, yeryüzünün geçirdiği coğrafi evrim sonucunda farklı bölgelerde, farklı iklim şartlarında ve farklı besin ve miktarlarıyla yaşamak zorunda kalmışlardır. Yaşamlarını devam ettirebilmek için yaşadıkları şartlara uyum sağlamışlardır. Ayrıca aynı ya da farklı türden canlılar arasında rekabet şeklinde bir yaşam mücadelesi de vardır. Yaşadığı ortama en fazla adapte olan ve en güçlü canlılar, yaşamını devam ettirecek ve üreyerek gen, DNA, kromozom gibi özelliklerini sonraki nesillerine aktarabilecektir. Ancak yaşadığı çevreye uyum sağlayamamış ve cılız olanların ömrü kısa olacak, belki de üreyecek kadar bile yaşayamayacaklardır. Doğal yaşamın bu modeli, GA'nın ortaya çıkmasında esin kaynağı olmuştur.

İlk defa Holland [38] tarafından ortaya konulan GA, Goldberg [39] sayesinde daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Makine öğrenmesi ve optimizasyon amaçlı kullanımına başlanan GA'nın günümüzde uygulama alanı gün geçtikçe genişlemektedir. Bunlardan bazıları; optimizasyon, makine ve robot öğrenmesi, uzman sistemler, görüntü kontrolü, çizelgeleme, yapay sinir ağları tasarımı, devre tasarımları, gezgin satıcı problemi, modelleme, benzetim, tahmin, sınıflandırma vb. sayılabilir. Bunlar içerisinden GA'nın günümüzde en yaygın kullanıldığı uygulama alanı optimizasyon olmuştur.

2.2. Optimizasyon

Optimizasyon, hayatın hemen her alanında gerekliliği kaçınılmaz olan, sürekli karşımıza çıkan ve farkında olarak ya da olmadan sürekli yapmaya çalıştığımız ya da yaptığımız çaba faaliyetleridir. Eniyileme anlamında olup, belirli şartlar altında, olabilecek alternatif çözümler arasından en iyisini elde etme işlemidir. Burada sözü edilen en iyi kelimesi, farklı hedef kelimeleri ile ifade edilebilir. En ucuz, en güzel, en hafif, en uygun, en uzun ömürlü, en kısa süreli, en büyük, en az, en sessiz, en estetik, en dayanıklı vb. ve bunların karşıtları gibi kelimeler çok değişik hedefleri gösterebilir. Probleme ilişkin en iyiyi tarif edecek olan bu kelimelere göre, çözümün gerçekleştirilmesi gerekir. Optimizasyon süreci temel olarak üç aşama ile ifade edilebilir [40]. Şekil 2.1'de bu aşamalar gösterilmiştir.

Şekil 2.1. Optimizasyonun Temel Aşamaları

Optimizasyon probleminde; karar değişkenleri adı verilen sorunu temsil eden değişkenler, karar değişkenlerinin değişim sınırlarını belirleyen kısıtlar, problemin değişmezleri olan sabitler, karar değişkenleri ve sabitlerden oluşan hedef fonksiyonu bulunur. O halde optimizasyon, her bir karar değişkeninin, verilen kısıtlarını sağlayan, mümkün alternatif değerleri arasından en iyi hedef fonksiyonu değerini alan global çözümünün bulunması işlemidir.

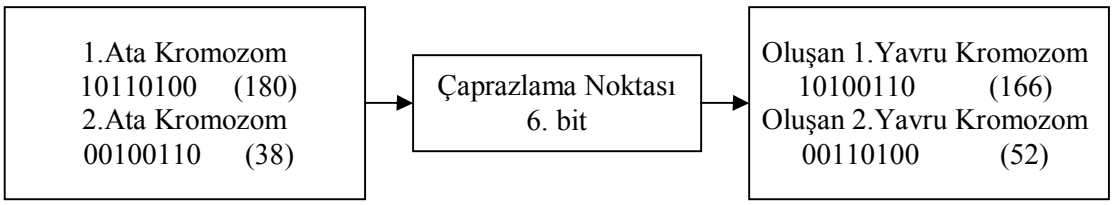
Şekil 2.1'de görüldüğü gibi, optimizasyon sürecinin en başında, sorunun ne olduğuna ait detaylı bilgilere ve verilere mümkün olduğu kadar ulaşmak gerekmektedir. Daha sonra, hedef fonksiyonunun karar değişkenlerine bağlı olarak analitik ifadesi tesbit edilerek, buna göre değerlendirme yapılır. Bu değerlendirme işleminden sonra problemin önceden belirlenen hedefine ulaşılır. Optimizasyon algoritmalardan bazıları, doğadaki tasarımlardan ilham almıştır (GA, yapay sinir ağları, karınca koloni sistemi vb.). Çünkü, doğadaki tasarımlar en az malzeme ve enerji ile en fazla verim almaları, kendi kendilerini onarma ve geliştirme özellikleri, geri dönüşümlü olmaları, estetik, dayanıklı ve uzun ömürlü olmaları bakımından optimizasyon için örnek teşkil ederler. Burada, ortaya çıkmasında canlıların genetik davranış biçimlerinin etkili olduğu, doğadaki tasarım ve modellerin aslında kendisinin optimizasyon zincirinin birer halkası olmasından esinlenerek oluşturulmuş popülasyon tabanlı, uyum ve değişim sürecini modelleyen GA metodu kullanılacaktır.

2.3. Genetik Algoritmaların İşleyişi

GA, karar değişkeni uzayını çok noktadan bombardımana tutarak, en iyi çözümü arama işlemine başlar. Bu nedenle popülasyon temelli bir algoritmadır. Popülasyon, kromozomlardan oluşur. Kromozomlara popülasyonun bireyleri de denilir. Kromozomlar, karar değişkenlerini barındırır. Dolayısıyla her bir kromozomda, problemin çözüm aranan değişken sayısı kadar karar değişkeni mevcuttur. Problemin karar değişkenleri, uygun bir şekilde kodlanmış genlerden oluşmaktadır. Dolayısıyla GA'nın ilk adımı, genlerden oluşan karar değişkenlerini barındıran kromozomların meydana getirdiği başlangıç popülasyonunun oluşturulmasıdır. Başlangıç popülasyonu gelişigüzel oluşturulduğu gibi, kısmen gelişigüzel veya çeşitli kurallara bağlı olarak da oluşturulabilmektedir. Başlangıç popülasyonundaki her bir kromozomda, problemin çözüm olduğu varsayılan değerleri vardır.

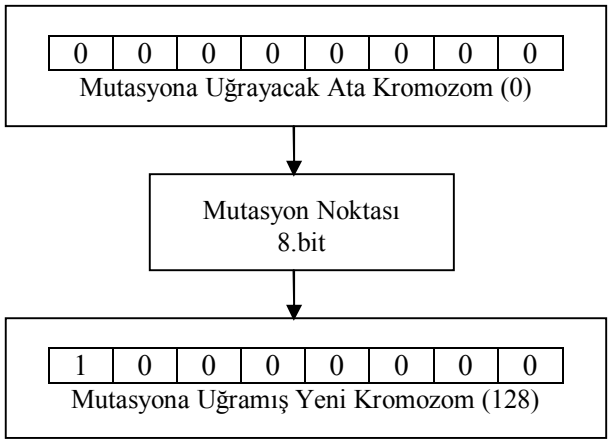
Popülasyonda bulunan kromozomların ne kadar iyi olduğunu bulmak için kullanılan fonksiyon, uygunluk fonksiyonudur. Uygunluk fonksiyonu probleme özgüdür. Uygunluk fonksiyonunda, her problemin kendine has parametreleri kullanılır. Bu parametreler, hedeflenen amaca uygun olarak formüle edilerek uygunluk fonksiyonu elde edilmiş olur. Bu fonksiyon, kromozomların çözüm kalitesini belirler. Uygunluk fonksiyonunun çok iyi belirlenmesi gerekir. Yanlış ya da eksik belirlenen uygunluk fonksiyonu, algoritmanın bu yönde ilerlemesine neden olur ve doğal olarak yanlış çözümler elde edilir. GA'yı optimum çözüme götürecek olan uygunluk fonksiyonudur. GA'nın her generasyonunda bulunan kromozomlar, uygunluk fonksiyonunda yerine konarak uygunluk değerleri hesaplanır. Bu değerlere göre, bir sonraki generasyon ya da çaprazlama veya mutasyon işlemleri için kromozomların seçme işlemi gerçekleştirilir.

Uygunluk değerlerine göre seçilen kromozomlar çaprazlama havuzunda yerlerini alırlar. Çaprazlama, neslin çeşitliliğini artırmak, ata kromozomlardan yeni, daha iyi ve farklı yavru kromozomlar elde etmek gayesiyle yapılır. Böylelikle daha çeşitli kromozomlar elde edilerek, kromozomların birbirine benzemesi engellenmiş olunur. Çaprazlama, seçilen iki kromozomun genetik bilgi değişimi yapması ya da iki ata kromozomun genetik birleşmeleriyle yeni yavruların elde edilmesidir. Literatürde birçok çaprazlama yönteminin kullanıldığı ve geliştirildiği görülmektedir. Ortogonal [12], yoğun [13], tek noktalı, iki noktalı, çok noktalı, uniform [40], maskeli [41], çok ebeveynli [42], kenar sıralama, parçalı eşleme [43], pozisyona dayalı, dairesel, sıraya dayalı, kısmi planlı, doğrusal sıralı [44-46], kuadratik [47], Heuristik [46,48], arı [49,50], Stefan Jakobs [51], Greedy dinamik [52], kaotik çaprazlama [53] vb. gibi çaprazlama yöntemleri vardır. Bunlar içerisinden en fazla kullanılanı ve en basit olanı olan tek noktalı çaprazlama, ikilik sayı tabanına göre kodlanmış bir karar değişkeni üzerinde Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Tek Noktalı Çaprazlama Örneği

Çaprazlamanın dışında yeni bir birey oluşturma yöntemi olarak mutasyon operatörü de GA'da kullanılır. Çaprazlamada iki ata kromozomdan iki yavru kromozom üretilirken, bu dört kromozomun birbirinden farklı olacağı kesin değildir. Ancak mutasyonda bir ata kromozomdan bir yavru kromozom üretilirken, bu iki kromozomun birbirinden farklı olacağı kesindir. Çaprazlama vasıtasıyla üretilemeyen uygunluk değeri yüksek kromozomları, mutasyon vasıtasıyla üretmek mümkün olabilir. Mutasyon, oluşan yeni çözümlerin önceki çözümü kopyalamasını önlemek, yeni, görülmemiş, çözüm elemanlarını bulmak, çaprazlama operatörüyle değiştirilemeyen kromozomları değiştirmek ve sonuca daha hızlı ulaşmak amacıyla yapılır. Kromozomlar birbirine benzemeye başladığında hala çözüm noktalarının uzağında bulunuyorsa mutasyon işlemi, GA'nın sıkıştığı yerden kurtulmak için tek yoldur. Transpozisyon, antisimetrik transpozisyon [13], heuristik [46], yakın kaydırma, tesadüfi değiştirme, uzak kaydırma [54], ters çevirme, ekleme [55], Gaussian, Cauchy [56,57], Levy [58,59], Isotropik [60], gölge [61], doğrusal olmayan [62], kaotik mutasyon [63] vb. gibi farklı mutasyon yöntemleri literatürde vardır. Tek bir bit üzerinde yapılan mutasyon uygulaması örneği, Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Mutasyon Örneği

Kısaca bahsedilen ve uygulaması oldukça basit olan GA'nın işleyişinde temel olarak, başlangıç popülasyonunun oluşturulması, uygunluk fonksiyonunun belirlenerek buna göre

değerlendirme ve seçme işlemi, çaprazlama ve mutasyon işlemleriyle farklı çeşitlilikte yeni kromozomların elde edilmesi işlemleri söz konusudur. Şekil 2.4'te GA'nın temel işleyiş şeması verilmektedir [64].

```
GA Prosedürü
begin
    t ← 0
    Başlangıç popülasyonunu oluştur P(t).
    P(t)'deki yapıları değerlendir.
    while (sonlandırma şartı sağlanmamışsa) do
    begin
        t←t+1
        P(t-1)'den P(t)'yi seç.
        P(t)'deki yapılara genetik operatörleri uygula.
            Çaprazlama
            Mutasyon
        P(t)'deki yapıları değerlendir.
    end
end.
```

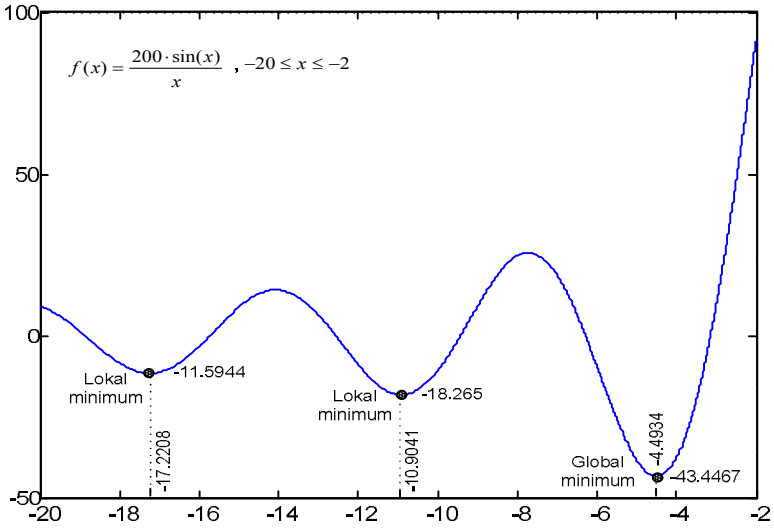
Şekil 2.4. Bir GA Modeli

2.4. GA'nın Geleneksel Optimizasyon Yöntemlerinden Farklılıkları

Geleneksel en iyiyi arama yöntemlerinde, genellikle bulunan en iyi nokta başlangıçtaki hareket noktasına yakın olan optimum noktadır. Ancak çok tepeli problemlerde hareket noktasına yakında yerel bir çözüm varsa, burası gerçek çözüm sanılabilir. Yani başlangıç noktasına bağlı olarak yerel optimum noktalara takılma ihtimali vardır. Oysa GA, çözüm uzayında aynı anda, birçok çözüm namzeti değerlerle araştırma işlemine başlar. Yani tek bir hareket noktası değil, birçok hareket noktası vardır ve lokal çözümde kalmadan global çözüme sürekli yaklaşılmaktadır. GA'da başlangıçtaki popülasyon tabanlı yaklaşım sürekli devam eder.

$$f(x) = \frac{200 \cdot \sin(x)}{x} \quad , \quad -20 \le x \le -2 \tag{2.1}$$

Şekil 2.5'te, Denklem (2.1)'deki f(x) fonksiyonunun değişimi görülmektedir. Görüldüğü gibi, f(x) fonksiyonu sınırlandığı aralıkta iki adet yerel minimum noktaya sahiptir.



Şekil 2.5. İki Yerel Minimumlu *f(x)* Fonksiyonu

Geleneksel optimizasyon algoritmalarında *f(x)* fonksiyonu minimize edilmek istenildiğinde (fminsearch);

x0=-18 iken x=-17.2207 ve f=-11.5944

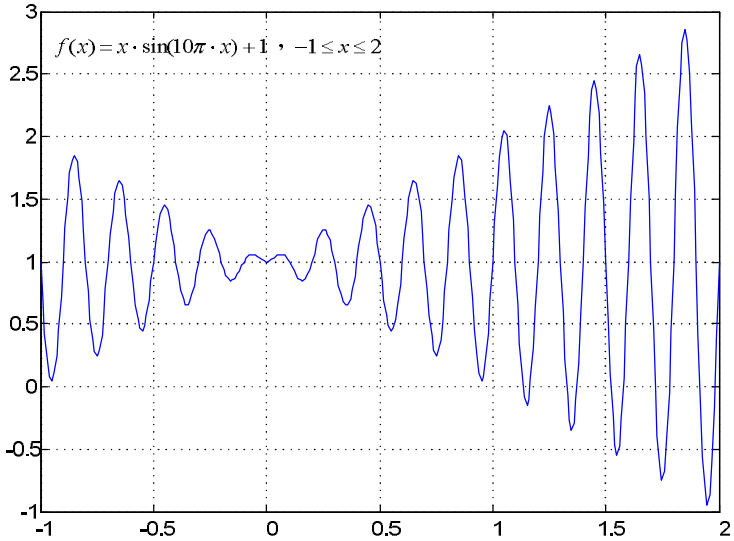
x0=-14 iken x=-17.2207 ve f=-11.5944

x0=-11 iken x=-10.9041 ve f=-18.265

x0=-8 iken x=-10.9041 ve f=-18.265

başlangıç noktasına bağlı olarak lokal çözümler elde edilmiştir. Global çözüm için hareket noktasının çok iyi seçilmesi gerekir. Oysa GA, global çözümü başlangıç noktasına bağlı kalmaksızın elde edebilmektedir. Denklem (2.2) ve Şekil 2.6'daki gibi lokal optimumların sayısının çok olduğu problemlerde başlangıç noktasını iyi seçmekte çok zordur [47].

$$f(x) = x \cdot \sin(10\pi \cdot x) + 1 \quad , \quad -1 \le x \le 2 \tag{2.2}$$



Şekil 2.6. Çok Yerel Minimumlu *f(x)* Fonksiyonu

Klasik optimizasyon algoritmalarında, türev ve integral gibi matematiksel hesaplamaların yapılması zorunlu iken, GA'da bu hesaplamaları yapmaya gerek yoktur. Sadece uygunluk fonksiyonuna bağlı olan aritmetik işlemler söz konusudur. Bazı klasik algoritmalarda hedef fonksiyonunun türevi alınabilir olması zorunluluğunun olması da, türevi alınamayan fonksiyonlarda hiç arama yapamayacağını gösterir.

GA'da bir problem için, sadece mutlak en iyi çözüm değil, en iyi çözümlerin listesi de belirlenebilir. Böylece kullanıcı bu alternatif çözümler arasında insiyatif kullanabilir. Alternatif çözümler de en iyi olmaya namzettir. Oysa klasik yöntemlerde sadece bir tane çözüm vardır.

Geleneksel yöntemlerde başlangıç noktaları değişmediği müddetçe, problemin çözüm kümesi de değişmez. İşleyişlerinde gelişigüzellik yoktur, belirgindirler. Oysa GA her çalıştırıldığında, optimum ya da optimuma yakın farklı sonuçlar verebilir. GA'nın işleyişinde belirginlik yoktur, rasgelelik söz konusudur.

GA'nın birçok avantajının yanında, aşağıda belirtilen bazı dezavantajları da olabilmektedir:

Yetersiz seçilen generasyon sayısı ve popülasyon büyüklüğü algoritmanın optimum çözümü bulmasını engelleyecektir. Bu parametrelerin değerlerinin çok fazla seçilmesi de gereksiz yere işlem zamanının uzamasına neden olacaktır.

Probleme uygun seçilmeyen çaprazlama ve mutasyon tipleri ile çaprazlama ve mutasyon oranları global çözümün bulunmasını engelleyebilir.

Global çözümden çok uzakta bir yerde kümelenmiş ve birbirini çok fazla sayıda tekrar eden başlangıç popülasyonu da, optimum çözümün bulunmasını engelleyebilir. Çaprazlama ve mutasyon operatörleri bile, bu başlangıç popülasyonunu çeşitlendiremeyebilir ve global çözüme yaklaştıramayabilir ya da yaklaştırsa bile problemin tipi ve boyutuna bağlı olarak çözüm zamanı oldukça fazla olabilir.

3. GENETİK ALGORİTMALARDA BAŞLANGIÇ POPÜLASYONU OLUŞTURMA YÖNTEMLERİ VE DİFERANSİYEL GELİŞİM ALGORİTMASI

3.1. Giriş

GA, başlangıçta gelişigüzel olarak üretilen çözüm olduğu varsayılan değerlerle yola çıkarak, problemin global optimum çözümünü bulmaya çalışır. Ancak özellikle, büyük boyutlu, karmaşık, nonlineer ve lokal optimum sayısının çok olduğu problemlerde, başlangıçta rasgele olarak üretilen değerlerle, yalancı optimum çözümlere takılabilinir, gerçek çözüme yakınsama olamayabilir ya da yakınsama olsa bile işlem zamanı oldukça uzayabilir. Çünkü başlangıçta gelişigüzel üretilen değerlerin hepsinin birbirinin aynı olma ihtimali, hepsinin birbirinin çok yakınında kümelenmiş olma ihtimali ve hepsinin global çözümden çok uzakta ya da lokal çözüme çok yakında olma ihtimali vardır. GA'nın bu sıkıntılarını ortadan kaldırmak için, başlangıç populasyonları üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Böylelikle, başlangıç populasyonunun çözüm uzayına düzgün dağıtılması ve yalancı tuzak çözümlere takılmadan global çözüme kısa sürede yakınsama hedeflenmiştir. Bu şekilde üretilen kromozomlar, iterasyonlar ilerledikçe çözüm uzayını daha çeşitli ve daha eşit bir şekilde tarama imkanına sahip olacaktır.

Başlangıç populasyonu, GA'nın ilk adımı olduğu kadar, belki de bu populasyonu oluşturan herhangi bir kromozomu çözüm olacak son adımı olabilir. Yani, başlangıç populasyonundaki bir kromozom, bütün genetik süreç içerisindeki en iyi kromozom olabilir. Ayrıca, genetik işlemler başlangıç populasyonu etrafında yapılacağından çözüm uzayına homojen ya da çeşitliliği artırılarak dağılması neticesinde GA'nın global çözüme ulaşmasında çok etkilidir. Çözüm uzayına düzgün dağılımlı ya da çeşitliliği artırılmış başlangıç popülasyonu ile yalancı tuzak çözümler yerine global çözüme yakınsama kolaylaşacak ve algoritma hızlanacaktır [65].

Bu bölümde, literatürde GA'nın başlangıç popülasyonu üzerine yapılmış çalışmalarından bazıları açıklanacak ve daha sonraki bölümlerde topraklama sistemi analizi problemine uygulamaları gösterilecektir. Başlangıç popülasyonu üretme metodlarında, kısmen gelişigüzellik söz konusu olduğu gibi, hiç rasgelelik olmadan tamamen bir takım kurallara dayandırılma şekilleri de söz konusudur.

Bu tezde, rassal olarak üretilen başlangıç popülasyonunun yanında, Halton görünüşte rassal, Hammersley görünüşte rassal, Faure görünüşte rassal, Sobol görünüşte rassal, Ortogonal, Düzenli, Uniform dizaynlı ve Lojistik Haritalı Kaotik başlangıç popülasyonu üretme yöntemleri de kullanılmıştır.

3.2. Halton ve Hammersley Dizilerle Görünüşte Rassal Başlangıç Popülasyonlarının Üretimi

Görünüşte rassal (quasi-random) dizilerin temelinde Van der Corput dizisi vardır. Halton ve Hammersley dizileri Van der Corput dizisine dayanır [66]. Görünüşte rassal dizileri kullanarak GA'larda başlangıç populasyonu üretimi gelişigüzel değildir. Dolayısıyla bu yöntemle başlangıç popülasyonu üretmek, stokastik değil deterministiktir.

Halton ve Hammersley dizilerini tanımlamadan önce, Van der Corput dizisini tanımlamak gerekir. Van der Corput dizisi 1 boyutlu ve herhangi bir asal sayı tabanından oluşan bir dizidir. Bir n tamsayısı p asal sayı tabanında ($p \geq 2$):

$$n = (a_m ....a_1 a_0)_p = \sum_{i=0}^{m} a_i \cdot p^i \tag{3.1}$$

olur. Burada; a_i'ler, 0 ile p tabanına kadar (p'den 1 eksik) olan katsayılardır. m, p tabanına çevrilmiş haldeki basamak sayısının 1 eksiğidir. n tamsayısı p tabanına çevrildikten sonra, p tabanındaki sayı, önce ters çevrilir sonra ondalık hale getirilir. Elde edilen bu sayının $\phi_p(n)$ değeri (3.2) denklemi ile hesaplanır [67].

$$x_n = \phi_p(n) = (0 \bullet a_0 a_1 ....a_m)_p = \sum_{i=0}^{m} \frac{a_i}{p^{i+1}} \tag{3.2}$$

Örneğin, 19 sayısı 3 tabanında (2 0 1) olarak yazılır.

$(19)_3 = 2 \cdot 3^2 + 0 \cdot 3^1 + 1 \cdot 3^0 = 2\ 0\ 1$

(201) sayısı ters çevrilerek (0.102) şekline dönüştürülür.

$x_{19} = Ø_3(19) = 1 \cdot 3^{-1} + 0 \cdot 3^{-2} + 2 \cdot 3^{-3} = 0.407 = 11/27$

19 sayısının 3 asal sayı tabanındaki Van der Corput dizisi karşılığı 0.407'dir.

Van der Corput dizisini temel alan ve en fazla kullanılan Halton ve Hammersley görünüşte rassal dizileri de, belli basit kurallara göre oluşturulur. Halton ve Hammersley dizileri Van der Corput dizisinin 1 boyuttan n boyuta genişletilmiş halleri olarak kabul edilir [68].

Görünüşte rassal dizilerde, p tabanı asal sayıdır.

Halton görünüşte rassal dizisiyle bir kromozom,

$$x_i = (\phi_{p_1}(i), \ldots\ldots \phi_{p_n}(i)) \tag{3.3}$$

şeklinde oluşturulur. Hammersley görünüşte rassal dizisiyle kromozom,

$$x_i = (i/N, \phi_{p_1}(i), \ldots\ldots \phi_{p_{n-1}}(i)) \quad i=1,2,\ldots..N \tag{3.4}$$

şeklinde oluşturulur [69]. Burada; N kromozom sayısını, n problem boyutunu, i, 1'den kromozom sayısına kadarki tamsayıları ve p'de problem boyutu kadar asal sayı tabanlarını göstermektedir. Hammersley görünüşte rassal dizisinde, kromozomların birinci elemanları i/N

ile hesaplandığından, p asal sayı tabanı sayısı Halton görünüşte rassal dizisinden 1 eksiktir. [70]'de Hammersley noktalarının Monte Carlo, Latin Hypercube ve Median Latin Hypercube noktaları karşısındaki düzenliliği, [71]'de Latin Hypercube, Faure, gelişigüzel ve Hammersley noktaların dağılımları ve test fonksiyonlarındaki uygulamaları gösterilmiştir.

Her bir x_i, problemin çözüm aralığına çekilecek bir kromozomu ifade eder. Her bir $\phi_{p_n}(i)$ de, o boyuttaki görünüşte rassal dizidir ve bu dizinin her bir elemanı da, farklı kromozomların birer genlerini gösterir.

Tablo 3.1. Üçlü tabanda (p=3) 7 kromozomlu (N=7) 1 boyutlu Halton görünüşte rassal dizinin elde edilmesi

Onluk	Üçlük	$Ø_3$(i)'nin üçlük hali	$Ø_3$(i)'nin onluk hali
i=1	01	0.10	0.3333
2	02	0.20	0.6667
3	10	0.01	0.1111
4	11	0.11	0.4444
5	12	0.21	0.7778
6	20	0.02	0.2222
7	21	0.12	0.5556

Tablo 3.2. İkili Tabanda (p=2) 7 kromozomlu (N=7) 1 boyutlu Halton görünüşte rassal dizinin elde edilmesi

Onluk	İkilik	$Ø_2$(i)'nin ikilik hali	$Ø_2$(i)'nin onluk hali
i=1	1	0.1	0.5
2	10	0.01	0.25
3	11	0.11	0.75
4	100	0.001	0.125
5	101	0.101	0.625
6	110	0.011	0.375
7	111	0.111	0.875

Tablo 3.3. 3 Boyutlu (n=3) 6 kromozomlu (N=6) Halton görünüşte rassal dizi

	Değişkenler			
	i	p=2	p=3	p=5
Çözüm Aralığına Çekilecek Kromozomlar	1	0.5000	0.3333	0.2000
	2	0.2500	0.6667	0.4000
	3	0.7500	0.1111	0.6000
	4	0.1250	0.4444	0.8000
	5	0.6250	0.7778	0.0400
	6	0.3750	0.2222	0.2400

Tablo 3.4. 3 Boyutlu (n=3) 6 kromozomlu (N=6) Hammersley görünüşte rassal dizi

	Değişkenler			
	i	i/N	p=2	p=3
Çözüm Aralığına Çekilecek Kromozomlar	1	0.1666	0.5000	0.3333
	2	0.3333	0.2500	0.6667
	3	0.5000	0.7500	0.1111
	4	0.6666	0.1250	0.4444
	5	0.8333	0.6250	0.7778
	6	1.0000	0.3750	0.2222

3 boyutlu 6 kromozomlu görünüşte rassal dizisi, 3 değişkenli (bilinmeyenli) bir problemin başlangıç populasyonunda 6 kromozom olacağını gösterir. Her bir kromozom farklı asal tabanlarda oluşturulmuş 0 ile 1 arasındaki genlerden ibarettir. Bu genler, problemin çözüm aralığı ne olacaksa, o aralığa çekilmelidir.

Bu sayılar çözülmesi istenilen problem aralığına;

[(üst sınır-alt sınır)·oluşturulan her bir dizi elemanı+alt sınır] (3.5)

bağıntısı kullanılarak çekilir. Tablo 3.4'deki Hammersley görünüşte rassal dizisiyle oluşturulan birinci kromozom [-10,20] çözüm aralığına çekildiğinde;

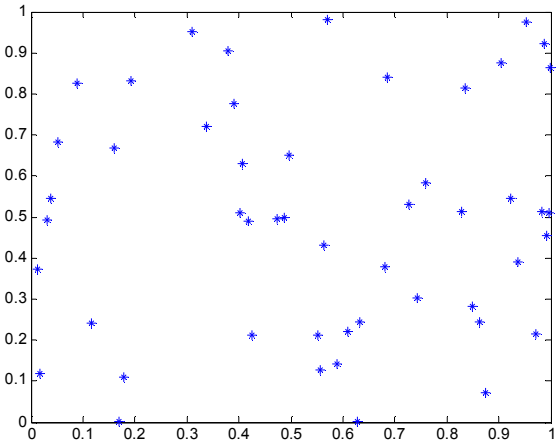
[((20-(-10))·0.1666)+(-10)]= -5

[((20-(-10))·0.5)+(-10)]= 5

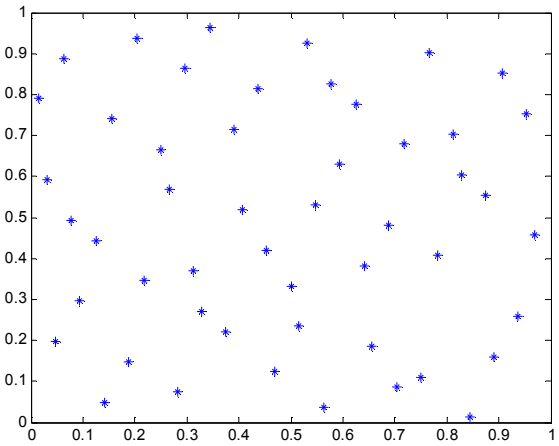
[((20-(-10))·0.333)+(-10)]= 0 değerleri elde edilir. Tüm kromozomlar bu forma uyarlanarak başlangıç populasyonu, istenilen sınır şartlarında oluşturulur.

3.2.1. Rassal, Halton ve Hammersley Görünüşte Rassal Dizilerinin Çözüm Uzayında Dağılımları

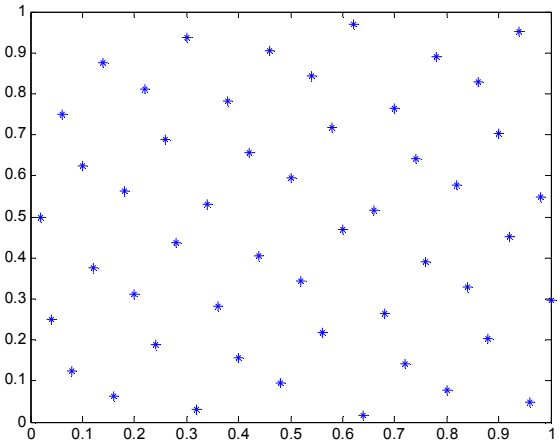
Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3'te sırasıyla 2 boyutlu 50 noktalı rassal, Halton görünüşte rassal ve Hammersley görünüşte rassal dizilerinin uzaydaki dağılımlılıkları gösterilmiştir. Halton ve Hammersley görünüşte rassal dizilerin gelişigüzel dağılıma göre, daha düzgün olduğu şekillerden görülmektedir.



Şekil 3.1 2 Boyutlu 50 noktalı Rassal sayı dizisi



Şekil 3.2 2 Boyutlu 50 noktalı Halton görünüşte rassal dizi



Şekil 3.3 2 Boyutlu 50 noktalı Hammersley görünüşte rassal dizi

3.3. Faure Dizisiyle Başlangıç Popülasyonu Üretimi

Halton, Hammersley, Faure ve Sobol dizileri az farklı diziler (low-discrepancy sequences) olarak bilinir. Faure dizisi genelleştirilmiş bir Halton dizisidir. Faure dizisinin ilk boyutu p asal sayı tabanında Van der Corput dizisidir. Van der Corput dizisi, bir boyutlu en basit az farklı dizidir. s boyutlu Faure dizisi tek bir tabanı kullanır. Bu taban, en küçük asal sayı olan 2'den de, s'den de küçük değildir. 1'den büyük boyutlu dizilerde, daha yüksek boyutlar için ilk boyuttaki dizinin permutasyonları kullanılır [72]. Halton dizileri gibi, Faure ve Sobol dizileri de görünüşte rassal dizilerdendir.

p en küçük asal sayıyı göstermek üzere, s boyutlu bir Faure dizisinde, Halton dizisinin aksine tüm boyutlar için bu p tabanı kullanılır. ($p \geq s$ ve $p \geq 2$) Örneğin, problem boyutu 55 ise, son Halton dizisi (55. boyutta) 55. asal sayıyı kullanır. 55. asal sayı 257'dir. Oysa ki Faure dizisi, 55 asal sayı olmadığı için, 55'den sonraki ilk asal sayı olan 59 tabanını kullanır [73].

Faure dizisinin ilk boyutu Bölüm 3.2'de gösterilen Van der Corput dizisidir. Dizinin diğer boyutları için, hep bir önceki boyuttan yararlanılır.

p asal sayı tabanı olmak üzere, üst üçgensel matris (3.6)'daki gibi hesaplanır:

$$c_j^i = \binom{i}{j} \ \text{mod(p)} = \frac{j!}{i!\cdot(j-i)!} \ \ \text{mod(p)} \tag{3.6}$$

$$c_j^i = \begin{bmatrix} \binom{0}{0} & \binom{0}{1} & \binom{0}{2} & \binom{0}{3}\ldots \\ 0 & \binom{1}{1} & \binom{1}{2} & \binom{1}{3}\ldots \\ 0 & 0 & \binom{2}{2} & \binom{2}{3}\ldots \\ 0 & 0 & 0 & \binom{3}{3}\ldots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1\ldots \\ 0 & 1 & 2 & 3\ldots \\ 0 & 0 & 1 & 3\ldots \\ 0 & 0 & 0 & 1\ldots \end{bmatrix} \tag{3.7}$$

i=1,2,….m olmak üzere, $a_i^k(n)$,

$$a_i^k(n) = \sum_{j=i}^{m} c_j^i \cdot a_i^{k-1}(n) \ \ \text{mod(p)} \tag{3.8}$$

ile hesaplanır. Dizinin her bir boyutu,

$$x_n^k = \phi_p^k(n) = \sum_{i=0}^{m} \frac{a_i^k(n)}{p^{i+1}} \qquad 2 \le k \le s \tag{3.9}$$

İle bulunur.

Örnek 1: Tablo 3.5'de üç boyutlu Faure dizisi görülmektedir [74]. Dizi, 3 tabanına göre oluşturulmuştur.

Tablo 3.5. 3 Boyutlu Faure Dizisi

n	$a_i^1(n)$			x_n^1	x_n^2	x_n^3
	$a_0^1(n)$	$a_1^1(n)$	$a_2^1(n)$			
1	1	0	0	1/3	1/3	1/3
2	2	0	0	2/3	2/3	2/3
3	0	1	0	1/9	4/9	7/9
4	1	1	0	4/9	7/9	1/9
5	2	1	0	7/9	1/9	4/9
6	0	2	0	2/9	8/9	5/9
7	1	2	0	5/9	2/9	8/9
8	2	2	0	8/9	5/9	2/9
9	0	0	1	1/27	16/27	13/27
10	1	0	1	10/27	25/27	22/27
11	2	0	1	19/27	7/27	4/27

Dizinin birinci boyutu p asal sayı tabanında Van der Corput dizisidir (x_n^1). İkinci boyutu için birinci boyuttan ($a_i^1(n)$) faydalanılır.

$$a_i^2(1) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \quad x_1^2 = 1/3$$

$$a_i^2(2) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \quad x_2^2 = 2/3$$

$$a_i^2(3) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \quad x_3^2 = (1/3) + (1/9) = 4/9$$

$$a_i^2(4) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \quad x_4^2 = (2/3) + (1/9) = 7/9$$

$$a_i^2(5) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \quad x_5^2 = 1/9$$

$$a_i^2(6) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \quad x_6^2 = (2/3) + (2/9) = 8/9$$

$$a_i^2(7) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \quad x_7^2 = 2/9$$

$$a_i^2(8) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \quad x_8^2 = (1/3) + (2/9) = 5/9$$

$$a_i^2(9) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \quad x_9^2 = (1/3) + (2/9) + (1/27) = 16/27$$

$$a_i^2(10) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \quad x_{10}^2 = (2/3) + (2/9) + (1/27) = 25/27$$

$$a_i^2(11) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \quad x_{11}^2 = (2/9) + (1/27) = 7/27$$

Faure dizisinin üçüncü boyutu da ikinci boyutundan ($a_i^2(n)$) yararlanılarak, aynı şekilde bulunur.

$$a_i^3(1) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \quad x_1^3 = 1/3$$

$$a_i^3(2)=\begin{bmatrix}1&1&1\\0&1&2\\0&0&1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}2\\0\\0\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}2\\0\\0\end{bmatrix}\quad\Rightarrow\qquad x_2^3=2/3$$

$$a_i^3(3)=\begin{bmatrix}1&1&1\\0&1&2\\0&0&1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}1\\1\\0\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}2\\1\\0\end{bmatrix}\quad\Rightarrow\qquad x_3^3=(2/3)+(1/9)=7/9$$

$$a_i^3(4)=\begin{bmatrix}1&1&1\\0&1&2\\0&0&1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}2\\1\\0\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0\\1\\0\end{bmatrix}\quad\Rightarrow\qquad x_4^3=1/9$$

$$a_i^3(5)=\begin{bmatrix}1&1&1\\0&1&2\\0&0&1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}0\\1\\0\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1\\1\\0\end{bmatrix}\quad\Rightarrow\qquad x_5^3=(1/3)+(1/9)=4/9$$

$$a_i^3(6)=\begin{bmatrix}1&1&1\\0&1&2\\0&0&1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}2\\2\\0\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1\\2\\0\end{bmatrix}\quad\Rightarrow\qquad x_6^3=(1/3)+(2/9)=5/9$$

$$a_i^3(7)=\begin{bmatrix}1&1&1\\0&1&2\\0&0&1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}0\\2\\0\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}2\\2\\0\end{bmatrix}\quad\Rightarrow\qquad x_7^3=(2/3)+(2/9)=8/9$$

$$a_i^3(8)=\begin{bmatrix}1&1&1\\0&1&2\\0&0&1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}1\\2\\0\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0\\2\\0\end{bmatrix}\quad\Rightarrow\qquad x_8^3=2/9$$

$$a_i^3(9)=\begin{bmatrix}1&1&1\\0&1&2\\0&0&1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}1\\2\\1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1\\1\\1\end{bmatrix}\quad\Rightarrow\qquad x_9^3=(1/3)+(1/9)+(1/27)=13/27$$

$$a_i^3(10)=\begin{bmatrix}1&1&1\\0&1&2\\0&0&1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}2\\2\\1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}2\\1\\1\end{bmatrix}\quad\Rightarrow\qquad x_{10}^3=(2/3)+(1/9)+(1/27)=22/27$$

$$a_i^3(11)=\begin{bmatrix}1&1&1\\0&1&2\\0&0&1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}0\\2\\1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0\\1\\1\end{bmatrix}\quad\Rightarrow\qquad x_{11}^3=(1/9)+(1/27)=4/27$$

Faure dizisi istenilen boyutta oluşturulduktan sonra, her bir boyut kendi çözüm aralığına (3.5) denklemindeki gibi çekilerek, başlangıç popülasyonu elde edilir.

3.4. Sobol Dizisiyle Başlangıç Popülasyonu Üretimi

Sobol, görünüşte rassal dizi üretmek için bir algoritma önermiştir. x_1, x_2,…..x_n değişkenler olmak üzere, Sobol dizisinin her bir boyutunda $0<x_i<1$'dir. s boyutlu Sobol dizisi, tüm boyutlar için en küçük asal sayı olan 2 tabanını kullanır [75].

Sobol dizisinin üretimi aşağıda adım adım anlatılmıştır [76].

Birinci Adım:

Sobol dizisinde her bir boyut için, ilkel bir polinoma (primitive polynominal) ihtiyaç vardır [77]. Bu polinomun genel gösterimi Denklem (3.10)'daki gibidir:

$$P = x^d + a_1 \cdot x^{d-1} + ...a_{d-1} \cdot x + 1 \qquad a_i \in \{0,1\} \tag{3.10}$$

gibidir. Bazı ilkel polinomlar aşağıda gösterilmiştir [78]:

$1+x$, $1+x+x^2$, $1+x+x^3$, $1+x^2+x^3$, $1+x+x^4$, $1+x^3+x^4$, $1+x^2+x^5$, $1+x^3+x^5$

Sobol dizisini kurmak için, her bir boyuta özgü ayrı ayrı bu ilkel polinomlardan seçilir.

İkinci Adım:

$v_1, v_2, ...v_d$ başlangıç değerleriyle, yön sayılarını belirlemektir. d adet m_i sayısı, dolayısıyla v_i sayısı (3.11) ve (3.12)'ye göre seçildikten sonra, diğer dizi sayısı kadar olanı da yine (3.11), (3.12) ve (3.13)'e göre belirlenir [79].

$$v_i = \frac{m_i}{2^i} \tag{3.11}$$

$0 < m_i < 2^i$ ve m_i bir tek tamsayıdır. (3.12)

$m_1 < 2 \Rightarrow m_1 = 1$

$m_2 < 4 \Rightarrow m_2 = 1$ veya 3

$m_3 < 8 \Rightarrow m_3 = 1$, 3, 5 veya 7

İlkel polinomların katsayıları Denklem (3.13)'deki m_i hesabı için gereklidir [80].

$$m_i = 2a_1 m_{i-1} \oplus 2^2 a_2 m_{i-2} \oplus .....\oplus 2^{d-1} a_{d-1} m_{i-(d-1)} \oplus 2^d m_{i-d} \oplus m_{i-d} \tag{3.13}$$

(3.13) denkleminde $\oplus$ işlemi lojiksel xor kapısını ifade eder. Yani girişlerden sadece bir tanesi 1 ise çıkış 1'dir. Diğer tüm durumlarda çıkış 0 (sıfır) olur.

Örneğin [81], $x^3 + x + 1$ ilkel polinomu için d=3'tür. m_{i-d}'nin bulunması için i'nin en az 4 olması gereklidir. m_4'ün (3.13)'e göre hesaplanması için de m_1, m_2 ve m_3'ün (3.12)'ye göre seçilmesi gerekir.

d=3 olduğundan ilk 3 m_i sayısı (3.12)'ye göre, $m_1 = 1$, $m_2 = 3$, $m_3 = 7$ olarak seçilir. Bu durumda v_i sayıları da (3.11)'e göre binary olarak belirlenir.

$$v_1 = \frac{m_1}{2^1} = \frac{1}{2} = 0.1$$

$$v_2 = \frac{m_2}{2^2} = \frac{3}{4} = 0.11$$

$$v_3 = \frac{m_3}{2^3} = \frac{7}{8} = 0.111$$

Dizinin diğer elemanları için m_i sayıları, (3.13)'e göre belirlenir. Burada a_1=0 (x^2'li terim olmadığından) ve a_2=1'dir.

$$m_i = 2 \cdot 0 \cdot m_{i-1} \oplus 2^2 \cdot 1 \cdot m_{i-2} \oplus 2^3 m_{i-3} \oplus m_{i-3}$$

$$m_i = 2^2 \cdot m_{i-2} \oplus 2^3 m_{i-3} \oplus m_{i-3}$$

$$m_4 = 4 \cdot 3 \oplus 8 \cdot 1 \oplus 1 = 12 \oplus 8 \oplus 1 = 1100 \oplus 1000 \oplus 0001 = 0101 = 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^3 = 5$$

$$m_5 = 4 \cdot 7 \oplus 8 \cdot 3 \oplus 3 = 28 \oplus 24 \oplus 3 = 11100 \oplus 11000 \oplus 00011 = 00111 = 7$$

$$m_6 = 4 \cdot 5 \oplus 8 \cdot 7 \oplus 7 = 20 \oplus 56 \oplus 7 = 010100 \oplus 111000 \oplus 000111 = 43$$

$$v_4 = \frac{m_4}{2^4} = \frac{5}{16} = 0.0101$$

$$v_5 = \frac{m_5}{2^5} = \frac{7}{32} = 0.00111$$

$$v_6 = \frac{m_6}{2^6} = \frac{43}{64} = 0.101011$$

Üçüncü Adım:

Dizi elemanlarını belirleme adımıdır. İlkel polinomlar ve bunlara göre yön sayıları belirlendikten sonra, dizi elemanları belirlenir. Bunun için önce bir başlangıç noktası belirlenir. Başlangıç noktası belirlendikten sonra (3.14) denklemine göre dizi elemanları belirlenir:

$$x_{n+1} = x_n \oplus v_c \tag{3.14}$$

$x_0 = 0$ başlangıç değeri alalım. Burada n=0 ve c=1' dir. c, n' in binary yazılmış haldeki, en sağdaki sıfırıncı bitinin yerini gösterir [82]. İkinci adımdaki örneği kullanırsak;

$$x_1 = x_0 \oplus v_1 = 0.0 \oplus 0.1 = 0.1 = 1/2 \qquad \Rightarrow n = 01 \text{ ve c=2}$$

$$x_2 = x_1 \oplus v_2 = 0.1 \oplus 0.11 = 0.01 = 1/4 \qquad \Rightarrow n = 10 \text{ ve c=1}$$

$$x_3 = x_2 \oplus v_1 = 0.01 \oplus 0.10 = 0.11 = 3/4 \qquad \Rightarrow n = 011 \text{ ve c=3}$$

$$x_4 = x_3 \oplus v_3 = 0.11 \oplus 0.111 = 0.001 = 1/8 \qquad \Rightarrow n = 100 \text{ ve c=1}$$

$$x_5 = x_4 \oplus v_1 = 0.001 \oplus 0.1 = 0.101 = 5/8 \qquad \Rightarrow n = 101 \text{ ve c=2}$$

$$x_6 = x_5 \oplus v_2 = 0.101 \oplus 0.11 = 0.011 = 3/8 \qquad \Rightarrow n = 110 \text{ ve c=1}$$

Bu örneğe göre, 1 boyutlu Sobol dizisi;
1/2, 1/4, 3/4, 1/8, 5/8, 3/8,…. şeklinde oluşmaktadır. Bu sayılar yine (3.5)'deki bağıntıya göre, kendi sınır aralığında yazılarak başlangıç popülasyonu oluşturulur.

3.5. Ortogonal Dizilerle Başlangıç Popülasyonu Üretimi

Başlangıç populasyonu düzgün dağıtılmış algoritma, populasyon noktalarını geliştirirken, bazı noktalar global optimuma doğru hareket eder. Ortogonal dizilerle başlangıç popülasyonu üretilmesindeki amaç ta, düzgün bir dağılımla global optimuma hızlıca yakınsamaktır. Literatürde Ortogonal GA ile ilgili bazı çalışmalar vardır. Bu çalışmalarda başlangıç popülasyonu Ortogonal dizilerle üretildiği gibi, Ortogonal çaprazlama operatörü de geliştirilmiştir. [83]'de büyük boyutlu problemler için kurulan Ortogonal deneysel dizayn metodu uygulanmış ve Ortogonal GA ortaya çıkmıştır. [12]'de Ortogonal GA'nın başlangıç popülasyonunun üretiminde ve çaprazlama işleminde, Ortogonal dizilerden faydalanılmıştır. [84]'de iş tipi çizelgeleme problemlerinde çok amaçlı Ortogonal GA kullanılmıştır. [85]'de FIR filtre dizaynında Ortogonal GA kullanılmıştır. [86]'da global numerik optimizasyon için Ortogonal GA ile Rosenbrock ve Rastrigin fonksiyonları üzerinde yapılan uygulamalar gösterilmiştir.

Her şey birtakım faktörlere bağlı olarak gelişir. Örneğin sebze üretiminde, sıcaklığın, verilen gübrenin miktarının, toprağın pH değerinin etkisi vardır. Öyleyse bir sebze üretim deneyinde temel olarak 3 faktörden bahsedebiliriz. Her faktör Tablo 3.6'da görüldüğü gibi, 3 farklı değerde olabilir. Yani her faktörün 3 seviyesi vardır (sıcaklık için 20 ^{0}C, 25 ^{0}C, 30 ^{0}C). Sebze üretiminde en iyi verimi elde etmek için, her faktörün en iyi seviyesini elde etmek

gerekir. Bunun için 3×3×3=27 adet deney yapmak gerekecektir. N faktör, Q da seviye ise Q^N adet kombinasyon var demektir. Faktör ve seviyeler çok fazla ise deney sayısı da fazla olacaktır. Bu nedenle genellikle küçük örnekler seçilerek, en iyi verim elde etmek için parametreler belirlenir [12, 87].

Tablo 3.6. $L_9(3^3)$ Ortogonal Dizisine Dayalı 9 Kombinasyonlu 3 Faktörlü Deney

Kombinasyon	Faktör		
	Sıcaklık (^{0}C)	Gübre Miktarı(gr/m^2)	pH değeri
1	20	100	6
2	20	150	7
3	20	200	8
4	25	100	7
5	25	150	8
6	25	200	6
7	30	100	8
8	30	150	6
9	30	200	7

3.5.1. Ortogonal Dizinin Özellikleri

L bir Latin karesi ve M seviyelerin kombinasyon sayısı iken, N faktörleri ve Q seviyeleri için $L_M(Q^N)$, bir Ortogonal diziyi ifade eder. Dizide her satır, seviyelerin bir kombinasyonunu temsil ederken $L_M(Q^N)$, M satıra sahiptir. Genel olarak $L_M(Q^N)$ Ortogonal dizisi aşağıdaki özelliklere sahiptir:

1)Herhangi bir sütundaki faktör için, her seviye M/Q zamanda oluşur.

2)Herhangi iki sütundaki iki faktör için, iki seviyenin her kombinasyonu M/Q^2 zamanda oluşur.

3)Herhangi iki sütundaki iki faktör için, M kombinasyonları, seviyelerin (1,1),(1,2),…..(1,Q),(2,1),(2,2),…..(2,Q),……(Q,1),(Q,2),…..(Q,Q) kombinasyonlarını içerir.

4)Bir Ortogonal dizinin herhangi iki sütunu yer değiştirirse, sonuç dizisi yine de bir Ortogonal dizidir.

5)Bir Ortogonal diziden birkaç sütun çıkarılırsa, sonuç dizisi daha küçük sayıda faktörlü yine bir Ortogonal dizidir.

$L_4(2^3)$'de 3 faktör, her faktörde 2 seviye ve 4 tane de seviyelerin kombinasyonu vardır.

$$L_4(2^3)=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$L_M(Q^N)$'de, N dizideki sütun sayısını, Q dizideki farklı eleman sayısını ve M dizinin satır sayısını göstermektedir.

3.5.2. Ortogonal Dizinin Kurulması

J, Ortogonal dizide temel sütun sayısını göstermektedir. Q tek ve $M=Q^J$ iken; J, $N=\frac{Q^J-1}{Q-1}$ bağıntısını sağlayan pozitif bir tamsayıdır. Ortogonal diziler temel ve temel olmayan sütunlardan oluşur. Önce temel sütunlar oluşturulur. Dizinin N faktörü yani toplam sütun sayısı belli olduğundan temel olmayan sütun sayısı da N-J farkıdır [12].

1.ALGORİTMA: $L_M(Q^N)$ Ortogonal Dizisinin Kurulması

ADIM 1. Temel sütunların oluşturulması.

FOR k=2 TO J DO

BEGIN

$$j=\frac{Q^{k-1}-1}{Q-1}+1;$$

FOR i=1 TO Q^J

$$a_{i,j}=\left[\frac{i-1}{Q^{J-k}}\right]\bmod(Q);$$

END.

ADIM 2. Temel olmayan sütunların oluşturulması.

FOR k=1 TO J DO

BEGIN

$$j=\frac{Q^{k-1}-1}{Q-1}+1;$$

FOR s=1 TO j-1 DO

FOR t=1 TO Q-1 DO

$a_{j+(s-1)(Q-1)+t}=(a_s \cdot t+a_j) \bmod(Q)$;

END.

ADIM 3. Tüm $1 \le i \le M$ ve $1 \le j \le N$ için $a_{i,j}$' yi 1 artır.

1. Algoritma sadece N=$\frac{Q^J-1}{Q-1}$şartını sağlayan J değerlerinde $L_M(Q^N)$'i kurar. Oysa N=$\frac{Q^J-1}{Q-1}$şartını sağlayan Q, J ve N değerleri her zaman varolmayabilir. Bu nedenle farklı Q, J ve N değerlerine göre de Ortogonal dizinin kurulması gerekmektedir.

2.ALGORİTMA: $L_{M_1}(Q_1{}^N)$ ' in Kurulması

ADIM 1. $\frac{Q_1{}^{J_1}-1}{Q_1-1} \ge N$ yapan en küçük J_1 seçilir.

ADIM 2. $N' = \frac{Q_1{}^{J_1}-1}{Q_1-1}$' den N′ hesaplanır.

ADIM 3. $L_{Q_1{}^{J_1}}(Q_1{}^{N'})$ Ortogonal dizisini kurmak için 1.Algoritma uygulanır.

ADIM 4. $L_{M_1}(Q_1{}^N)$ Ortogonal dizisini elde etmek için $L_{Q_1{}^{J_1}}(Q_1{}^{N'})$ Ortogonal dizisinin en son N′-N farkı sayı kadar sütunu silinir.

3.5.3. Kuantalama Tekniği İle Başlangıç Populasyonu Üretimi

F(x) amaç fonksiyonu olarak tanımlandığında, $x=(x_1, x_2,\ldots\ldots x_N)$ bir kromozomu ifade ediyor olsun. Burada $x_1, x_2,\ldots\ldots x_N$ kromozomdaki genleri gösterir. x_i'yi i. faktör olarak tanımlarız, böylece her kromozom N faktörlerine sahip olur. Yani her kromozomda N adet gen (sütun) vardır. Bu genler (faktörler) süreklidir, fakat Ortogonal dizayn sadece ayrık faktörler için geçerlidir. Bu nedenle her faktörü bir sonlu değer içinde kuantalarız. x_i'yi $[l_i,u_i]$ çözüm uzayında Q_1 tek ve $\alpha_{i,j}$ aşağıdaki şekilde verildiğinde Q_1 seviyeleri içinde kuantalarız.

$$\alpha_{i,j} = \begin{cases} l_i & j = 1 \\ l_i + (j-1)\cdot\left(\dfrac{u_i - l_i}{Q_1 - 1}\right) & 2 \le j \le Q_1 - 1 \\ u_i & j = Q_1 \end{cases} \tag{3.15}$$

i. faktörün j. seviyesi $\alpha_{i,j}$ olarak adlandırılır ve $\alpha_i=(\alpha_{i,1}, \alpha_{i,2},..\alpha_{i,Q_1})$ olarak ifade edilir. Kuantalamadan sonra, x_i mümkün $\alpha_{i,1}, \alpha_{i,2}....\alpha_{i,Q_1}$ değerlerine sahiptir. M_1 adet kromozomu üretmek için kuantalama ile bulunan α_i değerleri aşağıdaki gibi, ancak $L_{M_1}(Q_1^N)$ Ortogonal dizi formuna uygun oluşturulur.

$$\begin{cases} (\alpha_{1,\alpha_{1,1}}, \alpha_{2,\alpha_{1,2}}, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \alpha_{N,\alpha_{1,N}}) \\ (\alpha_{1,\alpha_{2,1}}, \alpha_{2,\alpha_{2,2}}, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \alpha_{N,\alpha_{2,N}}) \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \alpha_{1,\alpha_{M_1,1}}, \alpha_{2,\alpha_{M_1,2}}, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \alpha_{N,\alpha_{M_1,N}}) \end{cases} \tag{3.16}$$

Oluşturulan bu M_1 adet kromozom, Ortogonal dizayna göre uygun çözüm uzayında düzgün olarak dağıtılarak üretilmiştir. Uygun çözüm uzayı büyük olduğu zaman, daha iyi arama yapmak için daha fazla kromozom üretmek global çözümü yakalama açısından istenir. Bu amacı gerçekleştirmek için uygun çözüm uzayı [l,u] iken, [l(1),u(1)], [l(2),u(2)]….[l(S),u(S)] gibi S adet alt uzaylara bölünür. Her bir alt uzay aşağıdaki denklemlere göre bulunur.

$$u_S - l_S = \max(u_i - l_i) \quad 1 \le i \le N \tag{3.17}$$

$$\begin{cases} l(i) = l + (i-1)\cdot\left(\dfrac{u_S - l_S}{S}\right)\cdot 1_S \\ u(i) = u - (S-i)\cdot\left(\dfrac{u_S - l_S}{S}\right)\cdot 1_S \end{cases} \quad i = 1,2,\ldots S \tag{3.18}$$

Burada 1_S , N boyutlu bir vektördür ve S. elemanı 1, diğer elemanlarının hepsi 0'dır. Her bir alt uzayın kuantalamasından Q satır sayılı, N sütun sayılı α'lar oluşur. Her bir alt uzayın kuantalamasından sonra M adet (Q^J adet) kromozom (satır) üretilmiştir. Her bir kromozomda da N adet gen (sütun) vardır. Her bir alt uzay ayrı ayrı kuantalandıktan sonra her birine $L_{M_1}(Q_1^N)$ Ortogonal dizisi uygulanarak, başlangıç populasyonu için toplam $M_1 \cdot S$ adet kromozom üretilmiş olur. $M_1 \cdot S$ adet kromozom arasından istenilen adedi kadar en iyiler başlangıç populasyonunu oluşturur.

Örnek 1. $0.5 \le x_1 \le 10.5$, $3.5 \le x_2 \le 6.5$, $4.5 \le x_3 \le 7.5$ çözüm aralıklarında 3 boyutlu bir optimizasyon problemini $Q_1=3$ ve S=5 seçerek çözelim.

Uygun çözüm uzayı=[l,u]=[(0.5, 3.5, 4.5), (10.5, 6.5, 7.5)]

ADIM 1: (3.7) denkleminden; $u_{S1}-l_{S1}=u_1-l_1=10.5-0.5=10$ $u_{S2}-l_{S2}=u_2-l_2=6.5-3.5=3$

$u_{S3}-l_{S3}=u_3-l_3=7.5-4.5=3$ $u_S-l_S=\max(u_i-l_i)$ olduğuna göre $u_S-l_S=10$'dur. (3.18) denkleminden;

l(1)=(0.5, 3.5, 4.5) + (1-1)·10/5 = (0.5, 3.5, 4.5)

u(1)=(10.5, 6.5, 7.5) – (5-1)·10/5 = (2.5, 6.5, 7.5)

l(2)=(0.5, 3.5, 4.5) + (2-1)·10/5 = (2.5, 3.5, 4.5)

u(2)=(10.5, 6.5, 7.5) – (5-2)·10/5 = (4.5, 6.5, 7.5)

l(3)=(0.5, 3.5, 4.5) + (3-1)·10/5 = (4.5, 3.5, 4.5)

u(3)=(10.5, 6.5, 7.5) – (5-3)·10/5 = (6.5, 6.5, 7.5)

l(4)=(0.5, 3.5, 4.5) + (4-1)·10/5 = (6.5, 3.5, 4.5)

u(4)=(10.5, 6.5, 7.5) – (5-4)·10/5 = (8.5, 6.5, 7.5)

l(5)=(0.5, 3.5, 4.5) + (5-1)·10/5 = (8.5, 3.5, 4.5)

u(5)=(10.5, 6.5, 7.5) – (5-5)·10/5 = (10.5, 6.5, 7.5)

alt uzaylarına ayrılırlar.

ADIM 2: (3.15) denkleminden sırasıyla her bir alt uzay kuantalanır. Burada örnek olarak [l(1),u(1)] alt uzayının kuantalanmasını gösterelim.

$\alpha_{1,1}=l_1=0.5$ $\alpha_{1,2}= l_1+(2-1)\cdot(u_1-l_1)/(3-1)=0.5+(1)\cdot(2.5-0.5)/(2)=1.5$ $\alpha_{1,3}=u_1=2.5$ bulunur.

$\alpha_{2,1}=l_2=3.5$ $\alpha_{2,2}= l_2+(2-1)\cdot(u_2-l_2)/(3-1)=3.5+(1)\cdot(6.5-3.5)/(2)=5$ $\alpha_{2,3}=u_2=6.5$ bulunur.

$\alpha_{3,1}=l_3=4.5$ $\alpha_{3,2}= l_3+(2-1)\cdot(u_3-l_3)/(3-1)=4.5+(1)\cdot(7.5-4.5)/(2)=6$ $\alpha_{3,3}=u_3=7.5$ bulunur.

Yani $\alpha_1 =(0.5, 1.5, 2.5)$ $\alpha_2 =(3.5, 5, 6.5)$ $\alpha_3 =(4.5, 6, 7.5)$

(3.16) denklemi, 2. Algoritma ve yukarıda bulunan α değerlerine göre [l(1),u(1)] alt uzayının kuantalanmasından, $L_{3^2}(3^3)$'den üretilen kromozomlar aşağıdaki şekildedir.

$$\begin{bmatrix} 1.kromozom & 0.5 & 3.5 & 4.5 \\ 2.kromozom & 0.5 & 5 & 6 \\ 3.kromozom & 0.5 & 6.5 & 7.5 \\ 4.kromozom & 1.5 & 3.5 & 6 \\ 5.kromozom & = 1.5 & 5 & 7.5 \\ 6.kromozom & 1.5 & 6.5 & 4.5 \\ 7.kromozom & 2.5 & 3.5 & 7.5 \\ 8.kromozom & 2.5 & 5 & 4.5 \\ 9.kromozom & 2.5 & 6.5 & 6 \end{bmatrix}$$

ADIM 3. Sadece 1 alt uzayın [l(1),u(1)] kuantalamasından $M=Q^J=9$ adet kromozom üretilmiştir. Alt uzay sayısı S=5 olduğuna göre toplam $M\cdot S=9\cdot5=45$ adet kromozom üretilecektir. 45 kromozom arasında başlangıç populasyonu olarak uygunluğu en iyi olan istenilen sayıda kromozomlar seçilir.

3.6. Düzenli Popülasyon

[13]'deki tez çalışmasında, GA'nın ıraksama ve yerel çözümde kalma problemlerinin giderilmesi amacıyla, çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin yanında başlangıç popülasyonu üretmek için de yeni bir yöntem geliştirilmiş ve adına Düzenli Popülasyon denilmiştir. Düzenli popülasyon metodunda popülasyonu oluşturan kromozomlar, tamamen rasgele olarak üretilmediği gibi tamamen kurallı olarak da üretilmez. Bu yöntemde ilk olarak, bir kromozom rasgele üretilir ve popülasyonda rasgele olarak üretilen tek kromozom bu kromozomdur. Bunun haricindeki üretilecek tüm kromozomlar, bu kromozoma bağlı olarak üretilecek olan, lojiksel işlemlere dayalı kromozomlardır. Başlangıçta rasgele üretilen kromozomun tümleyeni alınarak oluşturulan kromozom da popülasyonda yerini alır. Bu işlemde parça sayısı r=1'dir. r=2 olursa rasgele olarak üretilen kromozom iki parçaya bölünür. Bu kromozomdan başka üç kromozom daha elde edilir. Yani toplam dört kromozom elde edilir. Aslında kromozomların üretilmesi işlemi, r'nin aldığı değere göre lojiksel bölümlemelerden ve işlemlerden ibarettir. Başlangıçta rasgele olarak üretilen kromozomla beraber toplam 2^r adet kromozom elde edilir. Aşağıdaki tablolarda ikili kodlamaya göre, r' ye bağlı kromozom oluşturma şekilleri gösterilmiştir.

Tablo 3.7. r=1 için Rasgele Kromozom (C_0) ve Üretilen Kromozom

C_0	0	a_0
C_1	1	$\overline{a_0}$

Tablo 3.8. r=2 için Rasgele Kromozom (C_0) ve Üretilen Kromozomlar

C_0	00	a_1a_0
C_1	01	$a_1\overline{a_0}$
C_2	10	$\overline{a_1}a_0$
C_3	11	$\overline{a_1}\overline{a_0}$

Tablo 3.9. r=3 için Rasgele Kromozom (C_0) ve Üretilen Kromozomlar

C_0	000	$a_2a_1a_0$
C_1	001	$a_2a_1\overline{a_0}$
C_2	010	$a_2\overline{a_1}a_0$
C_3	011	$a_2\overline{a_1}\overline{a_0}$
C_4	100	$\overline{a_2}a_1a_0$
C_5	101	$\overline{a_2}a_1\overline{a_0}$
C_6	110	$\overline{a_2}\overline{a_1}a_0$
C_7	111	$\overline{a_2}\overline{a_1}\overline{a_0}$

Tablo 3.10. r=4 için Rasgele Kromozom (C_0) ve Üretilen Kromozomlar

C_0	0000	$a_3a_2a_1a_0$
C_1	0001	$a_3a_2a_1\overline{a_0}$
C_2	0010	$a_3a_2\overline{a_1}a_0$
C_3	0011	$a_3a_2\overline{a_1}\,\overline{a_0}$
C_4	0100	$a_3\overline{a_2}a_1a_0$
C_5	0101	$a_3\overline{a_2}a_1\overline{a_0}$
C_6	0110	$a_3\overline{a_2}\,\overline{a_1}a_0$
C_7	0111	$a_3\overline{a_2}\,\overline{a_1}\,\overline{a_0}$
C_8	1000	$\overline{a_3}a_2a_1a_0$
C_9	1001	$\overline{a_3}a_2a_1\overline{a_0}$
C_{10}	1010	$\overline{a_3}a_2\overline{a_1}a_0$
C_{11}	1011	$\overline{a_3}a_2\overline{a_1}\,\overline{a_0}$
C_{12}	1100	$\overline{a_3}\,\overline{a_2}a_1a_0$
C_{13}	1101	$\overline{a_3}\,\overline{a_2}a_1\overline{a_0}$
C_{14}	1110	$\overline{a_3}\,\overline{a_2}\,\overline{a_1}a_0$
C_{15}	1111	$\overline{a_3}\,\overline{a_2}\,\overline{a_1}\,\overline{a_0}$

İkili kodlamada 0'ın tümleyeni 1, ya da 1'in tümleyeni 0 alınır. Gerçel sayı tabanında, kromozomdaki her gen gerçel sayı ile temsil edilir. Gerçel sayının üst sınırından, kendisi çıkarılarak tümleyeni alınmış olunur.

Düzenli Popülasyonun kromozomlarının kaliteli olduğu [88]'de gösterilmiştir. [89]'da Düzenli popülasyonlu GA'nın Griewank, Michalewicz ve Rastrigin fonksiyonları üzerindeki uygulamaları yer almaktadır.

3.7. Uniform Dizilerle Başlangıç Popülasyonu

Uniform dizaynın temel amacı, verilen bir noktalar kümesinden küçük bir noktalar kümesi örneklemektir, şöyle ki örneklenen noktalar düzenli olarak dağılırlar. Kimyasal bir ürünün, sıcaklığa, katalizör miktarına, kimyasal gelişim süresine dayandığını farz edelim. Bu 3 nicelik, deneyin faktörleri olarak adlandırılır. Eğer her faktör olası 10 değere sahipse, her faktörün 10 seviyesi olduğunu söyleyebiliriz. Bu durumda, 10^3=1000 tane seviyelerin kombinasyonu vardır. Burada en iyi kombinasyonu bulabilmek için 1000 tane deney yapmak gerekecektir. Tüm bu deneyleri yapmak mümkün olmadığından ya da pahalı olacağından, deneylerin küçük fakat temsili bir örneğini seçmek arzu edilir. Uniform dizayn bu amaç için geliştirilmiştir. n, faktör ve her faktörde de q seviyeleri olsun. n ve q verildiğinde, uniform dizayn q^n olası kombinasyonlarının dışında q kombinasyonlarını seçer. Bu q kombinasyonları

bütün olası kombinasyonlar uzayı üzerine düzenli olarak dağıtılır. Seçilen q kombinasyonları uniform dizi olarak ifade edilmiştir.

$U(n,q)=[U_{i,j}]_{qxn}$, $U_{i,j}$, i.kombinasyonda j. faktörün seviyesidir.

3.7.1. Uniform Diziler

Düzenli dizi, n sütun sayılı, q satır sayılıdır. $U_{i,j}$ aşağıdaki denklem (3.19)'daki gibi kurulur. n faktör, q seviyeyi temsil eder. Her faktörde q seviyeleri vardır.

$$U_{i,j} = (i \cdot \sigma^{j-1})_{mod(q)} + 1 \qquad (3.19)$$

σ , Tablo 3.11'de verilen bir parametredir.

Tablo 3.11. Farklı Faktör ve Seviye Sayıları İçin σ Parametresi

Her Faktörün Seviyelerinin Sayısı	Faktör Sayısı	σ
5	2-4	2
7	2-6	3
11	2-10	7
13	2	5
	3	4
	4-12	6
17	2-16	10
19	2-3	8
	4-18	14
23	2, 13-14, 20-22	7
	8-12	15
	3-7, 15-19	17
29	2	12
	3	9
	4-7	16
	8-12, 16-24	8
	13-15	14
	25-28	18
31	2, 5-12, 20-30	12
	3-4, 13-19	22

Örnek olarak, 3 faktörlü ve 5 seviyeli düzenli bir dizi aşağıdaki gibi kurulur. σ=2'dir.

$U_{1,1}=(1\cdot 2^{1-1})_{mod(5)}+1=2$ $U_{2,1}=(2\cdot 2^{1-1})_{mod(5)}+1=3$ $U_{3,1}=(3\cdot 2^{1-1})_{mod(5)}+1=4$

$U_{1,2}=(1\cdot 2^{2-1})_{mod(5)}+1=3$ $U_{2,2}=(2\cdot 2^{2-1})_{mod(5)}+1=5$ $U_{3,2}=(3\cdot 2^{2-1})_{mod(5)}+1=2$

$U_{1,3}=(1\cdot 2^{3-1})_{mod(5)}+1=5$ $U_{2,3}=(2\cdot 2^{3-1})_{mod(5)}+1=4$ $U_{3,3}=(3\cdot 2^{3-1})_{mod(5)}+1=3$

$U_{4,1}=(4\cdot 2^{1-1})_{mod(5)}+1=5$ $U_{5,1}=(5\cdot 2^{1-1})_{mod(5)}+1=1$

$U_{4,2}=(4\cdot 2^{2-1})_{mod(5)}+1=4$ $U_{5,2}=(5\cdot 2^{2-1})_{mod(5)}+1=1$

$U_{4,3}=(4\cdot 2^{3-1})_{mod(5)}+1=2$ $U_{5,3}=(5\cdot 2^{3-1})_{mod(5)}+1=1$

$$U(3,5)=\begin{bmatrix}2 & 3 & 5\\ 3 & 5 & 4\\ 4 & 2 & 3\\ 5 & 4 & 2\\ 1 & 1 & 1\end{bmatrix}$$

3.7.2. Uniform Dizi İle Başlangıç Populasyonu Üretimi

Seviye sayısı arttıkça uniform diziyi hesaplamak fazla zaman almaktadır. Ayrıca literatürde en fazla 37 seviyeli uniform dizi hesaplanabilmektedir. Hem bu sebepten hem de zamandan kazanmak için, çözüm uzayı küçük alt uzaylara bölünür ve her alt uzayda uniform dizi uygulanır. S alt uzay sayısı olmak üzere, 2, 2^2, 2^3,… gibi seçilir. [l,u] çözüm uzayı, [l(1),u(1)], [l(2),u(2)],…[l(S),u(S)] alt uzaylarına bölünür.

Algoritma 1. Çözüm Uzayının Bölünmesi

Adım 1. a=l ve z= u alalım. $\log_2 S$ adet en büyük çözüm uzayı sınırları, $z_s=(a_s+z_s)/2$ işlemine tabi tutulur.

Adım 2. $\Delta_i = z_i - a_i$ ve $n_i = (u_i - l_i)/\Delta_i$ tüm i=1,2,….N için hesaplanır. N, problemin boyutudur. $1 \le j_i \le n_i$ olmak üzere;

$$\begin{cases} l(k) = l + ((j_1 - 1)\Delta_1, (j_2 - 1)\Delta_2, ...(j_N - 1)\Delta_N) \\ u(k) = l + (j_1\Delta_1, j_2\Delta_2, ...j_N\Delta_N) \end{cases} \tag{3.20}$$

alt uzayları hesaplanır.

Her bir alt uzay Q_0 seviyeleri içinde kuantalanır.

$$\alpha_{i,j}(k) = \begin{cases} l_i(k) & j = 1 \\ l_i(k) + (j-1)\left(\dfrac{u_i(k) - l_i(k)}{Q_0 - 1}\right) & 2 \le j \le Q_0 - 1 \\ u_i(k) & j = Q_0 \end{cases} \tag{3.21}$$

Kuantalamadan sonra tekrar uniform dizi formu uygulanır. (j=1,2…Q_0) Her bir uygunluk fonksiyonunda S·Q_0 adet nokta değerlendirilir ve en iyi $\lfloor G/D_0 \rfloor$veya $\lceil G/D_0 \rceil$ noktaları seçilir. Toplamda G sayıda nokta seçilmiş olur.

Algoritma 2. Başlangıç Populasyonu Üretilmesi [90]

*Adım 1. A*lgoritma 1'e göre [l,u] çözüm uzayı, [l(1),u(1)], [l(2),u(2)],…[l(S),u(S)] S alt uzaylarına bölünür.

Adım 2 .(3.21) denklemine dayanarak her bir alt uzay kuantalanır ve sonra Q_0 noktalarını örneklemek için U(N,Q_0) uniform dizisi uygulanır.

Adım 3. Her bir uygunluk fonksiyonuna dayanarak Adım 2'de üretilen S·Q_0 noktalarının her birinin kalitesi değerlendirilerek en iyi $\lfloor G/D_0 \rfloor$ veya $\lceil G/D_0 \rceil$ noktaları seçilir. Başlangıç populasyonunu oluşturmak için S·Q_0 noktaları arasından toplam G sayıda nokta seçilmiş olunur.

Örnek olarak, 3 boyutlu bir problem düşünelim.

$10 \le x_1 \le 40$, $20 \le x_2 \le 80$, $30 \le x_3 \le 100$ olsun.

Çözüm uzayı, [l,u]=[(10,20,30),(40,80,100)] olur.

S=4, Q_0=5, D_0=5, G=6 seçelim.

Algoritma 1 uygulanarak çözüm uzayı aşağıdaki gibi 4 alt uzaya bölünür.

Adım 1. $\log_2 4$ =2'dir. z_2=(80+20)/2=50 ve z_3=(100+30)/2=65 olarak hesaplanır.

a=l=(10,20,30) ve z=(40,50,65) olur.

Adım 2.

$\Delta_1 = (40-10) = 30$, $\Delta_2 = (50-20) = 30$, $\Delta_3 = (65-30) = 35$

$n_1 = (40-10)/30 = 1$, $n_2 = (80-20)/30 = 2$, $n_3 = (100-30)/35 = 2$

j_1=1 j_2=1,2 j_3=1,2

l(1)=(10,20,30)+((1-1)·30,(1-1)·30,(1-1)·35)=(10,20,30);

u(1)=(10,20,30)+(1·30,1·30,1·35)=(40,50,65)

l(2)=(10,20,30)+((1-1)·30,(1-1)·30,(2-1)·35)=(10,20,65);

u(2)=(10,20,30)+(1·30,1·30,2·35)=(40,50,100)

l(3)=(10,20,30)+((1-1)·30,(2-1)·30,(1-1)·35)=(10,50,30);

u(3)=(10,20,30)+(1·30,2·30,1·35)=(40,80,65)

l(4)=(10,20,30)+((1-1)·30,(2-1)·30,(2-1)·35)=(10,50,65);

u(4)=(10,20,30)+(1·30,2·30,2·35)=(40,80,100)

Her bir alt uzay denklem (3.21)'e göre kuantalanır. Burada [l(1),u(1)]'in kuantalamasını örnekleyelim. Diğer alt uzayların da kuantalaması benzer şekilde yapılır.

$\alpha_{1,1}=l_1(1)=10$

$\alpha_{1,2}=10+(2-1)(40-10)/(5-1)=17.5$

$\alpha_{1,3}=10+(3-1)(40-10)/(5-1)=25$

$\alpha_{1,4}=10+(4-1)(40-10)/(5-1)=32.5$

$\alpha_{1,5}=40$

$\alpha_{2,1}=l_2(1)=20$

$\alpha_{2,2}=20+(2-1)(50-20)/(5-1)=27.5$

$\alpha_{2,3}=20+(3-1)(50-20)/(5-1)=35$

$\alpha_{2,4}=20+(4-1)(50-20)/(5-1)=42.5$

$\alpha_{2,5}=50$

$\alpha_{3,1}=l_3(1)=30$

$\alpha_{3,2}=30+(2-1)(65-30)/(5-1)=38.75$

$\alpha_{3,3}=30+(3-1)(65-30)/(5-1)=47.5$

$\alpha_{3,4}=30+(4-1)(65-30)/(5-1)=56.25$

$\alpha_{3,5}=65$

Problem, 3 boyutlu (faktör) ve seçilen $Q_0=5$ olduğundan 5 seviyelidir.

Kuantalamadan sonra (3.19)'daki uniform dizi formu uygulanır. Her bir alt uzayın kuantalamasından sonra 3 (N) boyutlu 5 (Q_0) adet kromozom elde edilir. 1. alt uzayın kuantalamasından elde edilen kromozomlar aşağıdaki gibidir:

$$\begin{bmatrix} 1.kromozom \\ 2.kromozom \\ 3.kromozom \\ 4.kromozom \\ 5.kromozom \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 17.5 & 35 & 65 \\ 25 & 50 & 56.25 \\ 32.5 & 27.5 & 47.5 \\ 40 & 42.5 & 38.75 \\ 10 & 20 & 30 \end{bmatrix}$$

Her bir alt uzaydan Q_0 kadar kromozom elde edilir. Başlangıçtaki toplam kromozom sayısı, $S \cdot Q_0 = 4 \cdot 5 = 20$'dir.

Adım 3. Örnek 2'de elde edilen uygunluk fonksiyonlarının birincisinden $\lceil G / D_0 \rceil$=2, diğer 4 uygunluk fonksiyonundan $\lfloor G / D_0 \rfloor$=1'er olmak üzere toplam G=6 nokta başlangıç populasyonunu oluşturmak için seçilir. Her bir uygunluk fonksiyonunda, tüm kromozomlar (bu örnek için 20) arasından en iyi noktalar ($\lceil G / D_0 \rceil$ ya da $\lfloor G / D_0 \rfloor$ adet) seçilir.

3.8. Lojistik Haritalı Kaotik Başlangıç Popülasyonu

İstatistikten sanata, kriptografiden mühendislik bilimlerine kadar oldukça geniş uygulama alanı olan rassal sayıların tekrarlanmadan ve tahmin edilemez olarak üretilmesi çok önemlidir. Son zamanlarda lojistik denklem ile elde edilen kaotik sayı dizileri, rassal sayıların yerine kullanılmıştır. [91]'de kaosa dayalı bir rassal sayı üreteci oluşturularak, bu devre ile birçok uygulamalar için kaliteli rassal sayıların üretileceği bildirilmiştir. [92]'de Chebyshew haritasına dayalı yüksek kaliteli kaotik rassal dizisi üretilmiştir.

Kaotik sayı dizileri, GA'da başlangıç popülasyonu olarak da kullanılmıştır. [93]'de Lojistik denklem ile kaotik başlangıç popülasyonu oluşturulmuştur. [94]'de kaos-GA tanımlanarak klasik GA karşısındaki performansı, iki fonksiyonun optimizasyonu üzerinde gösterilmiştir. [95]'de immün ve kaosa dayalı GA ile birçok fonksiyonun optimizasyonu yapılmıştır. Başlangıçta kaos dizileriyle antikorlar üretilmiştir. [96]'da lojistik denklem ile oluşturulan kaotik başlangıç popülasyonlu ve kaotik mutasyonlu GA ile iki fonksiyon optimize edilmiştir. [97]'de başlangıç popülasyonu Lojistik Harita ile oluşturulmuş GA ile PID parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır.

[98]'de Parçacık sürü optimizasyonunun global yakınsama özelliğinin artırılması ve lokal çözümde takılıp kalmasının önlenmesi için farklı kaotik haritalar ile farklı kaotik sayılar kullanılmıştır. Lojistik harita, Çadır harita, Sinüsoidal yineleyici, Gauss haritası, Çember harita, Arnold'ın kedi haritası, Sina haritası, Zaslavskii haritası kullanılan farklı kaotik haritalardandır. [99]'da Lojistik, Henon, Çadır ve Chebyshev haritalarıyla oluşturulan kaotik binary dizisinin kararlılığı analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir.

3.8.1. Lojistik Harita

Nonlineer sistemde var olan en önemli olgulardan biri kaostur ve kaos teorisi nonlineer sistem araştırmalarında çok yaygın kullanılır. Şimdi daha yaygın olarak biliniyor ki, kaos hemen tüm doğal hadiselerin altında yatan temel bir hareket modudur [100]. Kaotik davranışı isbatlayan en basit dinamik sistemlerden biri aşağıdaki eşitliğe sahip olan lojistik denklem (3.22) olarak ifade edilen fonksiyondur.

$$x_{n+1} = \lambda \cdot x_n(1 - x_n) \tag{3.22}$$

Lojistik kaos denklemi genelde kaos dizileri üretmek için uygulanır. Bu denklem en basit ve en çok kullanılan haritadır. λ, 0 ve 4 arasındaki bir kontrol parametresidir. λ değerine göre sistem farklı davranışlar gösterecektir.

1- $0 < \lambda \leq 1$ durumunda sistem çok basittir.

2- $1 < \lambda < 3$ durumunda 0 ve 1-1/λ olan periyodik iki noktalı basit bir sistemdir.

3- $3 \leq \lambda \leq 4$ durumunda sistem çok karmaşıktır. Sistem, kaosa girmektedir.

4- $\lambda > 4$ durumunda sistem çok daha karmaşık olacaktır [101].

Dolayısıyla λ <3 iken fonksiyon kararlıdır ve λ>3 iken çatallaşma oluşur. $\lambda \geq 3.57$ iken fonksiyon kaosa gider [102]. Bu çalışmada, sistemin kaosa girdiği nokta olan 3.57 noktası referans alınacak ve tekrarlanmama amacı güdülecektir. x_n, $0 \leq x_n \leq 1$ aralığındaki n. Kaotik sayıyı temsil eder. λ, $3.57 \leq \lambda \leq 4$ arasında rasgele seçilerek (3.12)'nin uygulanmasıyla başlangıç populasyonu oluşturulur. Bu şekilde geliştirilen kaotik başlangıç operatörünün çeşitliliğinin olduğu görülür.

Lojistik harita ile oluşturulmuş kaotik başlangıç populasyonunun, lokal çözümlerden kolayca kaçarak global yakınsamayı artıracağı düşünülmüştür. Kaotik sayı dizilerinin üretilmeleri kolaydır. Kullanılacak harita ve başlangıç şartı belirlenerek çok uzun diziler oluşturulabilir. Aynı harita ile başlangıç şartı değiştirilerek farklı sayı dizileri de üretmek mümkündür. Aynı harita ve aynı başlangıç değerleriyle aynı sayı dizisi tekrar üretilebilir. Kaotik sayı dizilerinin GA'da kullanılmasında, lokal çözümlerden kaçabilme amaçlanmıştır. Böylece hedeflenen global yakınsama yapılabilir [98].

3.9. Diferansiyel Gelişim Algoritması

Diferansiyel gelişim algoritması (DGA) ya da diferansiyel evrim algoritması, GA gibi popülasyon üzerinde işlem yapmaktadır ve sezgisel algoritmalardandır. GA ile aynı operatörlere sahip olsa da, yapıları ve uygulanışları itibariyle farklılıklar söz konusudur. DGA ilk defa, [103]'deki çalışma ile GA'dan esinlenerek ve özellikle sürekli parametreli problemlerin çözüm performansını artırmaya yönelik olarak ortaya çıkmıştır. DGA'nın önerilen iki farklı şeması, dokuz farklı De Jong test fonksiyonları üzerinde uygulanmış ve Nelder&Mead stratejisinin tavlanmış versiyonu ve adaptif tavlama benzetimi yöntemleriyle karşılaştırılmıştır.

DGA, gerçek parametreli optimizasyon problemlerinin çözümü için en son geliştirilmiş evrimsel algoritmalardan biridir. DGA, aynı popülasyonda ebeveyn birey ve diğer birkaç bireyin birleşiminden yeni yavru birey üretir. Üretilen yavru birey, ebeveyn bireyden daha iyiyse onun yerini alır. DGA'nın performansında dört önemli parametre etkindir: Ölçekleme faktörü F, mutasyon şemasında kullanılacaksa kombinasyon faktörü λ, çaprazlama kontrol parametresi CR, popülasyon boyutu N_p. DGA'nın popülasyonu, N_p adet n boyutlu bireyden oluşur, G generasyon sayısıdır [104].

$$\vec{x}_{i,G} = \{x_{i,1,G}, x_{i,2,G}, ...x_{i,n,G}\}, \qquad i = 1,2,...N_p \tag{3.23}$$

Başlangıçta popülasyon rasgele oluşturulur. Bu popülasyonda N_p adet çözüm vektörü vardır. n boyutlu kromozomun her bir değişkeni, kendi sınır aralığında (3.24)'deki gibi oluşturulur [105,106]:

$$x_{i,1,G} = x_{i,1,\min} + \{rand(0,1) \cdot (x_{i,1,\max} - x_{i,1,\min})\} \tag{3.24}$$

$x_{i,1,max}$, değişkenin üst sınır değerini; $x_{i,1,min}$, değişkenin alt sınır değerini gösterir.

Şekil 3.4'de DGA'nın işleyiş modeli verilmiştir [107]. Görüldüğü gibi DGA'da da çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılmaktadır. Ama bu operatörlerin kullanımı GA'dan farklıdır. DGA'nda başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra mutasyon işlemi uygulanır. Her bir hedef vektör için mutant vektörü v elde edilir. Mutasyon işlemi için iki farklı şema önerilmiştir [103]. DGA1 şeması Denklem (3.25)'deki gibidir.

$$v_{i,G} = x_{r_1,G} + F \cdot (x_{r_2,G} - x_{r_3,G}) \tag{3.25}$$

DGA2 şeması da Denklem (3.26)'daki gibidir:

$$v_{i,G} = x_{i,G} + \lambda \cdot (x_{eniyi,G} - x_{i,G}) + F \cdot (x_{r_2,G} - x_{r_3,G}) \tag{3.26}$$

$F \in (0,2]$ ve $\lambda \in (0,2]$'dir. $x_{eniyi,G}$, G generasyonunda popülasyondaki en iyi uygunluk değerli en iyi birey vektördür. G generasyonda her bir hedef vektör $\vec{x}_{i,G}$ için, mutasyon şema stratejilerinden biri kullanılarak mutant vektör $\vec{v}_{i,G} = \{v_{i,1,G}, v_{i,2,G}, ...v_{i,n,G}\}$ oluşturulur. DGA1 ve DGA2 şemasından başka, bunlara benzer başka mutasyon stratejileri de geliştirilmiştir [104,105,106,108]. $r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq i \in [1,2,...N_p]$. Bu mutasyon stratejisi şemalarından biri kullanılarak mutasyona uğratılan bireyler, çaprazlamada kullanılacaktır. Çaprazlamada, mutasyon sonucu elde edilen mutant vektörü $v_{i,G}$ ve hedef vektör $x_{i,G}$ kullanılarak sonraki generasyon için deneme vektörü $u_{i,G+1}$ üretilir. Deneme vektörüne ait her bir parametre CR olasılıkla mutant vektöründen, 1-CR olasılıkla o anki mevcut vektörden seçilir. 0 ile 1 arasında üretilen rasgele sayı, CR'den küçükse gen, mutant vektöründen, aksi durumda da mevcut hedef vektörden seçilir. Burada amaç CR olasılıkla, genin üretilen yeni mutant vektöründen alınmasıdır. Hiçbir gen mutant vektöründen alınmıyorsa, en az bir genin mutant vektöründen alınması garanti altına alınır. [1,n] aralığında, rasgele bir parametre indisi belirlenir. Rasgele belirlenen bu indis işlem yapılan parametre indisi ile aynı olduğunda, bu gen ya da bu parametre mutant vektöründen alınır. Deneme vektörü $u_{i,G+1}$ (3.27)'deki gibi hesaplanarak bulunur [109].

$$u_{i,j,G+1} = \begin{cases} v_{i,j,G} & rand(0,1) \leq CR \quad yada \quad j = j_{rand} \\ x_{i,j,G} & diger\ durumlarda \end{cases} \tag{3.27}$$

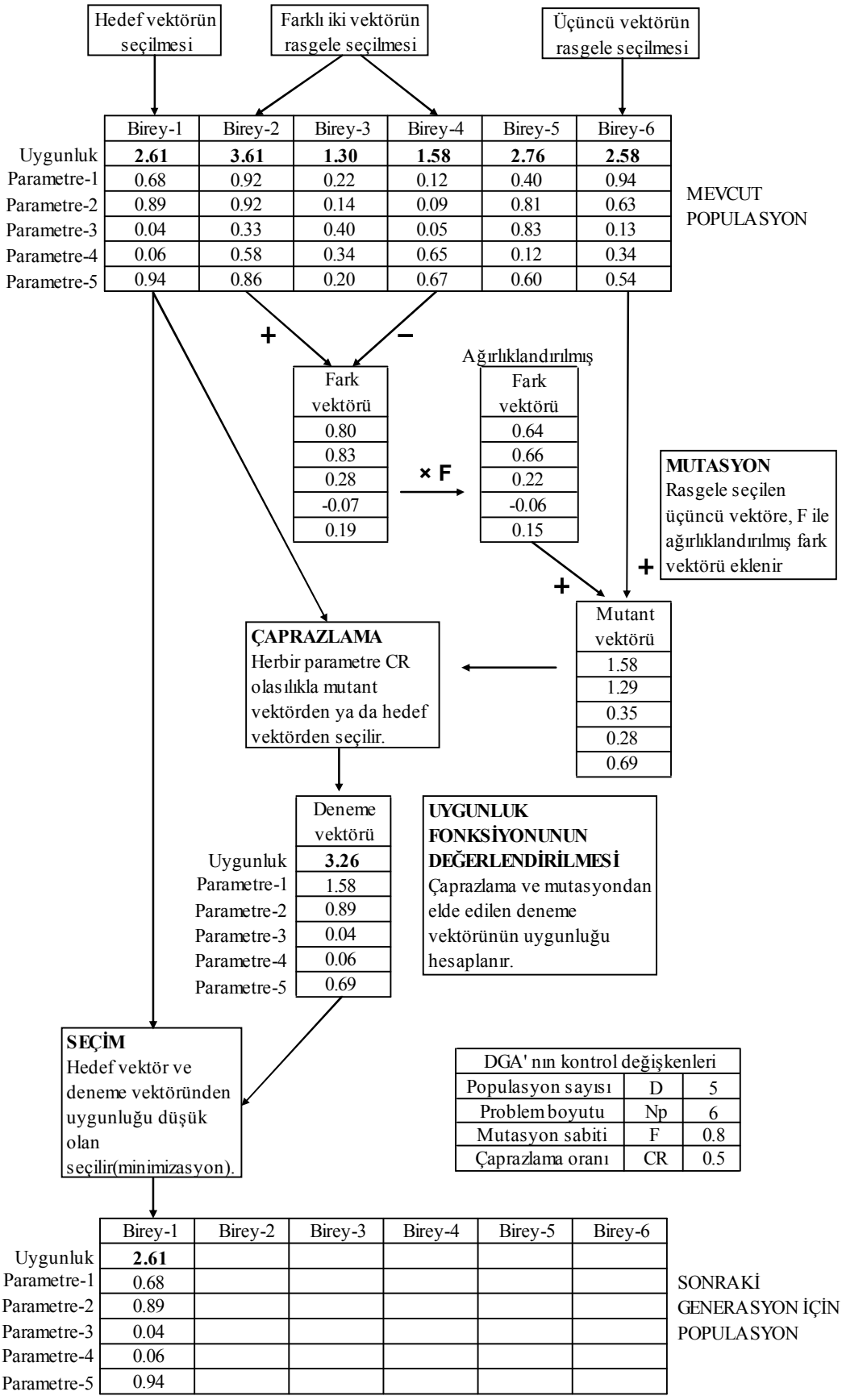
Deneme vektörü oluşturulduktan sonra, mevcut hedef vektör ve deneme vektörü uygunluklarına göre değerlendirilip karşılaştırılarak seçim yapılır. Seçim sonucunda hangi vektör daha iyiyse, o, sonraki generasyon için belirlenmiş olunur [110]. Denklem (3.28) minimizasyon amaçlı problem içindir. Uygunluğu daha küçük olan seçilmiştir. Maksimizasyon probleminde uygunluğu daha büyük olan seçilir.

$$x_{i,G+1} = \begin{cases} u_{i,G} & f(u_{i,G}) \le f(x_{i,G}) \quad ise \\ x_{i,G} & diger\ durumlarda \end{cases} \tag{3.28}$$

Tüm bu işlemler algoritmanın sonlandırma şartına kadar devam eder.

DGA'da da diğer sezgisel algoritmalar gibi, arama sürecini daha da hızlandırmak ve global yakınsamadan daha da emin olunması için çeşitli yollar geliştirilerek, iyileştirmeler yapılmıştır [111-114]. [111]'de kaotik DGA yaklaşımı, [99]'da kaotik immün DGA, [100]'de modifiye edilmiş DGA, [114]'de karşıtlık tabanlı DGA çalışmaları performansı artırmaya yönelik DGA uygulamalarındandır.

Şekil 3.4'te DGA'nın işleyiş şeması verilmiştir. GA'da var olan çaprazlama ve mutasyon operatörleri burada da olmakla birlikte, kullanımı GA'dan farklıdır.



Şekil 3.4. DGA İşleyiş Şeması ($f(x) = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5$)

4. TRANSFORMATÖR MERKEZLERİ VE TOPRAKLAMA KONUSUNDA TEMEL KAVRAMLAR

4.1. Genel

Santraller, birçok sebepten tüketicilere yakın olarak kurulamamaktadır. Santrallerde üretilen elektrik enerjisinin, uzaklardaki tüketicilere iletimi zorunludur. Bu durum enerji iletimi kavramıyla ilişkilidir.

Santrallerde üretilen elektrik enerjisinin gerilimi çok yüksek değildir (örneğin 14.4 kV). Bu gerilimin uzaklara güç kaybı olmadan uygun kesitli iletkenlerle iletimi için öncelikle bu gerilim yükseltilir. Bu gerilimin yükseltildiği yer, transformatör (trafo) merkezleridir. Trafo merkezindeki güç transformatörü yardımıyla yüksek gerilime (örneğin 14.4 kV'tan 380 kV'a) çevrilen elektrik enerjisi, enerji iletim hatlarıyla taşınır. Elektrik enerjisinin tüketicilere ulaştırılması için, taşınan bu yüksek gerilimin düşürülmesi gerekir (örneğin 380 kV'tan 154 kV'a, 154 kV'tan 34.5 kV'a). Gerilimin yine transformatörler yardımıyla düşürüldüğü bu yerler transformatör merkezleridir. Transformatör merkezlerinde genel olarak güç transformatörleri, kesiciler, ayırıcılar, parafudrlar, akım ve gerilim trafoları, röle-koruma sistemleri, muhabere sistemleri bulunmaktadır.

Transformatör merkezleri, yüksek gerilim şalt sahaları, trafo merkezleri, iletim merkezleri olarak da bilinmektedir. Yüksek gerilim şalt sahaları, elektrik enerjisini üreten kaynaklar ile tüketici kaynakları arasındaki güç iletim zincirinin önemli bir halkasını oluşturur. Bir veya daha fazla yüksek gerilim enerji nakil hatlarından elektrik enerjisini alarak, orta gerilim ve alçak gerilim ile abonelerin fiderlerine dağıtan cihazların tesis edildiği yerlere trafo merkezleri denir.

Elektrik enerjisi, santrallerde üretildikten sonra abonelere ulaşana kadar değişik işlemlerden geçer. İlk önce santral çıkışında elektrik enerjisinin gerilimi yükseltilir. Böylece iletim, yüksek gerilimle yapılmış olunur. Şehirlerde yüksek gerilim düşürülerek orta gerilim haline getirilir. Son olarak da, orta gerilim dağıtım trafoları yardımıyla alçak gerilime çevrilir. İşte bu işlemler yerine getirilirken değişik büyüklükte ve özellikte trafolar kullanılır. Bu trafolar ve yardımcı elemanların yerleştirildiği yer, transformatör merkezidir [115].

Çok büyük yatırımlar ve emeklerle kurulan ve sonrasında yıllarca işletilen elektrik iletim sisteminin can damarı, transformatör merkezleridir. Transformatör merkezleri, enerjinin üretildiği noktadan tüketildiği noktaya kadar iletim hatları vasıtasıyla taşınmasında, farklı gerilim seviyelerinin oluşmasında enterkonekte sistem zincirinin en önemli halkasını oluşturmaktadır.

Transformatör merkezlerinin;

-Güç kaybını azaltmak,

-İletim verimini artırmak,

-Ekonomik iletim sağlamak,

-Tüketicilere enerji naklini sağlamak,

-Enterkonnekte sisteme dahil olmak,

gibi çok önemli işlevleri yerine getirdiği bilinmektedir. Transformatör merkezleri, klasik şalt sahaları olarak nitelendirilen açık hava tesisleri olarak kurulabildiği gibi, gaz izoleli sistemler (GIS) olarak da yapılabilmektedir. Bu tezde, transformatör merkezlerinin topraklama sistemi olan topraklama ağlarının, farklı başlangıç popülasyonlu GA ile analizi yapılmıştır. Ayrıca analizde DGA da kullanılmıştır.

4.2. Topraklama Konusunda Temel Kavramlar

4.2.1. Giriş

Ekonomik ve sosyal kalkınmamızın temel ihtiyaçlarının başında, elektrik enerjisi gelmektedir. Türkiye'de giderek gelişen ve ihtiyacı artan elektrik enerjisinin iletimi için yıldan yıla yüksek gerilimli trafo merkezlerinin sayısı artmaktadır. Çok büyük yatırımlar ve emeklerle kurulan ve sonrasında yıllarca işletilen elektrik iletim sisteminin can damarı transformatör merkezleridir. Transformatör merkezlerinde çalışan her bir fonksiyonun elbette ki kendine göre önemi olmakla beraber, can damarı topraklama ağlarıdır. Transformatör merkezlerinde topraklama ağları, normal hallerde çalıştığını belli etmeyen bir tesis gibi görünse de, arıza hallerinde etkisini gösteren ve görevlerini yerine getiren çok önemli bir tesistir. Topraklama ağlarının kendisinden beklenen en genel görevi, elektrik iletim sürekliliğini sağlamaktır. Bunun için de kesintisiz, can kaybı olmayan, ekonomik iletim arzu edilmektedir. Dolayısıyla topraklama ağlarının, hem canlıları hem de çalışan teçhizatları arıza hallerinde oluşabilecek tehlikeli gerilim yükselmelerinden (ground potential rise) korumak ve teçhizatların işletilmesi için gereken toprak potansiyelini sağlamak gibi görevleri vardır.

Yıldırım, kısa devreler, devreye alma-devreden çıkarma manevraları, elektro statik deşarjlar yüksek gerilimli transformatör merkezlerinde çok yüksek akımların akmasına ve dolayısıyla çok yüksek gerilimlerin oluşmasına sebebiyet verir. Ortaya çıkan bu gerilimler canlılar için hayati tehlikeler oluşturabileceği gibi, elektriksel teçhizatlar için de, oldukça yüksek maddi kayıpların oluşmasına neden olabilir [1]. Elektriksel teçhizatların zarar görmesi de sistemde enerji kesintilerine neden olacaktır. Öyleyse topraklama ağlarının görevleri; en

başta insan ve canlı emniyetini sağlamak, enerji kesintilerini önleyerek sistem devamlılığını sağlamak, teçhizatların zarar görmesini engelleyerek kesintisiz ve ekonomik iletim sağlamak ve rölelerin arızaları algılayabilmelerine imkan verecek ya da işletme esnasında teçhizatlar için gereken toprak potansiyelini sağlamaktır.

Yüksek gerilimli bir transformatör merkezi kurulduktan ve işletmeye alındıktan sonra, topraklama ağıyla ilgili bir sorunu telafi edebilmek çok zor olduğu kadar çok da tehlikelidir. İletim merkezindeki tüm teçhizatlar, topraklama ağı üzerine yerleştirilmiş ve topraklama ağıyla irtibatlanmıştır. Topraklama ağından kaynaklanan bir hatayı, işletme esnasında ve enerjili sistemde düzeltmeye çalışmak son derece tehlikelidir. Hata düzeltimi sırasında oluşacak bir faz-toprak arızasında arıza akımı topraklama ağıyla toprağa iletileceğinden, ağ üzerinde çalışanlar için ölümcül kazalara neden olabilir. Bu nedenle topraklama ağı üzerinde yapılacak çalışmaların enerjisiz durumda yapılması zorunludur. Ancak elektrik talebinin yoğunluğu nedeniyle, transformatör merkezinin günlerce enerjisiz bırakılması isteği de TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi) Yük Tevzi İşletmecileri tarafından kabul görecek bir durum değildir. Bu nedenle, boş bir arazi durumundayken tasarımı başlayan topraklama ağının en baştan itibaren titizlikle ve tutarlı olarak ele alınması zaruridir. Topraklama ağı tasarımına etki edecek tüm parametreler, dikkatlice ve etraflıca irdelenmelidir.

Yüksek gerilimli trafo merkezlerinde, topraklama sistemi olarak topraklama ağı ile birlikte anılan topraklama iletkenlerinden ve topraklama çubuklarından faydalanılır [31]. Yüksek gerilim istasyonu kurulmadan önce yapılması gereken öncelikli ve en önemli adımlardan biri, topraklama ağının doğru olarak tasarlanmasıdır. Elektrik enerjisi ihtiyacının artmasına paralel olarak kurulan transformatör merkezleri, sayısının artmasına bağlı olarak canlıların yaşam alanlarının çok yakınına kadar gelmiştir. Dolayısıyla, transformatör istasyonlarında yapılan topraklama sistemlerinin, insan ve diğer canlıların hayatı için de tehlike yaratmayacak şekilde doğru olarak tasarlanması çok daha önemli hale gelmiştir.

4.2.2. Temel Kavramlar

4.2.2.1. Toprak

Elektrik direnci sıfıra çok yakın olup, Dünyanın tabii yapısını oluşturan maddedir.

4.2.2.2. Topraklama

Cihazların topraklanacak olan kısımlarının, bir topraklama tesisi üzerinden toprağa bağlantısının yapılmasıdır.

4.2.2.3. Topraklayıcı

Yeraltında toprağa gömülen ve bununla iletken bir bağlantı kurulacak olan bir malzemedir. Topraklayıcı; levha, çubuk ya da şerit şeklinde olabilir.

4.2.2.4. Toprak Özgül Direnci (ρ)

Dünyanın tabii yapısını teşkil eden maddenin, yani toprağın, özgül elektrik direnci olup ohm.mm^2/m ya da ohm.m cinsinden verilir. Bu değer, kenar uzunlukları 1 metre olan toprak küpün karşılıklı iki yüzeyi arasındaki dirence tekabül eder [116].

4.2.2.5. Referans Toprak

Bir topraklayıcıdan yeteri kadar uzakta bulunan ve topraklayıcı ile herhangi bir nokta arasında belirgin bir gerilim meydana gelmeyen (neredeyse sıfır volt), toprağın belli bir bölgesidir.

4.2.2.6. Topraklayıcı Yayılma Direnci

Topraklayıcı ile referans toprağı arasındaki dirençtir.

4.2.2.7. Darbe Yayılma Direnci

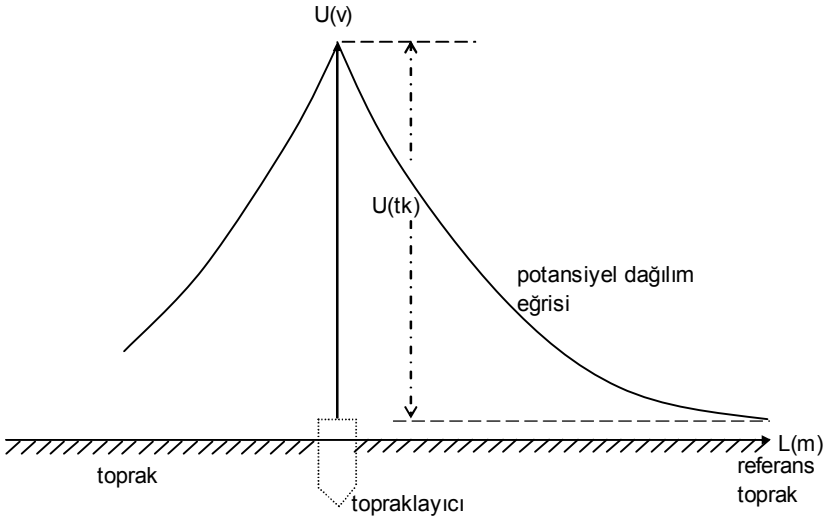
Akım darbelerinin geçmesi esnasında etkin olan yayılma direncidir. Bu değer akım darbesine bağlı olduğu gibi, topraklayıcıya da bağlıdır.

4.2.2.8. Toprak Direnci

Bir yerde ölçülebilen ve ölçüye giren bütün topraklamaların toplam direncidir.

4.2.2.9. Potansiyel Dağılımı

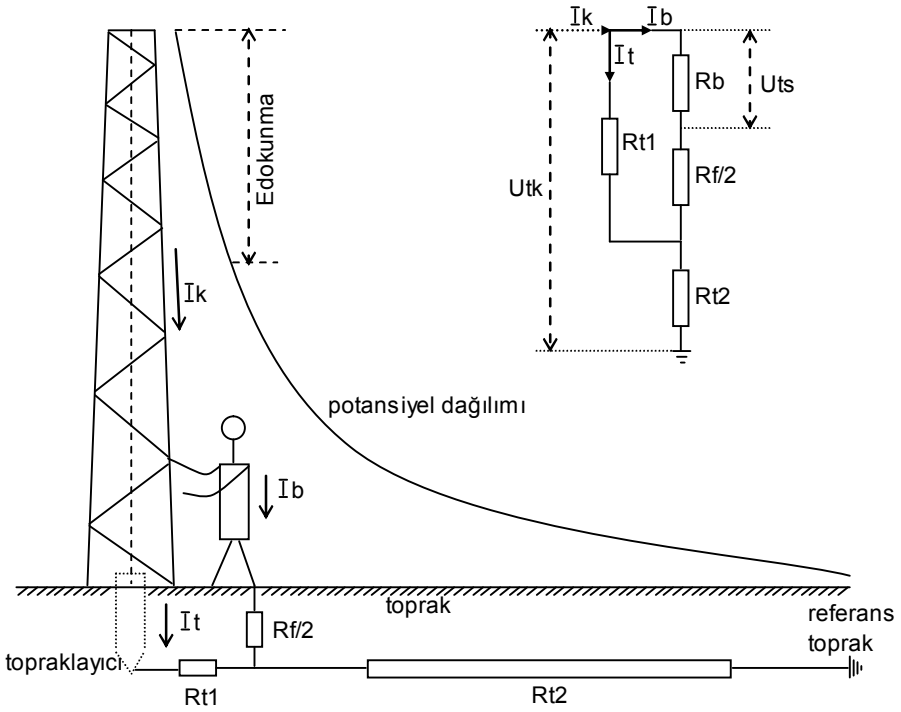
Topraklanmış bir işletme aracında bir kısa devre oluştuğunda, referans topraktan itibaren bu kısa devreye maruz kalmış işletme aracına doğru yeryüzeyindeki potansiyel dağılımıdır. Başka bir deyişle; yüksek gerilim trafo merkezlerindeki, toprağın h kadar altına gömülü topraklama ağının, bir kısa devre ya da yıldırım darbesine maruz kaldığında referans toprağa göre yer yüzeyinde oluşturduğu potansiyel dağılımıdır. Şekil 4.1'de gösterilen bu potansiyel dağılım eğrisinde U(tk) topraklayıcı gerilimidir.



Şekil 4.1. Topraklayıcı Etrafindaki Potansiyel Dağılımı

4.2.2.10. Dokunma Gerilimi

Yüksek gerilim tesisinde, fazın koparak direğin topraklanmış olan çelik konstrüksiyonuna teması durumunda, buradan I_k gibi bir hata akımı akar. Bu durumda metal olan yere dokunmakta olan insan vücudu ile toprak arasında bir potansiyel fark oluşur ve akım akar. İşte oluşan bu potansiyel fark, dokunma (temas) gerilimi olarak tanımlanır. Hatalı kısmın etrafında oluşan potansiyel dağılımı Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Dokunma Gerilimi ve Potansiyel Dağılımı

Topraklayıcı ya da hata geriliminin, insan vücudu tarafından köprülenen kısmı olan dokunma gerilimi sadece, ayak ve el arasında olacaktır diye bir kaide yoktur. Biri hata gerilimi ile, diğeri toprak ile temasta olan vücudun herhangi iki noktası, örneğin iki el arasında da bir akım yolu oluşabilir. Çoğu zaman insanın durduğu nokta, potansiyel değişimin en büyük olduğu noktaya isabet ettiğinden dokunma gerilimi, topraklayıcı geriliminin büyük bir kısmını oluşturur.

İki çeşit dokunma geriliminden bahsedilebilir. Birincisi Ut_1, insan vücudunun temas etmesinden önce ölçülebilen dokunma gerilimidir. İkincisi Ut_s, dokunma esnasında meydana gelen gerilimdir. Bu gerilim, el ve ayaktaki geçiş dirençleri ile insan vücudunun direncinde oluşan toplam gerilim düşümüdür. $Ut_1 > Ut_s$'dir.

Şekil 4.2'den görüleceği gibi, topraklayıcıya ait toplam yayılma direnci topraklama direncine eşit olup ($R_t=R_y$), ayağın yerden topraklayıcıya kadar olan kısmının direnci R_{t1}, referans toprağa kadar olan kısmının direnci R_{t2} ile gösterilmiştir. Buna göre;

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} \tag{4.1}$$

olur. Dokunmadan önceki gerilim;

$$U_{t1} = I_k \cdot R_{t1} = \frac{U_{tk}}{R_t} \cdot R_{t1} = U_{tk} \cdot \frac{R_{t1}}{R_{t1} + R_{t2}} \tag{4.2}$$

olur. Denklem (4.2) dokunmadan önceki dokunma geriliminin topraklayıcı geriliminin bir kısmı olduğunu gösterir. İdeal bir topraklamada $R_{t1}=0$ olması beklendiğinden, $U_{t1}=0$ olur. Yani ideal bir topraklamada, dokunmadan önce, bir dokunma gerilimi yoktur.

İnsan vücudunun dokunmasından sonra hata akımı iki kola ayrılır. Bunlardan birisi insan vücudu, diğeri de direktir.

$$I_k = I_b + I_t \tag{4.3}$$

İnsan vücudunun direnci R_b ile gösterilmiştir. El ile dokunma noktası geçiş direnci küçük olduğundan ihmal edilebilir. İki ayak paralel olmasından dolayı direnci, ayakların direnci $R_f/2$'dir.

$$I_t \cdot R_{t1} = I_b \cdot (R_b + (R_f / 2)) \tag{4.4}$$

$$(I_k - I_b) \cdot R_{t1} = I_b \cdot (R_b + (R_f / 2)) \tag{4.5}$$

$$I_b = \frac{I_k \cdot R_{t1}}{R_{t1} + R_b + R_f / 2} \tag{4.6}$$

Denklem (4.6) temas esnasında insan vücudundan geçen akımı göstermektedir. Temas esnasındaki dokunma gerilimi,

$$U_{ts} = I_b \cdot R_b \tag{4.7}$$

$$U_{ts} = \frac{I_k \cdot R_{t1}}{R_{t1} + R_b + R_f / 2} \cdot R_b \tag{4.8}$$

$$U_{ts} = U_{t1} \cdot \frac{R_b}{R_{t1} + R_b + R_f / 2} \tag{4.9}$$

olur. Bazı özel haller için Denklem (4.9)'a göre dokunma gerilimi, aşağıdaki gibi değerlendirilir:

1) $R_b = 0$ olması durumu normalde mümkün değildir. Bu durum direğe dokunan insanın iletken bir elbise, mesela madeni bir zırh giyinmiş olmasına tekabül eder. Buna göre, $U_{ts} = 0$ olur ve herhangi bir tehlike söz konusu değildir.

2) $R_b = \infty$ durumunda $U_{ts} = I_k \cdot R_{t1} = U_{t1}$'dir. Bu durumda U_{t1}, bir hata oluştuktan sonra, fakat bir insan tarafından direğe dokunulmadan evvel ölçülecek olan dokunma gerilimini verir ki bu da ideal bir topraklamada sıfırdır. İnsan üzerinden akım geçmeyecek olan bu durumda, tehlike yoktur.

3) $R_f = 0$ durumunda insanın ayak bastığı yer ıslaktır ya da ayakkabılarının tabanı metaldir. Zeminin ıslak olması dokunma geriliminin daha da büyümesine ve tehlikenin daha da artmasına neden olacaktır. (6.9)'daki ifadede payda azaldığından, dokunma gerilimi değeri artacaktır.

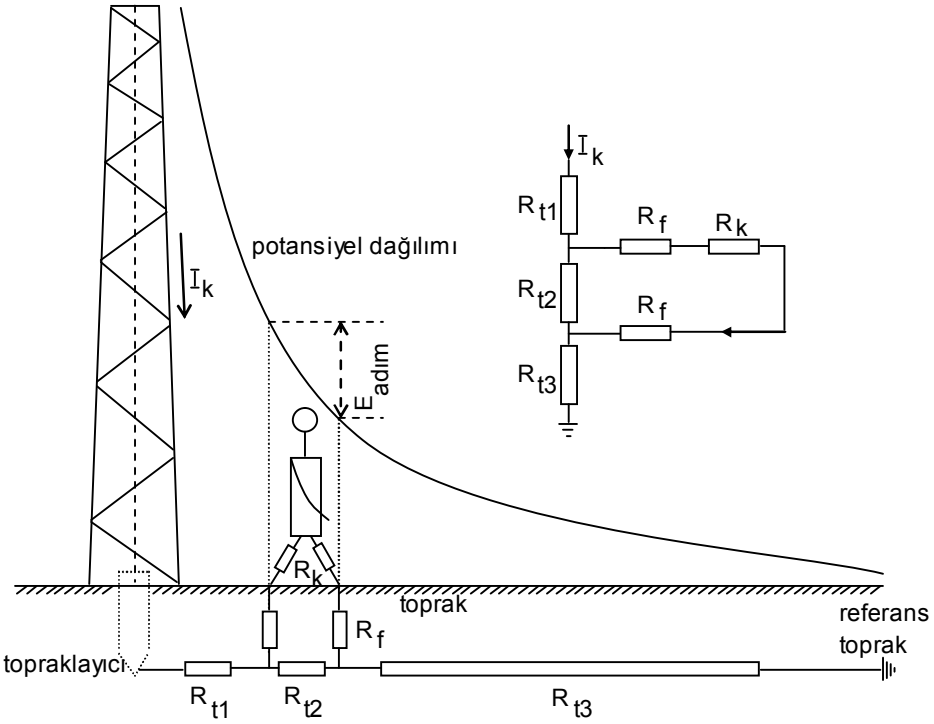
4) $R_f = \infty$ durumunda, insanın ayak bastığı yer, çok iyi yalıtılmıştır. Bu durumda dokunma gerilimi sıfırdır. Ayak basılan yer, uygun şekilde yalıtılarak dokunma gerilimine karşı bir koruma sağlanmış olunur.

5) $R_f = 0$ ve $R_{t1} = 0$ durumunda ayak basılan yer iletken olup, topraklayıcıyla ve topraklanacak kısımla bağlanmıştır. Bu şartlar altında, insan vücudu direnci kısa devre edilmiş olduğundan $R_b = 0$ olur ve dokunma gerilimi de sıfırdır. Bu durum ideal topraklama durumudur.

4.2.2.11. Adım Gerilimi

Herhangi topraklanmış bir nesneye temas etmeksizin, topraklayıcı geriliminin bir kişinin ayakları arasındaki 1 metre mesafede köprülendiği, yüzeydeki potansiyel fark adım gerilimi olarak tanımlanır. Başka bir deyişle, üzerinden akım geçen topraklayıcıya ait potansiyel dağılım alanı içinde bulunan bir canlının her bir ayağına tekabül eden potansiyellerin farkıdır.

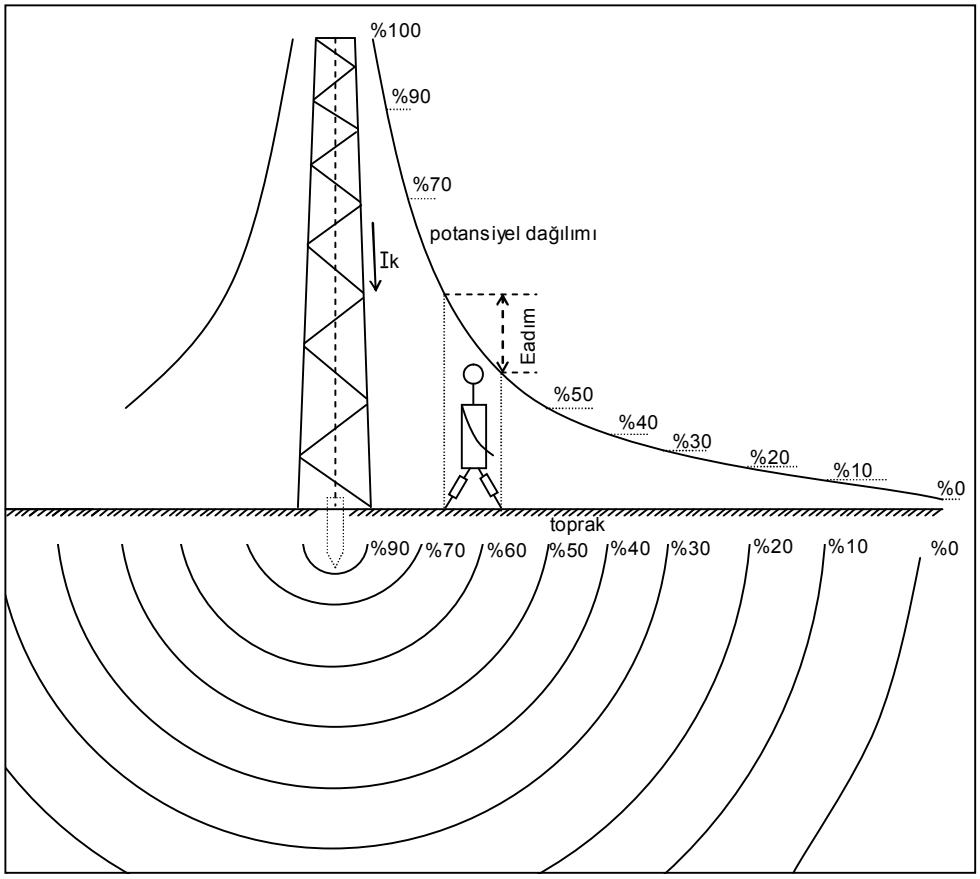
Bir yüksek gerilim tesisinde, bir hata sonucu toprağa hata akımı geçerse ve topraklayıcı ile referans toprağı arasına bir canlı girerse, adım gerilimine maruz kalır ve vücudundan akım geçer. Şekil 4.3'te bir toprak kısa devresi sonucu oluşan potansiyel dağılımı ve bu potansiyel alanın içinde bulunan bir insanın maruz kaldığı adım gerilimi gösterilmiştir. İnsanın, topraklayıcı ile referans toprak arasındaki potansiyel alanında, ayakları arasında potansiyel fark oluşmuştur. Topraklayıcı geriliminin bir canlının iki ayağı arasında köprülenen kısmı, adım geriliminin büyüklüğünü gösterir.



Şekil 4.3. Adım Gerilimi ve Potansiyel Dağılımı

Topraklayıcıya yakın yerlerde adım gerilimine maruz kalmak daha tehlikelidir. Çünkü, topraklayıcının yakınında potansiyel değişimi en büyük değerlerini alır. Topraklayıcıdan uzaklaştıkça referans toprağa doğru adım geriliminin değeri azalır. Adım gerilimine maruz kalma tehlikesi, sadece bir arıza anında değil, aynı zamanda toprağa akım verilerek yapılan toprak özgül direnci, topraklama direnci ölçümlerinde de söz konusudur. Bu nedenle ölçümler sırasında, ölçüm alanında yürümemek gerekir.

Şekil 4.4'te potansiyel dağılım alanı içindeki eş potansiyel çizgiler görülmektedir. Bir insanın veya hayvanın eş potansiyel çizgilere dik yürümesi durumunda iki ayak arasındaki potansiyel farkı yani adım gerilimi maksimum değerde olur. Eş potansiyel çizgilere paralel adım atıldığında ise adım gerilimi sıfır olur. Şekil 4.4, adım gerilimi büyüklüğünün adım büyüklüğüne de bağlı olduğunu göstermektedir. Bir şalt sahasında, adım geriliminden en az etkilenmek için küçük adımlarla yürünmeli ya da mümkünse iki ayak birleştirilip sıçrayarak ilerlenebilir. Özellikle büyükbaş hayvanların ayakları arasındaki mesafe insana göre fazla olduğundan adım geriliminden daha fazla etkilenirler. Ayrıca büyükbaş hayvanların gövdelerinden geçen akım yolu kalp üzerinden gitmektedir. Bu bakımdan da adım geriliminden daha fazla etkilenirler [116].



Şekil 4.4. Adım Gerilimi ve Eşpotansiyel Çizgiler

4.2.2.12. Topraklama Ağları

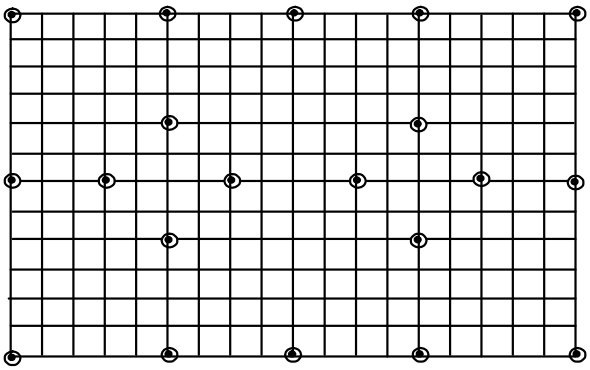
Topraklanacak makine veya tesisin toprak ile bağlanmasını sağlayan eleman topraklayıcıdır. Topraklayıcılar, yeraltına toprağın içine gömülür. Topraklayıcıdan alınacak bir iletken ile makineye veya tesise bağlanır. Topraklayıcı olarak şerit, levha, çubuk ya da doğal topraklayıcılar kullanılır.

Yüksek gerilim istasyonlarında, her teçhizat için ayrı ayrı topraklama yapmak mümkündür. Ancak böyle bir topraklama seçimi, hem oldukça pahalı olacak hem de elektrotların birbirleri arasındaki potansiyel farklardan dolayı gerilim sürüklenmelerine sebebiyet verecektir. Bu potansiyel farkları sıfıra indirmek ve gerilim sürüklenmelerini önlemek için bütün tesisin altını kaplayacak bir plaka (bakır tavsiye edilir) yerleştirme seçeneği, her ne kadar var gibi görünse de bunu yapmak çok pahalı ve pratik olarak neredeyse imkansızdır. Genellikle bu plaka veya levhanın, zemine dik olarak yerleştirilmesi tavsiye edilir. Eğer levha zemine paralel olarak yerleştirilecek olursa, bunun ancak üst yüzeyi etkili olur. Çünkü toprağın çökmesiyle levhanın altı boşlukta kalabilir.

Bir yüksek gerilim istasyonunun ortalama 10000 m^2'lik bir alanı kapladığı düşünüldüğünde, bu kadar alanı kaplayacak bir plakanın yapılması ve toprağın altına hem de dikey olarak yerleştirilmesinin ne kadar zor ve pahalı olacağı düşünülmelidir. İşte bu nedenlerden dolayı, bir yüksek gerilim istasyonunun topraklamasında tek yol, tesisin altına ızgara topraklayıcı sisteminin kurulmasıdır. Yüksek gerilim istasyonlarındaki topraklama sistemlerinde, topraklayıcı olarak topraklama ağlarından ve topraklama çubuklarından yararlanılmaktadır.

Çubuk topraklayıcılar oldukça derine gömüldüklerinden, yazın zemin kurusa ya da kışın don olsa bile topraklayıcı daima nemli zeminde bulunur ve çok iyi bir topraklama sağlar. Bu nedenle topraklama ağlarıyla beraber kullanılırlar. Ayrıca topraklama ağlarıyla beraber topraklama çubuklarının kullanılmasıyla istenildiği kadar küçük bir yayılma direnci elde edilebilir [29].

Şekil 4.5'de ızgara şeklindeki topraklama ağı görülmektedir. Topraklama iletkenlenlerine, topraklama çubukları da bağlanılmıştır. Yüksek gerilim şalt sahalarında topraklama ağı tabiri, iletken ve çubuklarla birlikte anılmaktadır. Bir yüksek gerilim şalt sahasında geniş bir alan içerisindeki birçok teçhizatın topraklamasında uygun olan topraklama ağları, iyi bir potansiyel dağılımı da sağlamakta ve dokunma ve adım gerilimlerinin de müsaade edilen sınırlarda kalması görevini yerine getirmektedir [117].



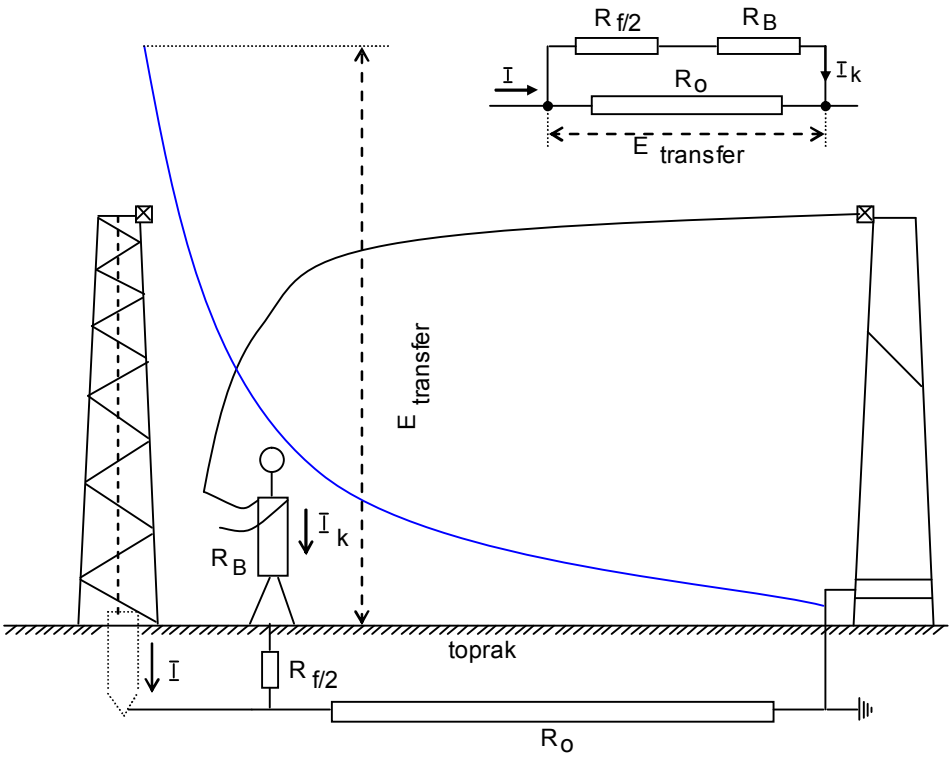
Şekil 4.5. Topraklama Çubuklarıyla Beraber Topraklama Ağı

4.2.2.13. Toprak Potansiyel Yükselmesi (GPR)

Normal işletme koşullarında, topraklanan elektriksel cihazlar 0 (sıfır) Volt toprak potansiyelinde çalışır. Yani, topraklanan nötr iletkenin potansiyeli, referans toprak olarak adlandırılan ve potansiyel değerinin yaklaşık 0 (sıfır) Volt olarak kabul edildiği, topraklayıcıdan yaklaşık 20 metre uzaklıktaki toprak potansiyeline neredeyse eşittir. Yani normal işletme koşullarında toprak üzerinden hemen hemen hiç akım geçmez.

Bir arıza durumunda toprak üzerinden bir akım geçebilir. Bir toprak arızası süresince, trafo merkezi topraklama ağıyla toprağa iletilen hata akımının bir bölümü, referans toprak potansiyeline bağlı olarak, ağ potansiyelinin yükselmesine neden olur. Bu yükselen ağ potansiyelinin olabilecek maksimum değeri GPR (ground potential rise)'yi ifade eder. Bir trafo merkezi topraklama ağının maksimum elektrik potansiyeli, referans toprağın potansiyelinde varsayılan uzak bir topraklama noktasına bağıl olarak ulaşabilir. Bu gerilim, IEEE Std.80-2000 [118]'de (4.10) eşitliği ile verilen ağın topraklama direnci R_t ile maksimum ağ akımı I_G'nin çarpımına eşittir.

Trafo merkezi içerisinde duran bir kişinin, uzaktan topraklanmış bir iletkene ya da trafo merkezinin dışındaki bir kişinin merkezin topraklama şebekesine doğrudan bağlı bir iletkene dokunması ile karşılaşacağı gerilim farkı transfer temas gerilimidir. Elle dokunulan iletken cisim, bulunulan bölgeden daha uzakta topraklanmış olduğunda insan vücudu boyunca beliren bir gerilimdir. Aynı zamanda trafo merkezinden referans toprak noktasına transfer edilen bu gerilim, GPR'ye eşit kabul edilir. Bu gerilim, topraklama şebekesinin yükseldiği gerilimin tamamına eşit olabilir. Şekil 4.6.'da gösterilen GPR yada transfer temas gerilimi, temas gerilimine göre daha tehlikeli sonuçlar doğurabilir.



Şekil 4.6. Transfer Gerilimi (≈ GPR) Gösterimi

$$GPR = I_G \cdot R_t \tag{4.10}$$

$$I_G = D_f \cdot I_g \tag{4.11}$$

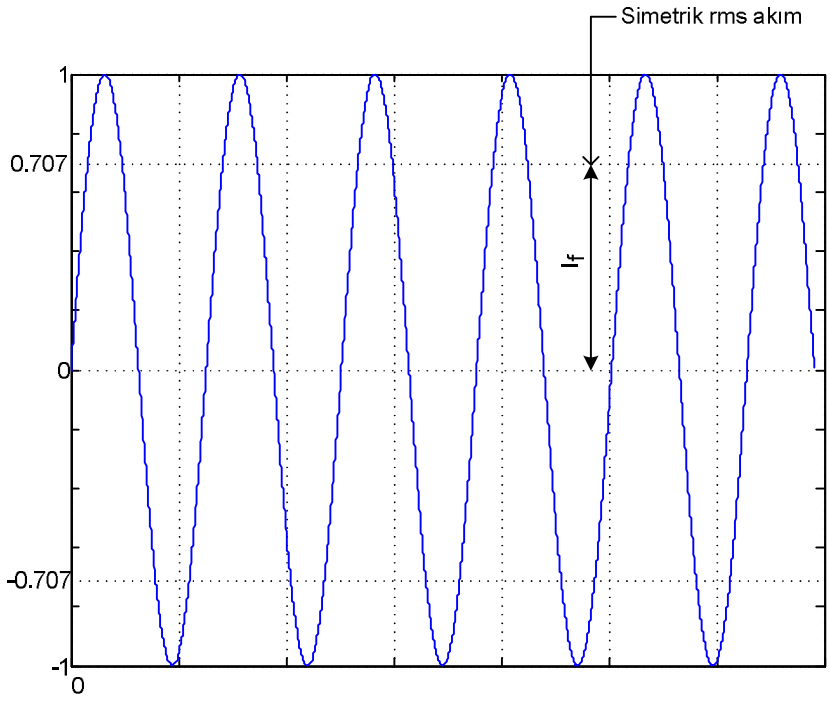
$$I_g = S_f \cdot I_f \tag{4.12}$$

$$S_f = \frac{I_g}{3I_0} \tag{4.13}$$

(4.11)'de D_f, t_f arıza süresinde azaltma faktörüdür. I_g, rms simetrik ağ akımıdır. (4.12)'de S_f, arıza akım dağılım faktörünü ifade eder. I_f, simetrik toprak arıza akımının rms değeri olup, her uygulama için transformatör merkezi verilerine göre farklı olur. (4.13)'de I_0, sıfır dizi arıza akımıdır.

Kısa devre arıza seviyesinin tespiti, genellikle kesici gücü belirlenmesi için kullanılmaktadır. Ancak arıza seviyesinin belirlenmesi, elektrik istasyonlarındaki topraklama sistemlerinin performanslarının tahmini ya da belirlenmesi için de çok önemlidir [119].

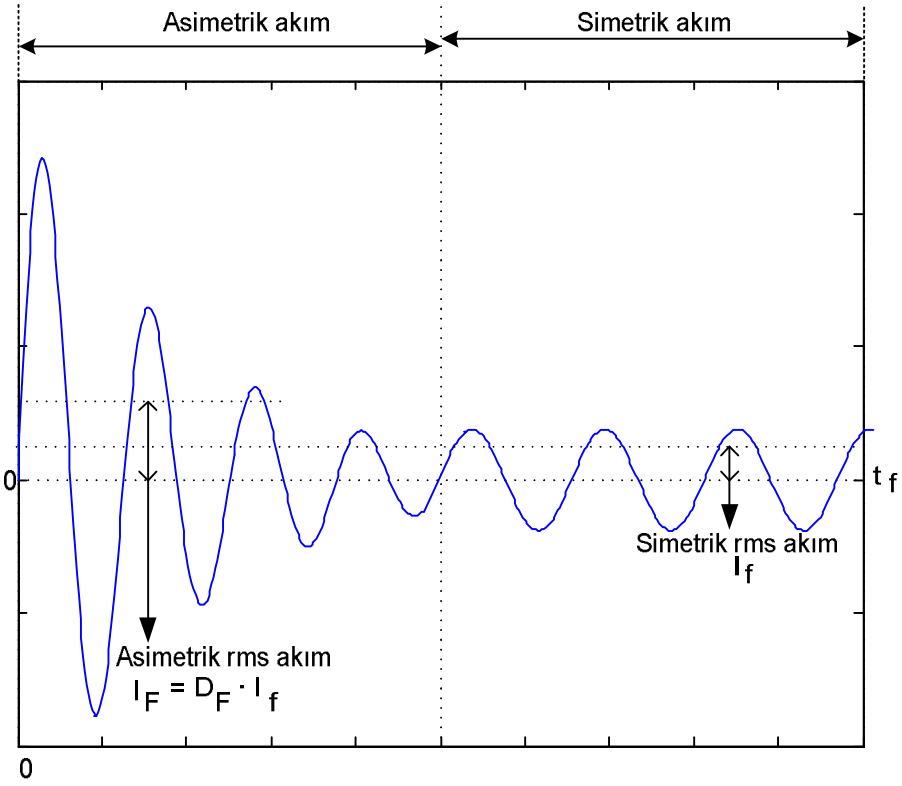
Matematiksel olarak, gerçek arıza akımı, da bileşen ve simetrik alternatif bileşenden oluşur. Simetrik toprak arıza akımı Şekil 4.7'de gösterilmiştir. DA bileşen, belirli oranda azalan, her iki polaritede olabilen ancak polaritesi değişmeyen bileşendir. Kısa devre akımının üst ve alt zarf eğrileri arasındaki ortalama değer kısa devre akımının da bileşenidir [120]. Şekil 4.8'de t_f arıza süresinde I_F, I_f ve D_f ile arıza akımı arasındaki durum gösterilmiştir. Arıza akımının asimetrik ve simetrik bileşeni vardır.



Şekil 4.7. Simetrik Toprak Arıza Akımı

Kısa devre akımı nominal akıma göre çok büyük değerler alır ve sisteme ciddi zararlar verir. Sisteme kalıcı zarar verebilecek bu akımlar, mekanik ve ısıl etkiler, kısa devre arkının yakıcı etkisi, faz-toprak kısa devresinde ölüme yol açabilecek dokunma ve adım gerilimlerinin oluşmasına neden olabilir [120].

Kısa devrenin ilk anlarında arıza akımının değeri, arızanın geç periyotlarına göre hayli yüksektir. Bu olayın, sistemdeki senkron makinalardan (aa transient) ve akımın da bileşeninden kaynaklandığı söylenebilir. Şekil 4.8'de görüldüğü gibi, akım önce maksimum bir tepe değere yükselmekte ve bu akım önce hızlı, daha sonra az hızlı olarak kararlı bir değer olan sürekli kısa devre akımına düşmektedir.



Şekil 4.8. t_f arıza süresince I_F, I_f ve D_f ile Arıza Akımı Arasındaki İlişki

Kısa devre akımının da bileşeninin başlangıç değeri, alternatif bileşenin t=0 anındaki değerinin negatif işaretlisine eşit olup, değeri de birkaç periyot sonra küçülmektedir. Kısa devre akımı aa ve da bileşenlerinden meydana gelmektedir. Aa bileşeni zaman eksenine göre simetrik iken, da bileşeni zaman ekseninin bir tarafında meydana gelmektedir. Kısa devre akımının herhangi bir anındaki değeri, aa ve da bileşen akımların toplamından meydana gelmektedir. Topraklama ağı dizaynında asimetrik akım düşünülmelidir. da akım bileşeninin etkisiyle D_f azaltma faktörü oluşur. Genellikle asimetrik arıza akımı geçici (transient, subtransient) ve sürekli durum aa bileşenleri ve da akım bileşenini içerir. Kısa devre akımının sürekli kısa devre alternatif akımına dönüştüğü geçiş durumuna tekabül eden kısa devre alternatif akımına geçici kısa devre akımı denmektedir. Kısa devre olayının başlangıcında oluşan ve çok hızlı olarak azalan kısa devre alternatif akımına subtransient kısa devre akımı denmektedir [121]. Sürekli kısa devre akımı geçici olaylar sona erdikten sonra ortaya çıkan kısa devre akımıdır. Asimetrik arıza akımı,

$$i_f(t) = \sqrt{2} \cdot E \cdot Y_{ac}\left[\sin(wt + \alpha - \theta) - e^{-t/T_a} \cdot \sin(\alpha - \theta)\right] \tag{4.14}$$

gibi ifade edilir. Burada; $i_f(t)$ herhangi bir t anındaki asimetrik arıza akımını, E arıza öncesi faz nötr rms gerilimini, θ akım faz açısını, α akım başlangıcındaki gerilim açısını, Y_{ac} aa sistem eşdeğer admitansını, T_a da zaman sabitini ($T_a = X/(wR)$) gösterir.

Topraklama sistemleri için düzenlenen ulusal ve uluslar arası standartların ilgilendiği en önemli konu, topraklama sisteminin empedansı ile bu sistemden akan akımın oluşturduğu istenmedik gerilim yükselmeleridir. Böylece arıza anında oluşacak olan ve bu gerilimle orantılı olan dokunma ve adım gerilimleri hesaplanabilir. Bu gerilimler güvenli topraklama sistemi için temeldir. Gerçekte GPR dinamik bir karakter arzeder ve zamana bağlı olarak değişim gösterir. Bu özellik aa ve da geçici durumları olarak ortaya çıkar. AA geçici durumu genellikle sistemdeki senkron makinelardan kaynaklanır. AA geçici durumu topraklama standartlarında bahsedilmemiş, da geçici durumu da IEEE-Std.80'de (4.15) denklemi ile hesaplanmaktadır. [116]'da D_f azaltma faktörünün; (4.15)'deki gibi hesaplanacağı ve 0.5 saniye arıza süresi için D_f'nin 1 alınabileceği ifade edilmiştir. (4.15), X/R oranı ve arıza süresi için akım azaltma faktörünün hesabını gösterir. X/R oranı indüktif reaktansın dirence oranıdır. t_f arıza süresidir.

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f}\left(1 - e^{\frac{-2t_f}{T_a}}\right)} \tag{4.15}$$

İki faz toprak arızası durumunda sıfır dizi arıza akımı,

$$I_0 = \frac{E \cdot (R_2 + jX_2)}{(R_1 + jX_1) \cdot [R_0 + R_2 + 3R_f + j(X_0 + X_2)] + (R_2 + jX_2) \cdot (R_0 + 3R_f + jX_0)} \tag{4.16}$$

ile hesaplanır. Tek faz toprak arızası durumunda sıfır dizi arıza akımı,

$$I_0 = \frac{E}{3R_f + R_1 + R_2 + R_0 + j(X_1 + X_2 + X_0)} \tag{4.17}$$

ile hesaplanır. Bu denklemlerde I_0 sıfır dizi arıza akımının rms değeri, E faz nötr gerilimi, R_f arıza direnci, R_1 pozitif dizi eşdeğer sistem direnci, R_2 negatif dizi eşdeğer sistem direnci, R_0 sıfır dizi eşdeğer sistem direnci, X_1 pozitif dizi eşdeğer sistem reaktansı, X_2 negatif dizi eşdeğer sistem reaktansı, X_0 sıfır dizi eşdeğer sistem reaktansıdır. Arıza akımının hesabında simetrili bileşenler kullanılmıştır. Bu bileşenler pozitif, negatif ve sıfır bileşenlerdir [122].

Maksimum ağ akımı I_G'nin belirlenmesi için D_f ve I_0'ın yanında, simetrik ağ akımı I_g'nin ve I_g'nin de belirlenmesi için S_f akım dağılım faktörünün belirlenmesi gerekir.

$$I_g = S_f \cdot (3I_0) \tag{4.18}$$

S_f , (4.19)'daki gibi hesaplanır [123].

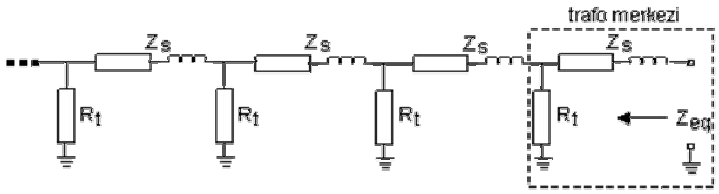
$$S_f = \left| \frac{Z_{eq}}{Z_{eq} + R_g} \right| \tag{4.19}$$

R_g topraklama ağı direncini göstermekte olup, toplam eşdeğer empedans Z_{eq};

$$Z_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{Z_{eq-154}} + \frac{1}{Z_{eq-34.5}}} \tag{4.20}$$

olur. Burada; Z_{eq-154} 154 kV iletim topraklama sistemi empedansı, $Z_{eq-34.5}$ 34.5 kV dağıtım topraklama sistemi empedansını gösterir. (4.20) denklemi havai hatların zincir empedanslarının paralel eşdeğeridir. (4.21) denklemi havai hatta ait bir toprak iletkeninin zincir empedansını gösterir. Bu empedansın hesabında Şekil 4.9'daki hattın sonsuz zincir devre modelinden yararlanılmıştır. Havai bir hatta ait koruma iletkenleri her direkte topraklanır. Böylece iki direk arasındaki toprak iletkeni ile bu bölüme ait toprağın toplam empedansı Z_s ve her bir direğin topraklama direnci R_t ise bu dirençlerden oluşan bir zincir sistemi oluşmuş olur. 154/34.5 kV'luk bir trafo merkezinde, Z_{eq-} iki tarafın empedansının hesaplanmasında kullanılır. (4.21) denklemi havai hat direkleri üzerindeki toprak iletkeninin zincir direncinin hesabı olup, toprak iletkeni empedansları ile direk dirençlerinden oluşan sonsuz bir empedans zinciridir [124].

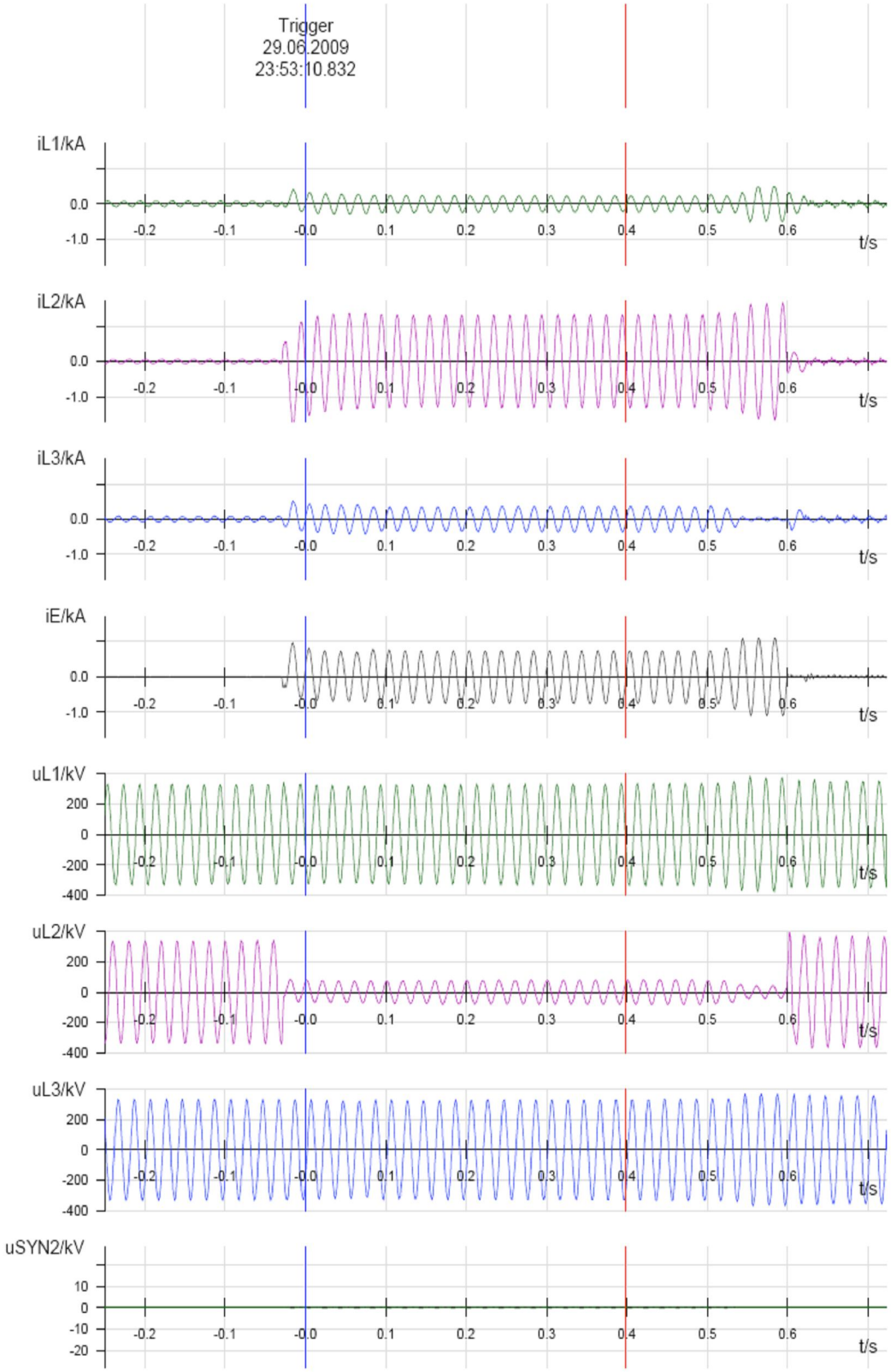
$$Z_{eq-} = \frac{Z_s}{2} + \sqrt{Z_s \cdot R_t} \tag{4.21}$$



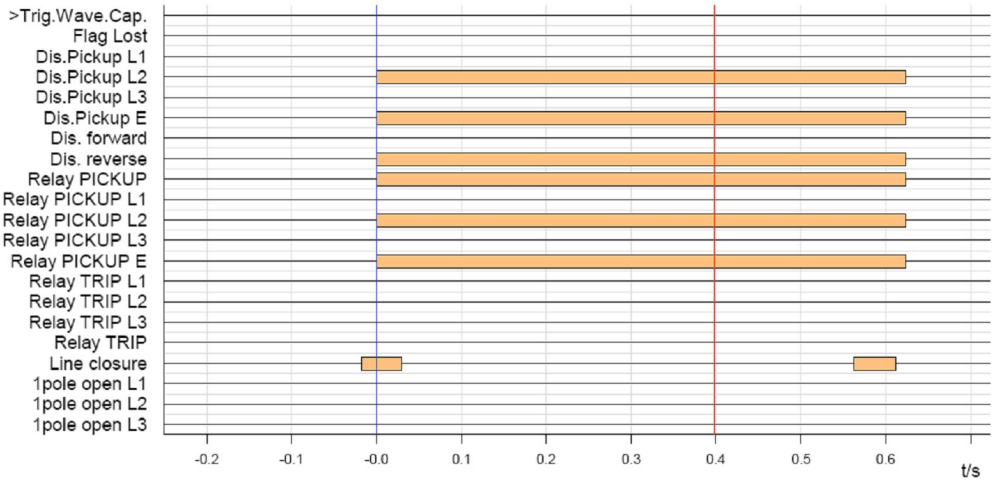
Şekil 4.9. Bir Hattın Sonsuz Zincir Modeli

[119]'da senkron makine modeli de içeren alternatif bir arıza akımı hesaplama tekniği sunulmuş, topraklama sistemlerine uygulanması üzerinde durulmuştur.

Şekil 4.10'da gerçek bir güç sistemindeki bir hattaki faz-toprak arızası görülmektedir. Arızanın olduğu fazda akımın oldukça yüksek olduğu ve gerilimin düştüğü görülmektedir. Şekil 4.11'de arızanın başlama anı ve arızanın şekli belirlenmiştir. Aynı zamanda arıza anındaki akım ve gerilim değerlerinden de arızanın oluştuğu faz bellidir. Arıza akımının da bileşen değeri de gösterilmiştir.



Şekil 4.10. 380 kV Keban-Kayseri Güney Hattı B Fazı Toprak Arızasında Akım ve Gerilimler



Measuring Signal	Value	Phase	Extremum	DC	2.Harmon.	3.Harmon.	5.Harmon.
iL1	220 A	-2.2°	-221.2 A	38.1%	5.7%	1.9%	2.8%
iL2	1.06 kA	-173.5°	1.113 kA	-32.5%	3.9%	2.3%	0.9%
iL3	299 A	-1.1°	-331.8 A	28.0%	3.5%	2.3%	0.9%
iE	0.55 kA	15.0°	-0.590 kA	30.7%	3.6%	2.6%	1.5%
uL1	234 kV	-153.3°	330.5 kV	0.1%	0.3%	0.9%	0.2%
uL2	50.8 kV	65.7°	-62.63 kV	18.2%	1.3%	2.6%	0.2%
uL3	233 kV	-35.2°	-326.9 kV	0.5%	0.4%	0.4%	0.7%
uSYN2	133 V	-160.5°	179.2 V	-2.7%	1.4%	2.8%	2.7%

Şekil 4.11. Arızalı Fazın Belirlenmesi ve Arıza Anındaki Akım-Gerilim Değerleri

4.2.2.14. Göz Gerilimi

Bir topraklama ağının bir gözündeki maksimum dokunma gerilimidir. Topraklama ağı tasarımında emniyet şartlarından biri olarak; göz geriliminin, müsaade edilebilir maksimum dokunma geriliminden küçük olması gerekmektedir.

4.2.3. Topraklama Çeşitleri

Elektrik tesislerinde yapılan topraklamanın, koruma, işletme ve özel topraklama olmak üzere üç çeşidi vardır.

4.2.3.1. Koruma Topraklaması

İnsanları ve hayvanları tehlikeli dokunma ve adım gerilimlerine karşı korumak amacıyla, tesislerin işletme akım devresine ait olmayan, ancak bir izolasyon hatası sonucu veya ark etkisi ile gerilim altına girebilen, canlıların dokunabilecekleri kısımlarını toprağa bağlamak için yapılan topraklama tesisidir.

İzolasyon hatası, doğrudan ve dolaylı sebeplerle ortaya çıkar. İletken kopması, aşırı ısınma sonucu izolasyon zayıflığı, aşırı gerilimler nedeniyle izolasyonun delinmesi, yaşlanma sonucu izolasyon özelliğinin azalması gibi sebepler doğrudan sebepler, yıldırım nedeniyle oluşan ark sonucu izolatörlerin kirlenmesi, atmosferik boşalmalar gibi sebepler de dolaylı sebeplerdir.

Yüksek gerilim trafo merkezlerinde koruma topraklamasının yapıldığı bazı yerler şunlardır:

- Yüksek gerilim hatlarının koruma telleri,
- Trafo rayları,
- Yüksek gerilim teçhizatları ve konstrüksiyonları,
- Trafoların dış metal muhafaları,
- Trafo merkezlerindeki kapı, merdiven, fens gibi metal kısımlar vb.

Yüksek gerilim merkezlerinde, oluşan arızalarda, koruma topraklamasının etkisi şu şekildedir:

- İzolasyon hatası sonucu bir kısa devre oluştuğu zaman hatalı devre, röleler vasıtasıyla servis dışı bırakılır.
- Bir hata sonucu tehlikeli gerilim altında bulunan kısma dokunan kişinin vücudu mevcut topraklama ile paralel devre oluşturur [125].
- Bir direğe dokunan kişi, hata akımı sırasında direğe temas halinde ise, hata akımının büyük bir bölümü topraklama sisteminden geçerken bir kısmı da dokunan insan tarafından devresini tamamlayacaktır. Kişinin zarar görme durumu, akımın büyüklüğü ve süresiyle orantılıdır.

4.2.3.2. İşletme Topraklaması

Elektrik tesislerinde işletme araçlarının aktif bölümlerinin topraklanmasıdır. İşletme topraklaması, işletme akım devresinin toprağa karşı potansiyelinin belirli bir değerde bulundurulmasına yarar, bu nedenle işletme akım devresiyle toprak arasında direkt bir bağlantı yapılır. Bu yüzden toprak işletme akım devresinin bir kısmını teşkil eder ve üzerinden akım geçer. İşletme topraklaması, topraklanan noktayı toprak potansiyelinde tutar.

Koruma topraklamasından, yalnız hata halinde bir akım geçtiği halde işletme topraklaması üzerinden arızasız durumda dahi bir akım geçebilir. İşletme topraklaması fonksiyon bakımından koruma topraklaması ile yakından ilgilidir. Çünkü koruma topraklamasında bir fazlı toprak teması, devresini işletme topraklaması üzerinden tamamlayarak

bir fazlı toprak kısa devresine dönüşür. Can güvenliğinden ziyade, sistemin daha rahat çalıştırılması, koruma ve güvenlik altında tutulmasını sağlar.

Generatörlerde ya da transformatörlerde yıldız noktasının topraklanması işletme topraklamasına örnektir.

4.2.3.3. Özel Topraklamalar

Yüksek gerilim sistemlerinde, parafudr ve paratoner sistemlerinin topraklanması özel topraklamaya örnektir. Yıldırım enerji kesintilerine sebep olan etkenlerden biridir. Topraklanmış elektrik tesislerine yıldırım düştüğünde, yıldırım akımının toprağa akması gerekir. Onun için yıldırım isabet etme ihtimali olan parafudrlar, yıldırım yakalama uçları, paratonerler topraklanırlar. Bu maksatla kullanılan topraklama, yıldırımın yanında anahtarlama gerilimleri ya da diğer arklar sebebiyle oluşacak her çeşit aşırı gerilimlerden koruma sağlamak için kullanılır.

Enerji iletim sistemlerinde meydana gelen aşırı gerilimler, ya doğrudan doğruya yıldırım düşmesiyle veya elektromanyetik etkileşim suretiyle oluşur. Yıldırımın faz iletkenine, direğe veya koruma iletkenine düşmesi halinde meydana gelen aşırı gerilimler direkt yıldırım düşmesiyle meydana gelen aşırı gerilimler olarak ifade edilir. Yıldırım bulutundaki elektrik yükü ile iletim hattında elektromanyetik etkileşim suretiyle bir yük dalgası meydana geldikten sonra, yıldırımın yüksek gerilim hattının dışında herhangi bir yere düşmesiyle hatta serbest kalan yük dalgasının her iki tarafa doğru hareketiyle meydana gelen aşırı gerilimler elektromanyetik etkileşim suretiyle meydana gelen aşırı gerilimler olarak tanımlanır [126].

Topraklanmış bir elektrik tesisine bir yıldırım düştüğünde, oluşan yıldırım akımının etkisiyle bir darbe gerilimi meydana gelir. Bu darbe gerilimi, yıldırım akımının zamana bağlı değişimine ve süresine, yıldırım akımının tepe değerine ve topraklayıcının direncine bağlıdır.

Parafudr topraklamasının birinci görevi, elektrik tesislerinin topraklanmış bölümleri üzerine yıldırım düştüğünde, yıldırım akımlarını teçhizata zarar vermeden toprağa geçirmektir. Parafudr topraklamasının ikinci görevi, hava hattı direği ya da topraklanmış bir konstrüksiyon üzerine yıldırım düştüğünde, toprağa geçen yıldırım akımının tesiriyle, yıldırımın isabet ettiği madeni konstrüksiyondaki dokunma gerilimini veya bunun etrafında topraktaki adım gerilimini tehlikeli sınırların altında tutmaktır. Parafudrlar aşırı gerilim dalgalarını toprağa akıtır.

4.2.4. Müsaade Edilebilir Vücut Akımı Limiti

Elektrik akımı, insan vücuduna hem genliğiyle hem de etki süresi ile zarar verebilir. Üzerinden elektriksel akım geçen bir kişi, adalelerinin kasılmasıyla üzerinden akım geçmesine neden olan aracı bırakamayabilir. Bu durumda, elektrik akımının etki süresi artar ve vücudu zarar görebilir. Bu akımın en tehlikelisi kalp üzerinden geçenidir. Kalp üzerinden hata akımının geçmesi kalbin atışlarının bozulmasına, fibrilasyona sebep olur. Fibrilasyon durumunda kalp, kendisine verilen görevlerini yapamaz hale gelir.

İnsan vücudunun hata akımına karşı göstereceği en önemli tepkisi, vücudunun direncidir. Yapılan deneyler; kuru, kalın, nasırlı bir derinin direncinin, ince, rutubetli, soyulmuş bir derinin direncinden çok büyük olduğunu ve vücuda uygulanan gerilim arttıkça da deri direncinin düştüğünü göstermiştir. Vücut direnci düşük olduğunda, daha çok akım geçecektir.

IEEE Std.80-2000, insan vücudundaki tüm akım yönleri, geçişleri (elden ele, elden ayağa, ayaktan ayağa) için vücut direncini ortalama 1000 Ω olarak kabul etmiştir. Bu durum en kötü kabulü temsil etmektedir. Çünkü kişinin elinde (varsa) eldiven ya da ayağındaki (varsa) ayakkabı devre direncini artırır. Bu giysilerin giyildiği durumda insan vücudundan akacak hata akımı azalacaktır.

Hata sırasında insan vücudundan geçecek olan akım, fibrilasyona neden olmayacak genlik ve sürede olmalıdır. [127]'de insan vücudunda fibrilasyona neden olmayacak akımın genliği ve süresiyle ilgili bağıntı,

$$I_B = \frac{k}{\sqrt{t_s}} \quad , \quad k = \sqrt{S_B} = I_B \cdot \sqrt{t_s} \tag{4.22}$$

şeklindedir. Bu bağıntı, 0.03-3 sn boyunca insan vücudundan geçecek olan akım için geçerlidir. S_B elektrik şokuyla ilgili ampirik katsayıdır ve 50 kg ağırlığındaki bir insan vücudu için 0.0135'e eşittir. Bu durumda, $k_{50} = 0.116$ olmaktadır. 50 kg'lık bir insan vücudu için 3 saniye boyunca maruz kalınabilecek tehlikeli akım 67 mA, 70 kg'lık bir insan vücudu için 3 saniye boyunca maruz kalınabilecek tehlikeli akım 91 mA'dir. Böylece 50 kg vücut ağırlığı için, izin verilen vücut akımı,

$$I_B = \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \tag{4.23}$$

ile hesaplanır.

70 kg vücut ağırlığı için, $S_B = 0.0246$ olup, bu durumda izin verilen vücut akımı,

$$I_B = \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \tag{4.24}$$

ile hesaplanır.

5.TOPRAKLAMA AĞI TASARIMI

5.1. Giriş

Topraklama ağlarının görevlerini üç maddede özetleyebiliriz:

1) İnsanları ve hayvanları elektrik şoklarından korumak,
2) Makine ve teçhizatları elektriksel arızalardaki oluşabilecek hasarlardan korumak,
3) Enerji iletiminde, güvenilirlik ve sürekliliği artırmak.

Bunların sağlanabilinmesi için aşağıdaki koşulların yerine getirilmesi gerekir:

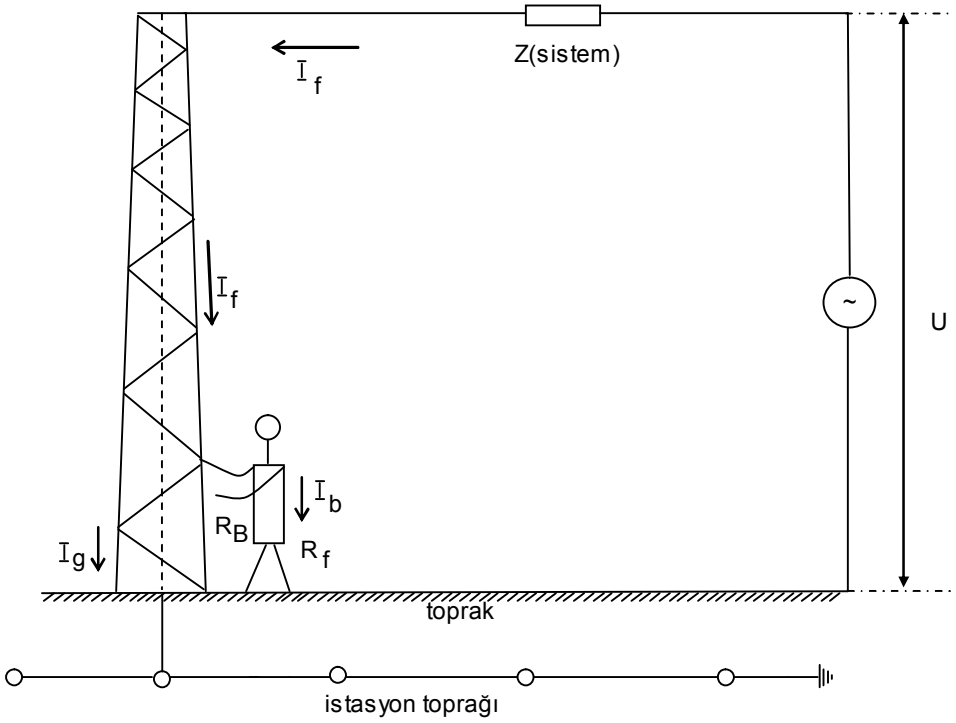
- Normal çalışma ya da arıza durumlarında oluşabilecek dokunma ve adım gerilimlerinin, toprak potansiyel artışının tehlikeli değerlere ulaşmasını engelleyerek transformatör merkezlerinde ya da yakınındaki canlıların güvenliğini sağlamak,
- Yıldırım akımlarının boşalmasını ve dağılımını kolaylaştırmak,
- İletim merkezindeki ya da hatlardaki toprak arızalarında rölelerin çalışmasını sağlamak,
- Faz-toprak arızalarında sistemde gerilim yükselmelerini önlemek için nötr noktalarını doğrudan doğruya, ya da uygun empedanslar üzerinden topraklamak,
- Sistem arızalarında transformatör merkezlerinden çıkan kontrol ve muhabere kabloları boyunca doğacak gerilim farklarını sınırlamak [128].

Topraklama ağlarının bahsi geçen amaç ve görevlerini yerine getirebilmesi için tutarlı bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Ülkemizde transformatör merkezlerinin topraklama ağlarının tasarımında, merkezi Amerika'da bulunan Elektrik-Elektronik Mühendisleri Ensititüsü (IEEE) tarafından yayınlanan, (Aa trafo merkezlerinin topraklama klavuzu) standardı [118] kullanılmaktadır. 2000 yılında yayınlanan bu standart, 1986'da yayınlanan standardın [129] geliştirilmiş halidir.

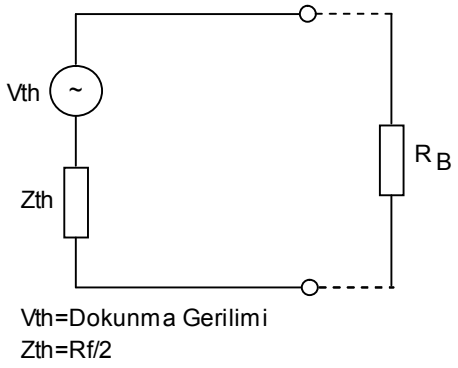
5.2. Hata Devresi Eşdeğerleri

Şekil 5.1'de, bir hata sonucu çelik konstrüksiyondan akım geçen bir direğe bir insanın dokunma durumu gösterilmiştir. I_f hata akımı, kişinin dokunma noktasından itibaren iki kola ayrılır. Hata akımının bir kısmı insan vücudundan geçerken, bir kısmı da direğin çelik konstrüksiyonu üzerinden direkt olarak toprağa akar. R_f her bir ayağın direncini göstermek üzere, akım yönüne göre ayaklar paralel olacağından, her iki ayağın toplam dokunma direnci

$R_f / 2$ 'dir. Bu durumda devrenin toplam direnci $R = R_B + (R_f / 2)$ 'dir. Burada, R_B vücut direncidir.



Şekil 5.1. Dokunma Gerilimi Hata Devresi



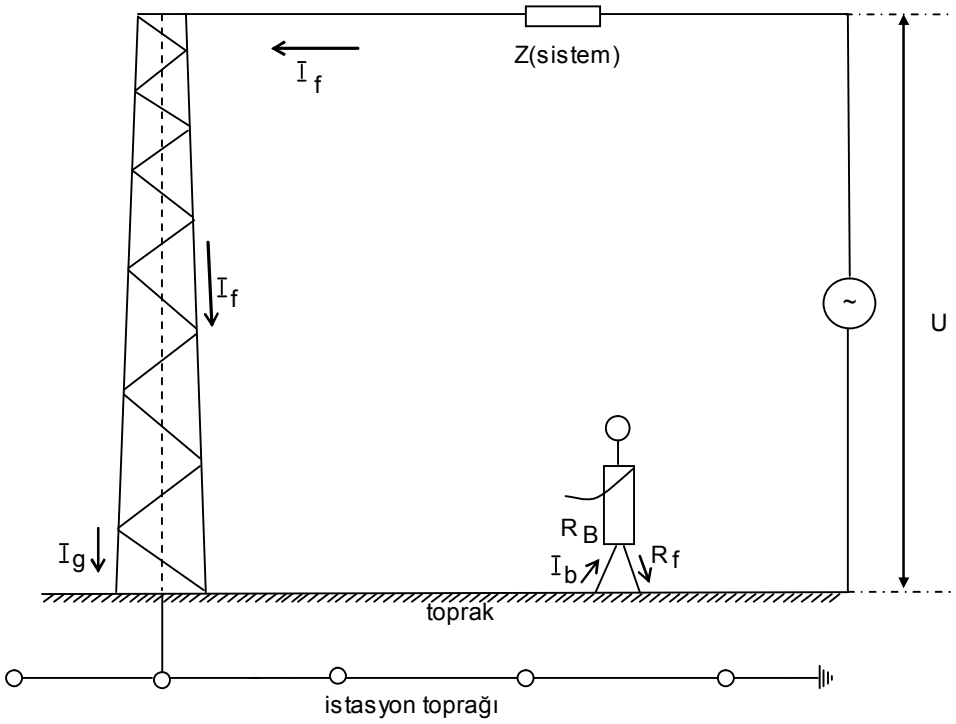
Şekil 5.2. Dokunma Gerilimi Devresi

Hata devresine dokunma durumunda, kişinin vücudundan akan akım, thevenin gerilimi ve thevenin eşdeğer empedansı cinsinden,

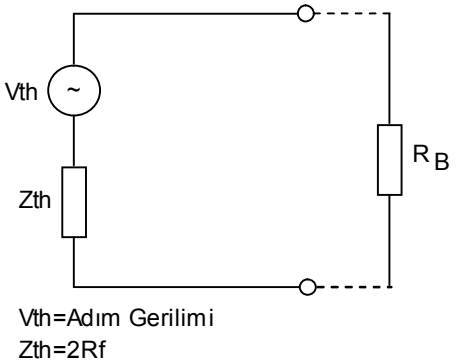
$$I_B = \frac{V_{th}}{Z_{th} + R_B} \tag{5.1}$$

ile bulunur.

Bir hata anında kişinin maruz kalacağı gerilim, dokunma şeklinde olabildiği gibi, adım şeklinde de olabilir. Arıza anında potansiyel dağılım alanı içerisinde bulunan bir kişi, adım gerilimine maruz kalır. Adım gerilimine sebep olan akımın yönü, bir ayaktan diğerine doğrudur. Yani iki ayak birbirine seri olur. Bu durumda ayakların toplam direnci $2 \cdot R_f$ 'dir. Devrenin toplam direnci de $R = R_B + (2 \cdot R_f)$ olur.



Şekil 5.3. Adım Gerilimi Hata Devresi



Şekil 5.4. Adım Gerilimi Devresi

Devre analizi için, insan ayağı genellikle metalik bir disk şeklinde düşünülür ve temas eden ayakkabı, çorabın vb. direnci ihmal edilir. ρ özdirençli homojen bir toprağın yüzeyindeki b=0.08 m yarıçaplı metal bir diskin topraklama direnci;

$$R_f = \frac{\rho}{4b} \cong 3\rho \tag{5.2}$$

olur. İnsan ayağı ile toprak arası temas direncinin hesabında, her bir ayak 8 cm yarıçapında dairesel bir metal disk şeklinde düşünülür

Bu durumda, dokunma gerilimi hata devresi için thevenin eşdeğer empedansı,

$$Z_{th} = \frac{R_f}{2} = 1.5\rho \tag{5.3}$$

Adım gerilimi hata devresi için thevenin eşdeğer empedansı,

$$Z_{th} = 2R_f = 6\rho$$

denklemleriyle hesaplanır. İzin verilebilir dokunma ve adım gerilimleride denklem (5.4) ve (5.5)'deki gibi hesaplanır.

$$E_{dokunma} = I_B \cdot (R_B + 1.5\rho) \tag{5.4}$$

$$E_{adım} = I_B \cdot (R_B + 6\rho) \tag{5.5}$$

Burada, insan vücudu direnci $R_B = 1000\ \Omega$ olarak alınır.

5.3. İnce Yüzey Malzemesi Tabakası ve Müsaade Edilebilir Değerler

İletim merkezinde, insanın ayağı ve toprak arasındaki temas direncini artırmak için, topraklama ağı üzerindeki toprak yüzeyine genellikle çakıl gibi yüksek özdirençli 0.08-0.15 m kalınlıkta bir malzeme serilir. Toprak yüzeyine serilen bu yüksek özdirençli malzeme, müsaade edilebilir dokunma ve adım gerilimlerinin hesaplanmasında etkindir. Bu malzemenin özdirenci etkili olduğu gibi kalınlığı da etkindir. Topraklama ağı tasarımında bu malzemenin etkisi [29]'da gösterilmiştir.

Denklem (5.2) uniform toprak özdirenci söz konusu olduğunda geçerlidir. Yüzeye serilen yüksek özdirençli malzeme, toprağın özdirencinden farklı olduğu için yüzey tabakası düzeltme katsayısı denen bir faktör etkili olur. Yüzeye serilen bu malzeme nedeniyle ayağın topraklama direnci,

$$R_f = \left[\frac{\rho_s}{4b}\right] C_s \tag{5.6}$$

olur. Yüzey tabakası düzeltme katsayısı C_s 'nin değeri,

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0.09} \tag{5.7}$$

amprik formülüyle bulunur. Bu değerin analitik metodla elde edilen değerinin %5 toleransı içerisinde olduğu belirtilmiştir.Bu bağıntıda; ρ : Toprak özdirenci (Ωm), ρ_s :Yüzey malzemesi özdirenci (Ωm), h_s : Yüzey malzemesi kalınlığı (m)'dır.

Yüzey kaplama malzemesi kullanılırsa (5.4) ve (5.5) eşitliklerindeki izin verilebilir maksimum dokunma ve adım gerilimleri,

$$E_{dokunma} = I_B \cdot (R_B + 1.5\rho_s C_s) \tag{5.8}$$

$$E_{adım} = I_B \cdot (R_B + 6\rho_s C_s) \tag{5.9}$$

olur. 70 kg ağırlığındaki bir insan için izin verilen vücut akımı denklem (4.24)'ten alınırsa, müsaade edilebilir maksimum dokunma ve adım gerilimleri,

$$E_{dokunma-70} = \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \cdot (1000 + 1.5\rho_s C_s) \tag{5.10}$$

$$E_{adım\text{-}50} = \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \cdot (1000 + 6\rho_s C_s) \tag{5.11}$$

olur. 50 kg ağırlığındaki bir insan için izin verilen vücut akımı denklem (4.23)'ten alınırsa, müsaade edilebilir maksimum dokunma ve adım gerilimleri,

$$E_{dokunma-50} = \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \cdot (1000 + 1.5\rho_s C_s) \tag{5.12}$$

$$E_{adım\text{-}50} = \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \cdot (1000 + 6\rho_s C_s) \tag{5.13}$$

olur. Yüzey tabakası kullanılmazsa, $C_s = 1$ ve $\rho_s = \rho$ 'dur.

5.4. Topraklama Ağı Tasarım Prosedürü

IEEE Std.80-2000, topraklama ağı tasarımı için Şekil 5.5'deki blok diyagramını esas almaktadır. Topraklama ağı tasarımı için işlem adımları aşağıda açıklanmıştır:

Adım 1. İletim merkezinin genel yerleşim planı ve arazi haritası incelenerek, topraklanacak alanın toprak özdirencinin ve toprak modelinin (uniform ve iki katmanlı) belirlenmesi.

Adım 2. Topraklama ağında kullanılacak iletken kesitinin ve maksimum ağ akımının belirlenmesi.

Adım 3. Müsaade edilebilir maksimum dokunma ve adım gerilimlerinin hesaplanması.

Adım 4. Başlangıç için toplam iletken uzunluğunun, çubuk sayısının ve gömülme derinliğinin belirlenmesi.

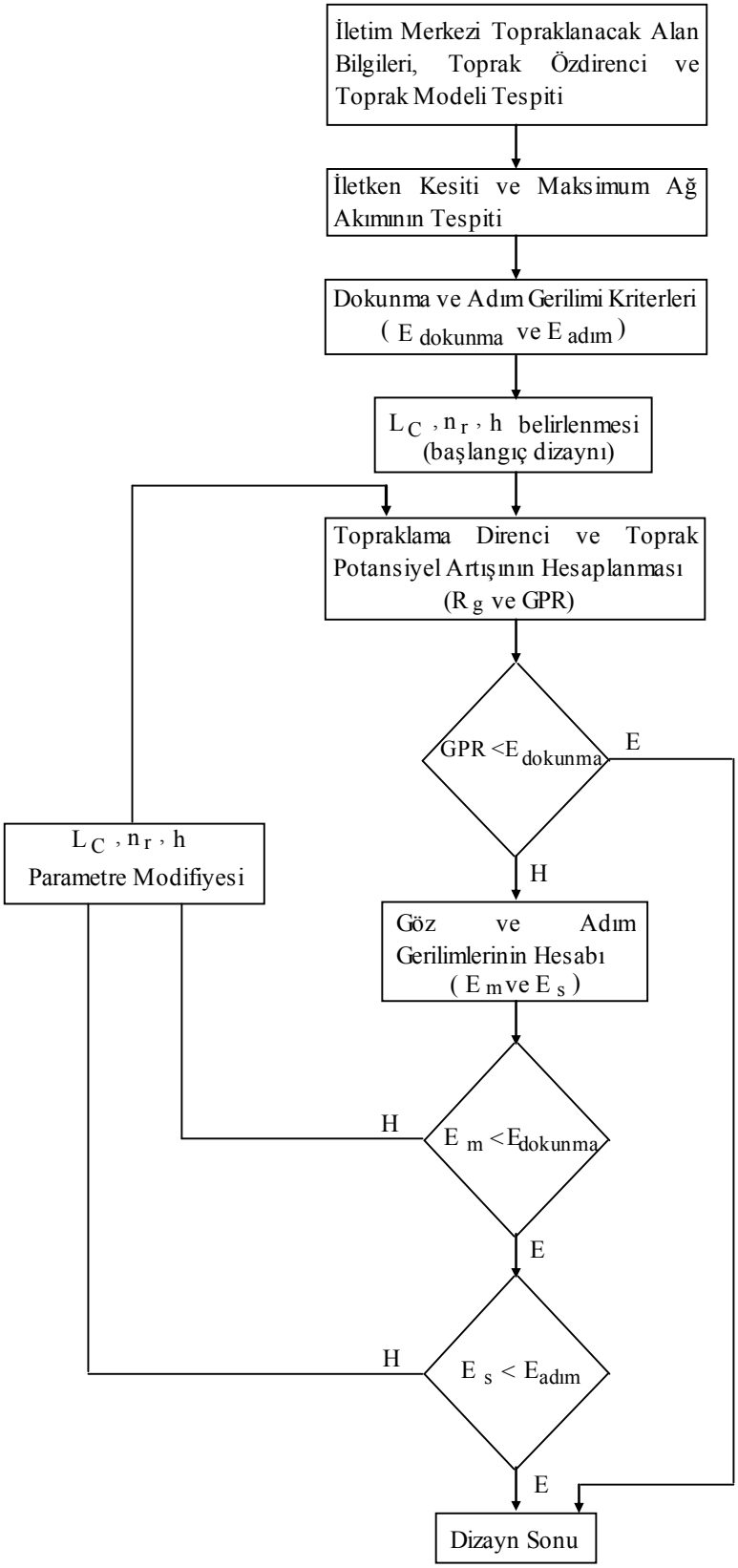
Adım 5. Topraklama direncinin ve maksimum gerilim yükselmesinin hesaplanması.

Adım 6. Maksimum toprak gerilim yükselmesi, müsaade edilebilir maksimum dokunma geriliminden küçükse belirlenen iletken uzunluğu, çubuk sayısı ve gömülme derinliği tasarım için uygundur. Tasarım prosedürünün sonlandırılması.

Adım 7. Maksimum toprak gerilim yükselmesi, müsaade edilebilir maksimum dokunma geriliminden küçük değilse, göz ve adım gerilimlerinin hesaplanması.

Adım 8. Göz gerilimi, müsaade edilebilir maksimum dokunma geriliminden ve adım gerilimi müsaade edilebilir maksimum adım geriliminden küçüklerse (her ikisinin de küçük olması gerekir) belirlenen iletken uzunluğu, çubuk sayısı ve gömülme derinliği tasarım için uygundur. Tasarım prosedürünün sonlandırılması.

Adım 9. Göz gerilimi, müsaade edilebilir maksimum dokunma geriliminden ya da adım gerilimi müsaade edilebilir maksimum adım geriliminden küçük değillerse, (ikisinden biri dahi küçük değilse) yeni başka parametre değerleri belirlenerek Adım 5'e gidilmesi.



Şekil 5.5. Topraklama Ağı Dizayn Prosedürü Blok Diyagramı (IEEE)

5.5. Toprak Özdirenci

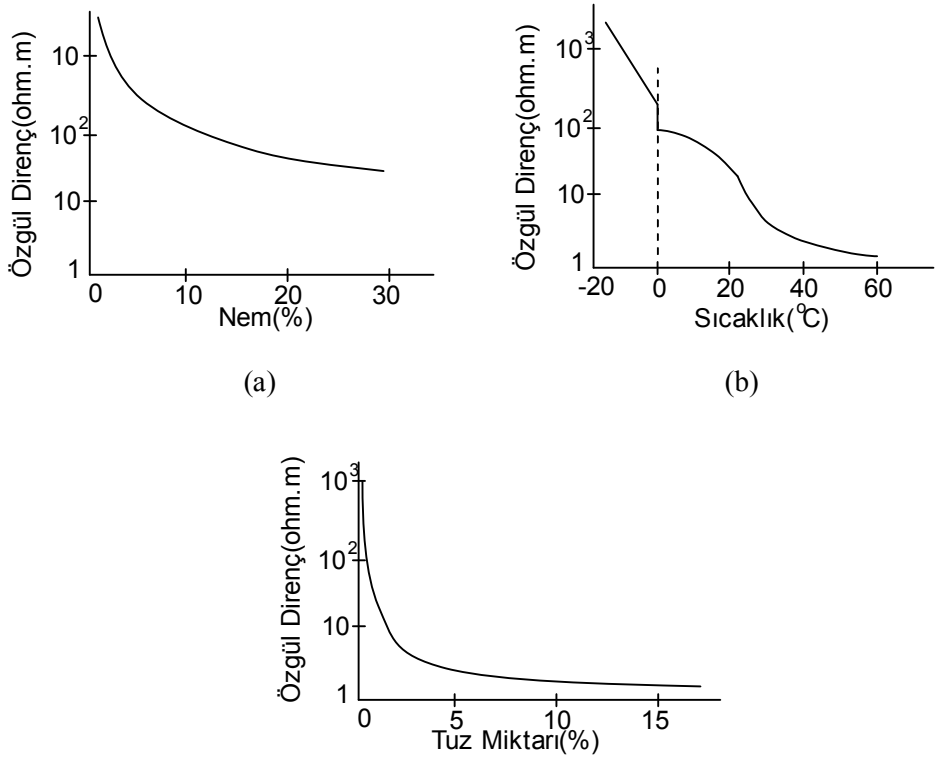
Toprak özdirenci, toprağın karakteristiğinin belirlenmesindeki en önemli ölçüttür. Topraklama ağı tasarımına başlanırken yapılacak ilk iş, toprak özgül direnci ölçümleriyle toprağın yapısını incelemektir. Toprak özdirenci aşağıdaki nitelikleri gösterir:

1-Özgül direnç kayaların yapısına ve nem yüzdelerine bağlı olarak bir bölgeden diğerine çok büyük değişiklikler gösterir.

2-Belirli bir bölgedeki toprak hem yatayına hem de derinlemesine çok az homojendir.

3- Toprağın yüzeysel katlarının özgüldirenci mevsimlere göre çok büyük değişiklikler gösterir [130].

4- Toprak özdirenci sıcaklık, nem ve tuz miktarına göre değişiklik gösterir.

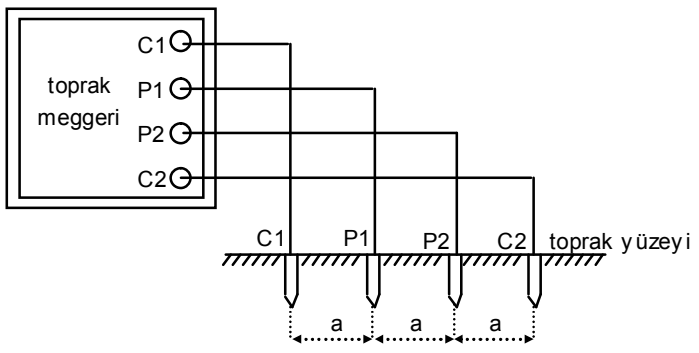


Şekil 5.6. Toprak Özgül Direncinin a) Nem, b) Sıcaklık ve c) Tuz Miktarına Göre Değişimi

Toprak sıcaklığı arttıkça, içindeki rutubetin ısınmasıyla su içinde çözünebilen madde miktarı artarak toprağın iletkenlik seviyesi yükselecektir. Bitkilerden geçen ve suda çözünebilen organik maddeler toprağın iletkenliğini artırır. Killi ve balçıklı toprakların su ve organik madde miktarları fazla olduğundan iletkenliği yüksektir. Kumlu ve kayalık zeminlerin iletkenliği

düşmekte ve özgül direnç yükselmektedir. Kuru ortamda toprak iletkenliği zayıftır. Nem arttıkça özgül direnç düşmektedir. %20'den daha yüksek nem oranlarında özgül dirençteki düşüş az olmaktadır. Topraktaki nem oranının değişimi yağışlı mevsimlerde artmaktadır. Deniz tuzu ya da sodyum karbonat gibi malzemeler toprağın iletkenliğini artırmaktadır. Tuz, toprak iletkenliğini artırsa da topraklama iletkenlerinin korozyonunu hızlandıracaktır. Korozyonun hızlanması, topraklama sisteminin yaşlanması ve görevlerini yerine getirememe sorunlarını ortaya çıkaracaktır. Topraklama iletkenlerinin etrafına, odun ya da kok kömürü tanecikleri serilmesi işlemi de özgül direnci düşürücü metodlardan biridir. Bu yöntemin, daha az korozyona neden olduğu bilinmektedir. Sodyum klorid, magnezyum, bakır sülfat veya kalsiyum klorid elektrot çevresindeki toprağın iletkenliğini artırır. Fakat zamanla bu maddeler bulundukları yerden sızmaya, uzaklaşmaya başlar. Bu nedenle periyodik olarak kontrol edilme zorunluluğu vardır. Yüksek özdirençli toprağın özgül direncini iyileştirmenin en etkili yolu, bentonit kullanımıdır [118]. Bentonit kararlı, korrozif olmayan bir malzemedir. % 300 nemde 2.5 $\Omega \cdot m$ özdirence sahiptir. Bentonit; su, Na_2O (soda), K_2O (potas şapı), CaO (kireç), MgO (magnezya) ve diğer mineral tuzların elektrolitik işlemleriyle, kimyasal reaksiyonlarıyla ortaya çıkmış olan güçlü bir elektrolittir. Tüm bu kimyasal ve mineral malzemeler bentonitin içerisinde doğal olarak bulunduğundan gerek yer altı suları ile gerekse de yağmur suları ile çözünmeden kalır [131].

Toprak özgül direnci ölçümünde, Wenner'in Şekil 5.7'de gösterilen dört elektrot metodu kullanılır. Bu metotta, eşit aralıklarla toprağa düşey çakılı elektrotlardan dıştaki ikisinden akım geçirilir ve içteki iki elektrot arasındaki potansiyel düşümü yöntemine göre toprak direnci ölçülür [132].



Şekil 5.7. Wenner'in Dört Elektrod Metodu Toprak Özgül Direnci Ölçüm Şeması

Dört uçlu toprak megeri, bu ölçüm için kullanılır. Toprak megeri, alternatif akımlı gerilim düşümü prensibine göre çalışarak toprak direncini direkt olarak ölçer. Dört uçlu megerde iki akım ucu (C1 ve C2) ve iki gerilim ucu (P1 ve P2) bulunmaktadır. Kollu olan toprak megerlerinde, kolun belli bir tur sayısıyla çevrilmesiyle toprağa alternatif akım akıtılır. Bu akım C1-C2 uçlarına bağlı elektrotlarla gönderilir. Toprak içerisindeki da karakterli ve üçüncü harmonik kaçak akımlarının etkisi altında kalmamak için, bu akımın frekansı şebeke frekansından farklıdır. P1-P2 uçlarıyla topraktaki gerilim düşümü cihaza verilir. P1-P2 elektrotları arasındaki R direnci ölçülmüş olunur. Toprak direnci ölçümünden sonra, toprak özgül direnci,

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \tag{5.14}$$

ile hesaplanır [133]. a, elektrotlar arasındaki açıklığı göstermektedir. Denklem (5.14), elektrotlar arası mesafenin elektrot derinliğinden çok büyük olduğu zaman geçerlidir. IEEE Std.81-1983 [134]'de $a > 10 \cdot b$ olduğunda (5.14) denklemi, $a \leq 10 \cdot b$ olduğunda da (5.15) denklemi geçerlidir. Burada; b, elektrot derinliğidir.

$$\rho = \frac{4 \cdot \pi \cdot a \cdot R}{1 + \frac{2 \cdot a}{\sqrt{a^2 + 4 \cdot b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \tag{5.15}$$

Toprağın homojen olmayışı nedeniyle, ölçümler, birçok noktada ve transformatör merkezi alanı farklı güzergahlarında yapılarak alanın tümünün toprağının yapısı hakkında daha net bilgi sahibi olunur. Toprak özgül direnci ölçümlerinde, elektrotlar arası mesafe ölçü derinliğini de göstermektedir. Yani elektrotlar arası mesafe artırılınca, hem yatayına hem de derinlemesine toprağın yapısı hakkında bilgi sahibi olunur.

Topraklama ağı döşenmesi planlanan transformatör merkezi için yapılacak ilk işlem toprak özgül direncinin ölçülmesidir. Toprak özgül direnci ölçümü için en uygun zaman, toprağın çok kuru olduğu zamandır. Örneğin, Elazığ'da yağmurların yoğun olduğu Ekim ya da Nisan ayında toprak özgül direncinin ölçülmesi, toprağın yapısı hakkında sağlıklı karar alınmasına mani olur. Toprak özgül direnci, değerinin en yüksek olacağı Temmuz-Ağustos aylarında ölçülmelidir. Topraklama ağı tasarımı için çok önemli olan toprak özgül direnci ölçümü, toprağın en kuru olduğu zaman da ölçülmelidir. Çünkü, bu değer tüm tasarım hesaplarında kullanılacaktır. Topraklama ağı tasarımı, en kötü şartları sağlayacak şekilde yapılmalıdır.

5.6. Topraklama İletkeni Kesiti

Kısa devre arızası durumunda topraklama iletkenleri vasıtasıyla toprağa iletilen hata akımını taşıyan iletkenler, en büyük arıza akımına, arıza süresince herhangi bir erime ya da hasarlanma olmadan dayanabilmelidir. Kısa devre esnasında karşılaşacağı zorlanmalara karşı da dayanıklılık göstermelidir. Aynı zamanda, yerel gerilim farklarını tehlikeli değerlere yükseltmeyecek şekilde gerekli elektriksel iletkenliği de sağlamalıdır. IEEE Std.80-2000, topraklama iletkeni kesit seçimi için, simetrik akıma göre belirlenmiş (5.16) denklemindeki 'Onderdonk' bağıntısını önermiştir.

$$A_{mm^2} = \frac{I}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \cdot \alpha_r \cdot \rho_r}\right) \cdot \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)}} \tag{5.16}$$

Burada; I:Kısa devre akımı (A), t_c: Arıza süresi (sn), α_r :Refereans sıcaklıkta özdirencin ısıl katsayısı ($1/^0$C), ρ_r :Referans sıcaklıkta topraklama iletkeninin özdirenci ($\mu\Omega.cm$), T_{CAP}: Isıl kapasite faktörü (J/(cm^3.^{0}C)), T_m: Müsaade edilebilir maximum sıcaklık (^{0}C), T_a: Ortam sıcaklığı (^{0}C), $K_0 = (1/\alpha_r) - T_r$, T_r : Malzeme sabitleri için referans sıcaklıktır (^{0}C).

Türkiye'de yüksek gerilimli trafo merkezlerinde topraklama iletkeni kesiti, en az 120 mm^2 olacak şekilde sınırlandırılmıştır [135].

Tablo 5.1. Kesit Hesabı İçin Malzeme Sabitleri

	Bakır	Alüminyum	Çelik özlü alüminyum
Malzeme İletkenliği (%)	100	61	20.3
α_r	0.00393	0.00403	0.00360
K_0	234	228	258
T_m	1083	657	657
ρ_r	1.72	2.86	8.48
T_{CAP}	3.42	2.56	3.58

5.7. Topraklama Direnci Hesabı

Uniform yapıya sahip bir topraklama sistemi alanının yarı küre elektrot yaklaşımıyla basit olarak topraklama direnci Denklem (5.17)'deki gibidir.

$$R_g = \frac{\rho}{4}\sqrt{\frac{\pi}{A}} \tag{5.17}$$

gibidir.Burada; ρ, uniform toprak özdirenci ($\Omega \cdot m$), A topraklama sisteminin kapladığı alan (m^2) 'dır. Bu denkleme, Laurent ve Niemann tarafından toprağa gömülü iletkenlerin toplam uzunluğunu içine alan bir terim eklenmiştir.

$$R_g = \frac{\rho}{4}\sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L_T} \tag{5.18}$$

Sverak, ağ gömülme derinliğini (h) de içine alan başka bir formül önermiştir:

$$R_{g_{uniform}} = \rho \cdot \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot A}} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 + h \cdot \sqrt{20/A}}\right)\right] \tag{5.19}$$

Schwarz [136] homojen toprak için, ağ iletkenleri ve çubuklardan oluşan topraklama sisteminin toplam direncini belirlemek için aşağıdaki denklemleri önermiştir:

$$R_{g_{uniform}} = \frac{R_1 R_2 - R_M^2}{R_1 + R_2 - 2R_M} \tag{5.20}$$

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_C}\left[\ln\left(\frac{2L_C}{a'}\right) + \frac{k_1 L_C}{\sqrt{A}} - k_2\right] \tag{5.21}$$

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi \cdot n_r \cdot L_r}\left[\ln\left(\frac{4L_r}{b}\right) - 1 + \frac{2k_1 \cdot L_r}{\sqrt{A}}\left(\sqrt{n_r} - 1\right)^2\right] \tag{5.22}$$

$$R_M = \frac{\rho}{\pi L_C}\left[\ln\left(\frac{2L_C}{L_r}\right) + \frac{k_1 \cdot L_C}{\sqrt{A}} - k_2 + 1\right] \tag{5.23}$$

$$a' = (a \cdot 2h)^{0.5} \tag{5.24}$$

Bu denklemlerde;

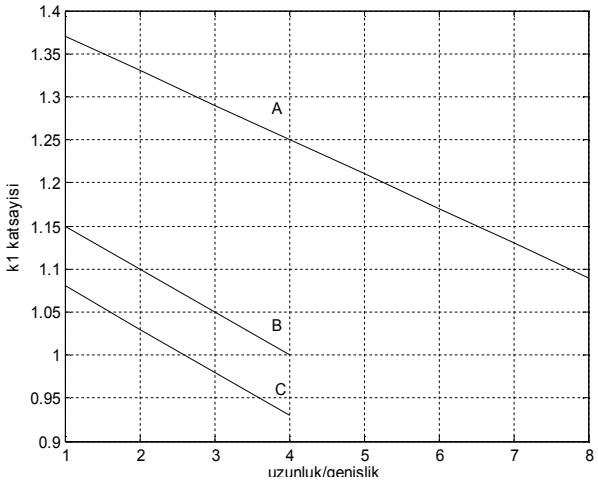
R_1 : topraklama ağı iletkenlerinin topraklama direnci, R_2 : topraklama çubuklarının topraklama direnci, R_M : iletken ve çubuklar arasındaki karşılıklı direnç, a : topraklama iletkeni yarıçapı (m), n_r : çubuk sayısı, L_r : Topraklama çubuklarının boyu (m), b : Topraklama çubuklarının yarıçapı (m), k_1, k_2: Sabit katsayılardır.

Schwarz katsayıları olarak bilinen k_1 ve k_2 için Şekil 5.8 ve 5.9 kullanılır. Şekil 5.8'de;

h=0 için $\gamma_A = -0.04\chi + 1.41$, A doğrusu,

h= $\sqrt{A}$ /10 için $\gamma_B = -0.05\chi + 1.20$, B doğrusu,

h= $\sqrt{A}$ /6 için $\gamma_C = -0.05\chi + 1.13$ C doğrusu kullanılır.



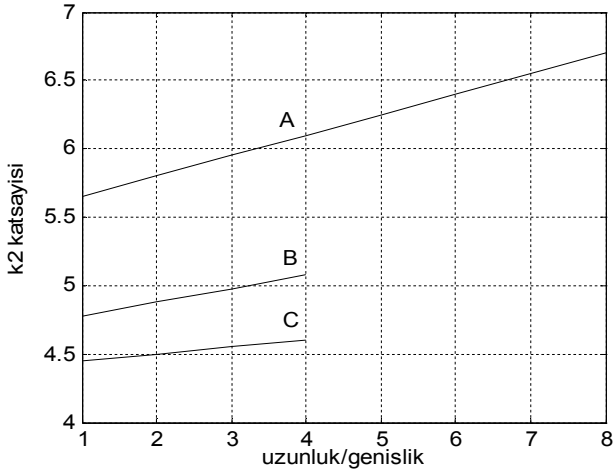
Şekil 5.8. Schwarz katsayısı (k_1 için)

Şekil 5.9' da;

h=0 için $\gamma_A = 0.15\chi + 5.50$, A doğrusu,

h= $\sqrt{A}$ /10 için $\gamma_B = 0.10\chi + 4.68$, B doğrusu,

h= $\sqrt{A}$ /6 için $\gamma_C = 0.05\chi + 4.40$, C doğrusu kullanılır. Şekil 5.8. ve 5.9.'daki A, B ve C doğruları için; χ , topraklama ağı döşenecek alanın uzunluk/genişlik oranıdır.



Şekil 5.9. Schwarz katsayısı (k_2 için)

Literatürde [137-141], topraklama direnci hesaplamak için sunulan ve kullanılan birçok denklem mevcuttur. IEEE Std.80-2000, uniform toprak modeli topraklama direnci hesaplanmasında (5.19) ve (5.20) denklemlerini önermektedir. Standardın örnek hesaplamalar bölümünde, uniform toprak modeli için (5.19) denkleminin kullanıldığı görülmektedir.

5.8. Göz ve Adım Gerilimleri Hesabı

Topraklama ağı tasarımında, önemli kriterlerden biri de ağın göz ve adım gerilimlerinin hesabıdır. Bir yüksek gerilim tesisinde, adım ve dokunma gerilimlerinin güvenli sınırlar içerisinde tutulması için, topraklama sistemindeki adım, göz gerilimlerinin ve GPR'nin kontrol edilmesi gerekir.

Toprak iletkeninden bir metre yatay uzaklıkta ölçülen gerilim, dokunma gerilimi olarak bilinirken, bir metreden daha fazla uzaklıkta dokunulan donatı doğrudan ya da dolaylı olarak topraklama ağı ile bağlantılı olabilir. Bu nedenle, dokunma gerilimi yerine göz gerilimi diye tanımlanan ve topraklı donatı ile dikdörtgen biçimli topraklama gözünün merkezi arasındaki gerilim temel alınır. Genellikle bu gerilim, topraklama iletkeninden bir metre uzaklıkta ölçülen dokunma geriliminden daha büyük değerdedir. Gözlü olarak tesis edilmiş bir topraklama ağında, göz gerilimi [142]:

$$E_m = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_G}{L_M} \tag{5.25}$$

ile yazılır. Adım gerilimi hesabı da,

$$E_S = \frac{\rho \cdot K_S \cdot K_i \cdot I_G}{L_S} \tag{5.26}$$

ile bulunur. Bu denklemlerde geçen terimler aşağıdaki gibi hesaplanırlar:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \cdot \left[\ln\left(\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln\left(\frac{8}{\pi \cdot (2n-1)} \right) \right] \tag{5.27}$$

$$K_i = 0.644 + 0.148n \tag{5.28}$$

$$K_S = \frac{1}{\pi}\left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D}\left(1 - 0.5^{n-2}\right)\right] \tag{5.29}$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \tag{5.30}$$

h_0 =1 m (ağ referans derinliği)

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d \tag{5.31}$$

$$n_a = \frac{2L_C}{L_P} \tag{5.32}$$

$n_b = 1$ (kare ağ için),

$n_c = 1$ (kare ve dikdörtgen ağ için),

n_d = 1 (kare, dikdörtgen ve L şekilli ağ için). Aksi durumlarda;

$$n_b = \sqrt{\frac{L_P}{4\sqrt{A}}} \tag{5.33}$$

$$n_c = \left[\frac{L_x \cdot L_y}{A}\right]^{\frac{0,7A}{L_x \cdot L_y}} \tag{5.34}$$

$$n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \tag{5.35}$$

$$L_S = 0.75 \cdot L_C + 0.85 \cdot L_R \tag{5.36}$$

Topraklama çubukları ağın çevresi boyunca veya ağın köşelerinde yerleştirilmiş ise,

K_{ii} = 1 (5.37)

olur.Ağda, hiç topraklama çubuğu yok veya birkaç topraklama çubuğu var ve bunlar da çevresinde ya da köşelerinde yerleştirilmemiş ise,

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{2/n}} \tag{5.38}$$

olur. Köşelerde topraklama çubuğu olmasının yanı sıra ağın her yerinde ve çevresi boyunca topraklama çubuğu varsa,

$$L_M = L_C + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] \cdot L_R \tag{5.39}$$

olur. Hiç topraklama çubuğu yok veya sadece birkaç topraklama çubuğu varsa ve bunlar da köşelere yerleştirilmemiş veya ağ çevresi boyunca konulmamış ise,

$$\mathrm{L_M = L_C + L_R} \tag{5.40}$$

olur.

(5.25)-(5.40) denklemlerindeki parametrelerin anlamları aşağıdaki gibidir:

ρ : toprak özdirenci($\Omega \cdot m$), K_m : geometrik faktör, K_i : düzensizlik faktörü, I_G : Maksimum hata akımı (A), D : iletkenler arası mesafe (m), h : topraklama iletkeni gömülme derinliği (m), n : topraklanacak alanın geometrik şekline bağlı faktör, L_p : topraklama alanının çevresi (m), A : topraklama ağının alanı (m^2), L_x : topraklama alanının x doğrultusundaki uzunluğu (m), L_y : topraklama alanının y doğrultusundaki uzunluğu (m), L_r : her bir topraklama çubuğunun boyu (m), L_R : topraklama çubuklarının toplam uzunluğu (m), L_C : topraklama iletkenleri toplam uzunluğu (m), d : topraklama iletkeni çapı (m), D_m : ağda herhangi iki nokta arasındaki maksimum mesafe (m), K_s : geometrik faktör.

6. TOPRAKLAMA AĞI TASARIMINA ETKİ EDEN DİĞER FAKTÖRLER

6.1. Giriş

Ülkelerin gelişmişliğinin tüketilen enerji ile ölçülür hale geldiği Dünyada, sanayinin, ihracatın, ekonominin, sosyal yaşamın dolayısıyla toplumsal refahın yükselebilmesi için daha çok elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Gelişmekte olan ülkemizde de, gerek artan nüfusla beraber oluşan ihtiyaçtan, gerekse daha modern yaşam için yeni kurulan yüksek gerilimli transformatör merkezlerinin sayısı artmaktadır. Yeni kurulan transformatör merkezleri, artan nüfustan dolayı toplumsal yaşam alanlarıyla iç içe kalmıştır. Dolayısıyla gerek insanların ve diğer canlıların emniyetini sağlamak gerekse enerji kesintilerini en aza indirerek enerji iletim sisteminin sürekliliğini sağlamak için, transformatör merkezi topraklama sistemlerinin emniyetli bir şekilde tasarlanması hayati öneme sahiptir.

Topraklama ağı tasarımı, transformatör merkezi kurulacak alan, henüz boş bir arazi durumundayken yapılan toprak özgül direnci ölçümleriyle başlar ve topraklama iletkenleriyle çubuklarının, standartlara dayalı hesaplamalar sonrasında toprak altına uygun derinlikte gömülmesiyle son bulur. Bu nedenle, gerek toprak özgül direnci ölçümleri gerekse topraklama ağı tasarım hesapları çok önemlidir. Çünkü, transformatör merkezi enerjilenip yıllarca faaliyetini sürdüreceği her anda, topraklama ağlarının çok önemli görevleri yerine getireceği planlanmıştır. Bu görevlerden bazıları, canlıları tehlikeli dokunma ve adım gerilimlerinden ve toprak potansiyel yükselmesi (GPR)'nden korumak, yüksek gerilim teçhizatlarını korumak, rölelerin arızaları algılayabilmelerine imkan vermek ve en genel haliyle enerji iletimi sürekliliğini sağlamaktır. Bu bölümde, yüksek gerilim transformatör merkezleri için hayati önemi olan topraklama ağlarının tasarımında adım, dokunma gerilimi, GPR gibi kriterlerin yanında, mutlaka önem verilmesi gereken diğer hususlar dikkatlere sunulmuş ve bu hususların etkileri ifade edilmiştir. Topraklama ağı tasarımında dikkat edilmesi gereken bu hususların, ağ tasarımına nasıl dahil edileceği belirlenmiştir .

Topraklama sistemleri ve dolayısıyla transformatör merkezlerinde topraklama sistemi olarak kullanılan topraklama ağlarının, tutarlı ve güvenilir olarak tasarımı elektrik iletim sisteminin can damarını oluşturmaktadır. Burada gözden kaçan ya da göz önüne alınmayan en küçük bir durum bile, sistemin düzgün işlemesini engelleyecektir. Hatalı, eksik ya da önemli hususları dikkate almayan bir topraklama ağı tasarımı sonrasında, transformatör merkezinin topraklama ağındaki hatayı bertaraf edebilmek için yeniden düzenlenmesi hem elektrik iletim sistemi şartlarını zorlamakta hem çok tehlikeli durumlar arz etmekte ve hem de büyük bir ekonomik külfete neden olmaktadır. Topraklama ağındaki hatayı bertaraf edebilmek için,

transformatör merkezinin günlerce enerjisiz hale getirilmesi isteğinin de kabul görülmesi neredeyse imkansızdır. Bu nedenle mecburen enerjili bir transformatör merkezinde topraklama ağı üzerinde çalışılması durumu çok tehlikeli bir durumdur. Ayrıca topraklama ağı tasarımındaki hata, eksik ya da dikkate alınmayan önemli hususlar, muhtemelen, oluşacak çok tehlikeli durumlar sonrasında ancak fark edilebilir. Tüm bu nedenlerden dolayı, transformatör merkezlerinde topraklama ağlarının eksiksiz ve hatasız olarak tasarlanması ve adım, dokunma gerilimi ve GPR kriterlerine ek olarak tasarımda bu bölümde ifade edilen hususların da mutlaka dikkate alınması gereklidir [29].

6.2. Toprak Modeli

Türkiye Elektrik İletim Sistemi yüksek gerilimli trafo merkezlerinin topraklama ağlarının tasarımında, üniform toprak modeli kullanılmaktadır. Topraklama ağının kurulacağı alanın farklı noktalarda yapılan toprak özgül direnci ölçümlerinin aritmetik ortalaması alınarak tüm alan için aynı toprak özgül direnci değeri, hesaplamalarda kullanılır. Uniform toprak yapısında toprağın tüm katmanlarının aynı özgül dirence sahip olduğu kabul edilir. Toprak yapısının homojen kabul edilmesiyle, kurulacak olan topraklama ağı da homojen yapılır. Yani genellikle, alanın her yerinde eşit mesafeler arasında eşit uzunlukta iletkenler serilerek ağ döşenir. Literatürdeki birçok topraklama ağı dizaynı uniform toprak modeli kullanılarak yapılmaktadır [143-149].

$$\rho_{a(uniform)} = \frac{\rho_{a(1)} + \rho_{a(2)} + \rho_{a(3)} + ...\rho_{a(n)}}{n} \tag{6.1}$$

Burada; $\rho_{a(1)} + \rho_{a(2)} + \rho_{a(3)} + ...\rho_{a(n)}$, dört noktalı Wenner metoduyla farklı mesafelerde ya da farklı noktalarda ölçülen özdirençlerin toplamıdır.

Halbuki gerçekte homojen yapıya sahip bir toprak bulmak oldukça zordur. Belirli bir bölgedeki toprak, hem yatayına hem de derinlemesine çok az homojendir. Trafo merkezi kurulacak arazinin büyük bir ekseriyetle homojen toprak yapısına sahip olmaması nedeniyle, tek katmanlı üniform toprak modeliyle yapılan ağ tasarımlarının tam olarak gerçeğe yakın olmadığı düşünülmüş ve bu nedenle uniform olmayan iki katmanlı toprak modeli yaklaşımı geliştirilmiştir. İki katmanlı toprak modeli yaklaşımında, toprak derinlemesine farklı özdirence sahip iki katmandan oluşmaktadır. Böylece tek katmanlı toprak modeline nazaran, toprak yapısının gerçeğe daha yakın belirlenmesi ve dolayısıyla daha tutarlı bir topraklama sistemi tasarlanması amaçlanmıştır. IEEE Std.80-2000'de iki katmanlı bir modelin kullanımıyla, gerçek toprak şartlarının daha doğru bir temsili elde edilebileceği ifade edimiştir.

Toprak özdirenci ölçümleri, Wenner'in dört elektrod metoduna göre yapılmaktadır. Bu metoda göre yapılan ölçümler sonunda, toprak özdirencindeki ani değişikliklerin farklı katmanları gösterdiği belirtilmiştir. Wenner metodunda elektrodlar arasındaki açıklık, ölçü derinliğini vermektedir. Böylece hem farklı katmanların özdirençleri hem de bu katmanların derinlikleri bulunabilir. Toprağın derinlemesine olarak yapısındaki bariz değişiklik, kullanılacak toprak modelini de değiştirecek, tasarımın gerçeğe daha yakın olmasını sağlayacaktır.

6.2.1. İki Katmanlı Toprak Modeli

İki katmanlı toprak modelinde, üst katman toprağının derinliği sonlu bir değer olmasına karşın, alt katman toprağının derinliği sonsuz kabul edilmiştir. Her toprak katmanının sınırlarında toprak özdirencindeki ani değişiklik,

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \tag{6.2}$$

denklemi ile ifade edilen yansıma faktörüdür. Burada; ρ_1 üst katman toprak özdirenci ve ρ_2 alt katman toprak özdirencidir.

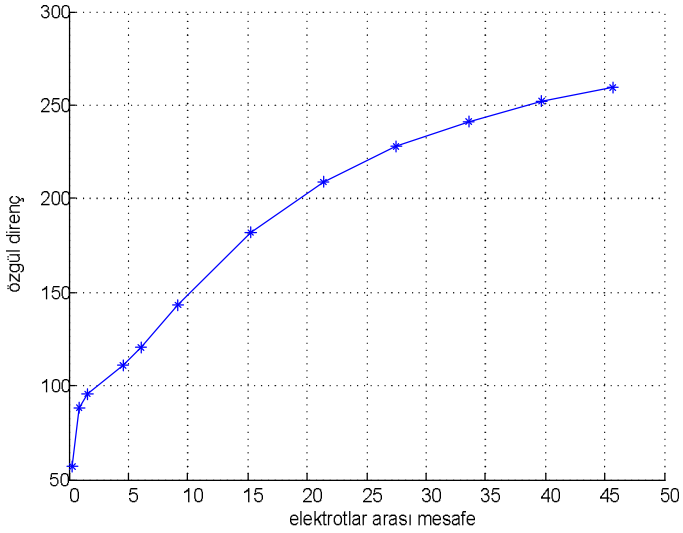
Topraklama ağı tasarımında toprak özdirencinin iyi tespit edilmesi önemli rol oynar. Çünkü hesaplamalar yapılırken, bu katsayı ağın direncinin bulunmasında, buna bağlı olarak ağdaki akım ve potansiyel dağılımlarının hesaplanmasında direkt etkendir.

İki katmanlı toprak modelinde üst katmanın kalınlığını tesbit etmek için Sunde'nin grafik metodundan yararlanılabilir. Dört noktalı Wenner metoduyla ölçülen toprak özgül direnci değerleri Tablo 6.1'deki gibi olsun.

Tablo 6.1. Dört Noktalı Wenner Metoduna Dayalı Direnç Ölçümleri ve Hesaplanan Özdirençler

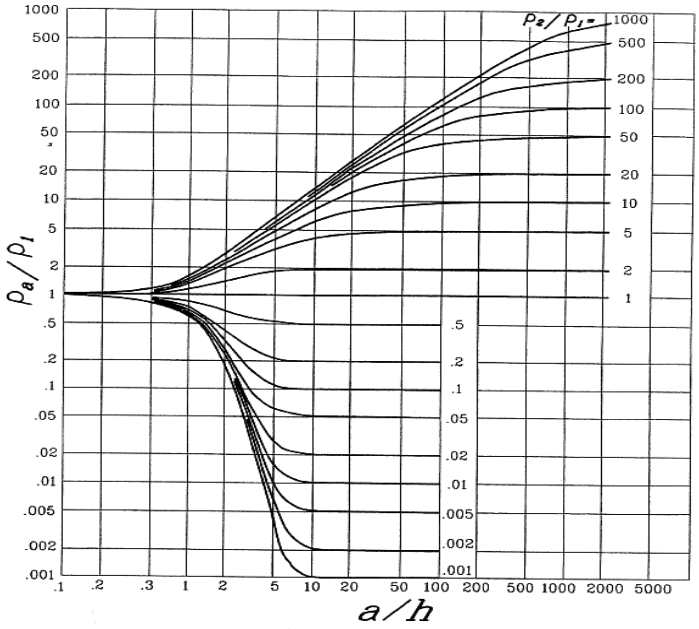
Elektrotlar Arası Mesafe (a) (m)	Direnç (Ω) ohm	Toprak Özgül Direnci (ρ) (ohm·m)
0.305	29.73	56.94
0.915	15.33	88.07
1.524	9.97	95.48
4.573	3.85	110.71
6.098	3.15	120.76
9.146	2.49	143.10
15.244	1.90	181.70
21.341	1.56	208.78
27.439	1.32	227.75
33.537	1.15	241.48
39.634	1.01	251.77
45.731	0.90	259.76

Bu değerlere göre, elektrotlar arası mesafe ile toprak özgül direncinin değişimi Şekil 6.1'deki gibi olur.



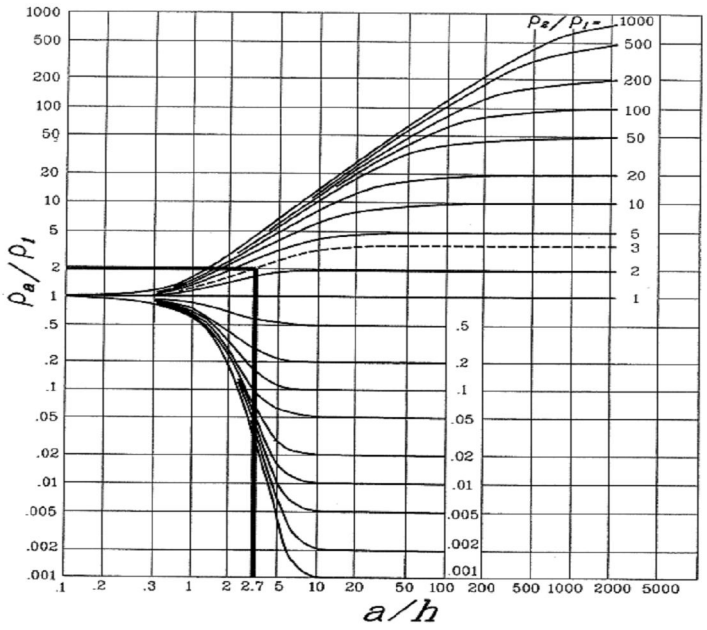
Şekil 6.1. Elektrotlar Arası Mesafeye Göre Toprak Özgül Direnci Değişimi

Üst katman toprağının özdirenci ρ_1 grafikte eğimin dik olduğu, iki ölçüm arasındaki zıplamanın oransal olarak en yüksek olduğu değer olarak yaklaşık 100 $\Omega \cdot m$, alt katman toprağının özdirenci ρ_2 de iki ölçüm arasındaki değişmenin en az olduğu ya da grafiğin düzleşmeye gideceği değer olarak yaklaşık 300 $\Omega \cdot m$ alınabilir. ρ_1 ve ρ_2 değerleri Sunde'nin grafik metodu için gereklidir. Şekil 6.2. Sunde'nin grafiksel metodunu göstermektedir.



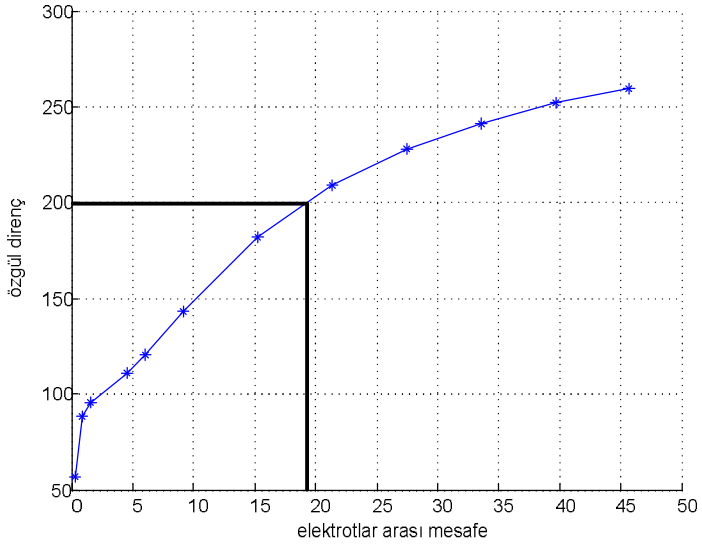
Şekil 6.2. Sunde'nin Grafiksel Metodu

Bu duruma göre ρ_2 / ρ_1=300/100=3 olarak belirlenmiştir. Sunde'nin grafiğine baktığımızda ρ_2 / ρ_1'in 3 olduğu eğri olmadığından, diğer eğrilere benzer olarak 2 ile 5 arasında Şekil 6.3'de gösterilen bir eğri çizilir.



Şekil 6.3. Sunde'nin Grafik Metoduyla Örnek

ρ_2 / ρ_1=3 eğrisinin eğimli bölgesi içinde ρ_a / ρ_1=2 olarak belirlenir. Buna karşılık gelen a/h değeri yaklaşık olarak 2.7'dir. ρ_a / ρ_1=2 ise ρ_a=200 olur. Şekil 6.4'te ρ_a=200 için a değeri yaklaşık olarak 19 bulunur. a/h=2.7 ve a=19 ise üst katman derinliği h_1=7.03 olarak bulunur [118].



Şekil 6.4. Özdirenç Eğrisinden 'a' Değerinin Belirlenmesi

IEEE Std.81-1983 [150]'de iki katmanlı toprak modeli için, üst katman ve alt katman toprak özdirençlerinin (ρ_1 ve ρ_2) ve üst katman toprak kalınlığının belirlenmesi için analitik metodu göstermiştir. Sunde'nin grafiksel metodunda sadece üst katman derinliği bulunmaktadır. ρ_1 ve ρ_2 'nin belirlenmesinde, özdirenç ölçümlerinden yararlanılır. ρ_1 elektrotlar arası mesafenin küçük, ρ_2 elektrotlar arası mesafenin daha büyük olduğu durumlarda elde edilen değerlerdir [151]. [152]'de Sunde'nin grafiksel metoduyla, analitik işlemlerle elde edilen değerlerin karşılaştırması yapılarak, birbirine yakınlığı gösterilmiştir.

İki katmanlı toprak modelinde topraklama ağı; h_b ağ gömülme derinliği, h_1 üst katman derinliği ve L_r her bir topraklama çubuğunun boyunu göstermek üzere, üç farklı düzende olabilir [153, 154].

1- Topraklama iletkenleri ve topraklama çubuklarının, üst katman toprağında olması.
2- Topraklama iletkenleri ve topraklama çubuklarının, alt katman toprağında olması.
3- Topraklama iletkenlerinin, üst katman toprağında olması ve topraklama çubuklarının da, her iki katmanda olacak şekilde çakılması.

6.2.1.1. Topraklama İletkenleri ve Topraklama Çubuklarının Üst Katmanda Olması

Bu durumda, hem iletkenler hem de kullanılmışsa çubuklar üst katman toprağındadır ($h_b+L_r \leq h_1$). Topraklama ağı direnci hesabında, üst katman toprak özdirenci kullanılır. Topraklama ağı iletkenlerinin direnci,

$$R_g = \rho_1 \cdot \left[\frac{1}{4}\sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{1}{L_C} \cdot \left(\frac{1}{2\pi} \ln \frac{0.061 \Delta l}{d} \right) \right] \cdot \left(1 - \frac{2.256 \cdot h_b}{\sqrt{A}} \right) - \rho_1 \cdot \frac{\ln(1-K)}{2\pi \cdot (h_1 + h_0)} \qquad (6.3)$$

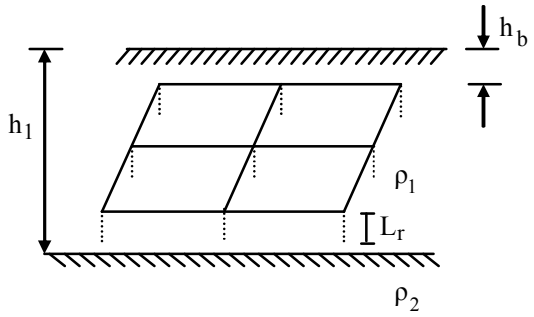
ile hesaplanır. Denklem (6.3)'den görüldüğü gibi, topraklama ağı iletkenleri üst katmanda olduğunda, topraklama direnci üst katman toprak özdirenciyle doğru orantılıdır. Üst katman toprak özdirenci küçük olursa topraklama ağı iletken direnci de küçük olur. Burada;

$$h_0 = C_f \cdot \sqrt{A/(2 \cdot \pi)} \cdot \ln(1-K) \cdot (K-1)/(2K)$$

$$\Delta l = \sqrt{\Delta l_x \cdot \Delta l_y}$$

şeklinde hesaplanır.

Şekil 6.5'de topraklama iletkenleri ve topraklama çubuklarının iki katmanlı toprağın üst katmanında yerleştirilmiş şekli görülmektedir.



Şekil 6.5. Topraklama Ağının Üst Katmanda Olması Durumu

Topraklama çubukları üst katmanda ise topraklama çubuklarının direnci,

$$R_{ab} = \frac{\rho_1 \cdot g_0 \cdot F_0}{L_r \cdot n_r} + \frac{\rho_1}{h_1} \cdot \phi \tag{6.4}$$

ile hesaplanır. Burada;

$$g_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \left[\ln\left(\frac{2L_r}{a}\right) - 1 + \frac{\ln 2}{1 + \frac{(4\ln 2) \cdot h_b}{L_r}} \right]$$

$$F_0 = F\Big|_{L_r \to \frac{L_r}{1-0.9K}} \qquad F = 1 + \left(n_r - \frac{1}{\sqrt{n_r}} \right) \cdot \frac{R_s}{R_r}$$

$$\frac{R_s}{R_r} = \frac{\sqrt{\frac{L_r}{r_1}\left[\frac{1}{8} + \left(\frac{L_r}{L_r + \frac{r_1}{2}}\right)^3\right]^{\frac{1}{3}}}}{\ln\left(\frac{4L_r}{a}\right) - 1}$$

$$r_1 = \frac{A}{2\pi L_r}$$

$$\phi = \frac{\frac{1}{2\pi}\ln\left(\frac{1}{1-K}\right)}{\sqrt{\left(\frac{n_r}{F_0} - 1\right)^2 \cdot \left(\frac{L_r + h_b}{h_1}\right)^2 + 1}}$$

bağıntılarıyla hesaplanır. Bu bağıntılarda kullanılan; Δl_x : x doğrultusundaki tek bir göz uzunluğu (m), Δl_y : y doğrultusundaki tek bir göz uzunluğu (m), A : Ağ alanı (m^2), d : Ağ iletkeni çapı (m), L_C : Ağ iletkeni toplam uzunluğu (m), C_f : Alan şekil faktörü (~0.9), n_r :Topraklama çubuğu sayısı, a : Topraklama çubuk yarıçapı(m)'nı ifade etmektedir.

6.2.1.2. Topraklama İletkenleri ve Topraklama Çubuklarının Alt Katmanda Olması

Bu durumda hem iletkenler hem de kullanılmışsa çubuklar üst katman toprağındadır ($h_b > h_1$). Topraklama ağı direnci hesabında alt katman toprak özdirenci kullanılır. Topraklama ağı iletkenlerinin direnci Denklem (6.5)'deki gibi hesaplanır.

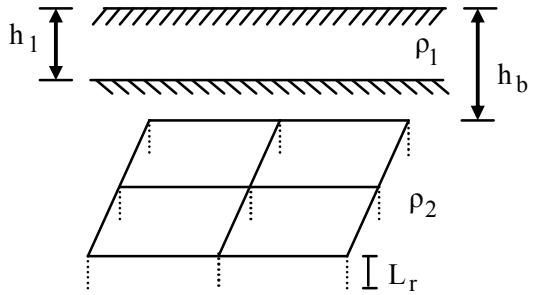
$$R_g = \rho_2 \cdot \left[\frac{1}{4}\sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{1}{L_C} \cdot \left(\frac{1}{2\pi} \ln \frac{0.061 \Delta l}{d} \right) \right] \cdot \left(1 - \frac{2.256 \cdot h_b}{\sqrt{A}} \right) - \rho_2 \cdot \frac{\ln(1-K)}{2\pi \cdot (h_1 + h_0)} \quad (6.5)$$

Bu denklem, (6.3) denkleminde ρ_1 yerine ρ_2 yazılmasıyla elde edilmiştir.

Topraklama çubukları alt katmanda olduğu zaman, topraklama çubuklarının direnci denklem (6.6)'daki gibi hesaplanır.

$$R_{ab} = \frac{\rho_2 \cdot g_0 \cdot F_0}{(L_r + h_b - h_1) \cdot n_r} \quad (6.6)$$

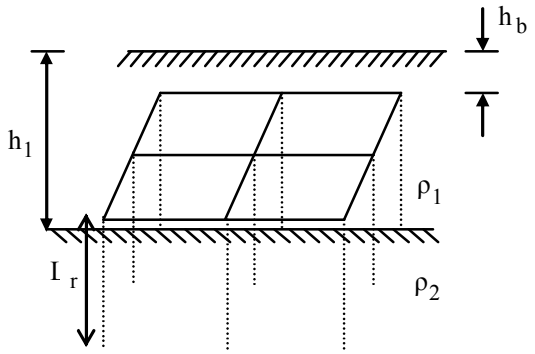
Şekil 6.6'da topraklama iletkenleri ve topraklama çubuklarının iki katmanlı toprağın alt katmanında yerleştirilmiş şekli görülmektedir.



Şekil 6.6. Topraklama Ağının Alt Katmanda Olması Durumu

6.2.1.3. Topraklama İletkenlerinin Üst Katmanda Olması ve Topraklama Çubuklarının Her İki Katmana Gelecek Şekilde Çakılması

Topraklama iletkenlerinin üst katmanda ve varsa topraklama çubuklarının her iki katmana da gelecek şekilde yerleştirildiği durum Şekil 6.7'de gösterildiği gibidir.



Şekil 6.7. Topraklama İletkenlerinin Üst, Topraklama Çubuklarının Hem Üst Hem Alt Katmanda Olması Durumu

Topraklama iletkenleri üst katmanda olduğundan, iletken direnci denklem (6.3) ile aynıdır. Topraklama çubukları kullanıldığı zaman, $h_1 \le L_r + h_b$'dir. (6.7) denkleminde, topraklama çubuğunun alt katmanda olan kısmı için direnci R_a, (6.8) denkleminde üst katmanda olan kısmı için R_b ve (6.9) denkleminde çubukların kombinasyon sonuç direnci R_{ab}'nin hesaplanması gösterilmiştir. R_a, (6.6) denklemindeki R_{ab}'ye eşittir. Topraklama çubukları her iki katmanda olacak şekilde çakılmıştır.

$$R_a = \frac{\rho_2 \cdot g_0 \cdot F_0}{(L_r + h_b - h_1) \cdot n_r} \tag{6.7}$$

$$R_b = \frac{\rho_1 \cdot g_0 \cdot F_0}{(h_1 - h_b) \cdot n_r} + \frac{\rho_1}{h_1} \cdot \phi_0 \tag{6.8}$$

$$R_{ab} = \frac{1}{\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b}} \tag{6.9}$$

(6.8) denkleminde kullanılan ϕ_0 aşağıdaki gibi bulunur.

$$\phi_0 = \frac{\frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{1}{1-K}\right)}{\sqrt{\left(\frac{n_r}{F_0} - 1\right)^2 + 1}}$$

6.2.1.4. Topraklama İletkenleri ve Topraklama Çubuklarının Kombinasyon Direnci

İki katmanlı toprak modelinde her üç yerleşim düzeni için de topraklama iletkenleri ve çubuklarının kombinasyon direnci (6.10) denklemindeki gibidir:

$$R_{t-iki} = \frac{1}{\sqrt[3]{\left(\frac{1}{R_g}\right)^3 + \left(\frac{1}{R_{ab}}\right)^3}} \tag{6.10}$$

İki katmanlı toprak modeli ile ilgili literatürdeki çalışmalarda, genellikle topraklama direnci hesaplama formülleri verilmiştir [153-156]. İki katmanlı toprak modelinde topraklama ağı topraklama direncinin hesabı için geliştirilen bir yöntem [157], [153]'deki topraklama direnci hesaplama yöntemiyle karşılaştırılmıştır.

[158, 159] çalışmalarında iki katmanlı toprak modeli ile hesapsal olarak topraklama ağı tasarımı yapılmıştır. Topraklama ağlarının üç boyutlu tasarımının yapıldığı [160] çalışmada, hazır bir paket program kullanılmıştır. Bu çalışmada da tasarım, optimizasyon şeklinde değil değerlerin değiştirilmesi ya da kabulüyle yapılmıştır. Yapay sinir ağları kullanarak da topraklama sistemlerinin optimum tasarımı yapılmıştır [161]. [162]'de yüksek gerilim tesislerinin topraklama sistemlerinin parametrik analizlerinde çok tabakalı toprak şartlarını da içerecek şekilde yenilenmesi gerektiği ifade edilmiştir.

6.3. Mevsimsel Etkiler

İletim merkezinin topraklama sistemi, güç sisteminde toprak arızası durumunda insan emniyetini garantiye almalı ve güç sisteminin güvenilir ve emniyetli şekilde çalışmasını sürdürmesini sağlamalıdır. İletim merkezinde insan ve güç aparatlarının emniyeti, transformatör merkezinin toprak potansiyel yükselmesi ve adım ve dokunma gerilimlerinin düşük tutulmasıyla sağlanabilir.

Elektrik tesislerinin topraklanması, sistemin işleyişi, personel ve çevredeki canlıların güvenliği yönünden önemli bir rol oynar. Canlıların ve tesislerin güvenliği denince optimal bir güvenlik anlaşılmalıdır. Bu güvenlik hem tehlikeleri etkin biçimde sınırlayacak hem de ekonomik yönden ölçülü olacaktır.

Topraklama ağlarının tasarımında mevsimsel etkilerin göz önünde bulundurulması, mutlaka şarttır. Mevsimsel etkiler dikkate alınmadan tasarlanan bir topraklama ağı, ne kadar doğru yapılırsa yapılsın, mevsimsel faktörler nedeniyle her zaman risk teşkil eder. Örneğin, topraklama ağı mekanik etkilerden korunmak için genel kaide olarak 0.5 m toprak altına

gömülü olursa ve mevsim değişiklikleri ya da bölgesel mevsim farkları nedeniyle 0.5 m toprak altı don tutarsa, don tutan toprağın özdirenci değişeceğinden, tasarlanan topraklama ağının emniyetli olacağı şüpheli olur. Aynı durum kurak ya da yağmurlu mevsimler için de geçerlidir. Türkiye, mevsimsel farklılıkların oldukça çeşitlilik gösterdiği bir ülkedir. Örneğin Kars'da 1 m toprak altı don tutabilirken Antalya'da don derinliği çok daha azdır ya da neredeyse don olayı görülmemektedir. Karadeniz bölgesinde yağış ve nem oranı oldukça yüksek iken, İç Anadolu, Ege, Akdeniz ve Doğu bölgelerinde düşüktür. Don ve kuraklık toprağın özdirencini önemli derecede yükseltirken, yağmur, nem de toprağın özdirencinin önemli derecede düşmesine neden olur.

Topraklama ağı kurulacak toprağın, don, kurak ya da nem derinliğinin de bilinmesi gereklidir. Topraklama elektrodu donda, nemde ya da kuru toprakta kalırsa direnci oldukça değişecektir. Don, kurak ya da nem derinliğine göre minimum gömülme derinliği tespit edilmelidir. Gerek mevsimsel faktörlerin etkisiyle değişecek toprak özdirenci değeri, gerekse mevsimsel faktörlerin etkisiyle değişecek gömülme derinliği nedeniyle, topraklama ağının yeniden tasarlanması, emniyet için şarttır. Çünkü toprağın özdirenci ve gömülme derinliğinin, topraklama ağı tasarımında çok önemli parametreler olduğu bilinmektedir. Bu parametreler değişince, tasarım ve tasarım sonuçları da değişir. Hatta, bu parametrelerin değişmesi toprak modelinin değişmesine de neden olur. Tek katmanlı ünifom toprak modeliyle tasarlanan topraklama sistemi, mevsimsel şartların etkisiyle iki katmanlı ya da çok katmanlı toprak modeline dönüşebilir. Dolayısıyla tasarım sistemi mutlaka yenilenmelidir. Ayrıca, mevsimsel faktörler, yüzeyde kullanılacak malzemenin özdirencinin de değişmesine neden olur. Don ve kurak mevsimde yüzeyde kullanılacak malzemenin özdirenci artar, yağmurlu mevsimde de düşer. Trafo merkezinin toprak özdirencinin ölçüldüğü mevsimdeki değerlerle, mevsimsel faktörlerin neden olduğu toprak özdirenci, gömülme derinliği ve yüzey malzemesi özdirenci değerleri birbirinden çok farklı olabilir. Bu yüzden topraklama ağı tasarımı, toprak özdirencinin ölçümünün yapıldığı mevsim değil, en kötü mevsimsel şartlara göre yapılmalıdır. Topraklama ağı üstlenmiş olduğu görevlerini, yılın belli mevsimlerinde değil, tüm mevsimlerde yerine getirmelidir.

6.3.1. Türkiye'de Mevsimler ve Topraklama Sistemine Etkisi

Topraklama sisteminin optimal dizaynı gerçek toprak modellerine dayanmalıdır. Ancak toprak özdirenci, farklı mevsimlerde değişir. Don olan mevsimde, don tutmuş toprağın özdirenci normal mevsimdekinden çok daha fazla artar. Don, yağmur ya da kuraklık, toprak modelinin değişmesine neden olur. Don, yağmur veya kurak olan mevsimlerde toprağın

özdirenci belirgin şekilde değişmektedir. Bu durumlarda oluşan düşük ya da yüksek özdirençli toprak katmanı, topraklama sisteminin güvenliğini etkiler. Mevsimlere bağlı olarak toprağın özdirencinin değişmesiyle, toprak yüzeyindeki adım ve dokunma gerilimleri, topraklama sisteminin topraklama direnci ve dolayısıyla GPR (toprak potansiyel yükselmesi) değişir. Başlangıçta emniyeti sağlayacak şekilde dizayn edilen topraklama sistemi, sonradan mevsimsel şartlara bağlı olarak canlıların ve güç sisteminin güvenliği yönünden büyük tehlikeler arz edebilir. Bu nedenle, mevsimlerin etkilerinin topraklama sistemi dizaynında ele alınması zaruridir. Mevsimsel toprak katmanı göz önüne alınarak yapılacak topraklama ağı dizaynı, gerçek toprak modelinin ve gerçek mevsimsel şartlardan etkilenmiş toprak katmanının derinliğinin belirlenmesine dayanmalıdır.

Çin gibi bazı ülkelerde topraklama sisteminin geleneksel dizaynında ölçülen toprak özdirenci, kış ya da yaz mevsimlerinin etkilerini göz önüne alabilmek için bir mevsimsel katsayı ile çarpılmaktadır. Ancak bu metod, yine de farklı mevsimlerdeki gerçek toprak şartlarını tam olarak karşılamaz.

Farklı mevsimlerde toprak yüzey katmanının özdirencinin değişmesi, topraklama sisteminin emniyetine etki eder. Don ve kurak mevsimlerde GPR, adım ve dokunma gerilimleri güvenli bölgeden tehlike bölgesine doğru hareket eder. Bu çalışma da mevsimsel şartların tehlike etkisi yapmadan topraklama sistemini tasarlamayı amaçlar.

Topraklama ağı tasarımıyla ilgili literatürde birçok çalışma olmasına karşın, mevsimsel şartların etkileri üzerine çok az çalışma vardır. [163]'de topraklama sisteminin emniyetinde mevsimsel faktörlerin etkisi analiz edilmiştir. [164]'de don tutan toprak katmanının topraklama sistemi dizaynına etkisi incelenmiştir. [165]'de dağıtım sisteminin topraklama direncinde mevsimsel değişimler incelenmiştir.

Türkiye iklim koşullarının çok değişiklikler gösterdiği bir ülkedir. Aynı ay içerisinde hem don hem de yağmurun etkisini gösterdiği bölgeler olabilmektedir. Özellikle don olayının Türkiye' nin bazı bölgelerinde yıl içerisinde 90 günü geçtiği görülmektedir.

Günlük minimum sıcaklığın 0 ^{o}C'ye eşit ve daha düşük olduğu günler don olaylı gün olarak kabul edilmiştir. Kış mevsiminde Akdeniz, Ege ve Karadeniz kıyıları boyunca don olaylı gün sayısı ortalamaları 10 gün civarındadır.

Şekil 6.8'de 2008-2009 kış mevsimi Türkiye minimum sıcaklık haritası görülmektedir.

Şekil 6.8. Türkiye 2008-2009 Kış Mevsimi Minimum Sıcaklık Haritası

Şekil 6.8'de görüldüğü gibi [166] Türkiye'de kış mevsiminde don olayının görülmediği yerler çok azdır.

Marmara kıyıları, Ege bölgesinin kuzeyi ve iç batı Anadolu ve Güneydoğu Anadolu' nun batısında kış mevsiminde yaşanan donlu günler 20-50 gün arasında değişir. Trakya'da Edirne ve Kırklareli çevresinde artan karasallığa uygun olarak don olaylı gün sayısı 60 güne yaklaşır. Don olaylı gün sayıları yükseltinin 1000 m'nin üzerine çıktığı İç ve Doğu Anadolu' da belirgin bir artış gösterir. İç Anadolu'da ortalama yaklaşık 60-65 gün olan bu sayı, Çorum ve Kastamonu çevrelerinde 70-75 güne yükselir. Kayseri ve Sivas yöresi, ortalama yaklaşık 75-80 gün ile Türkiye'de don olayının en yüksek olduğu alanlardan biridir. Don olaylı gün sayıları, Doğu ve Kuzeydoğu Anadolu'da 90 günü geçebilmektedir [167]. Don olayının en fazla görüldüğü bölge olan Doğu Anadolu bölgesinde, aynı zamanda kuraklık ta vardır. Bu bölgede yağış da zaman zaman oldukça etkili olabilmektedir. Dolayısıyla toprağın özgül direnci bazen oldukça yüksek, bazen oldukça düşük olabilmektedir. Doğu Anadolu, İç Anadolu ve Güney Doğu Anadolu bölgelerinde don olayı, Akdeniz, Eğe ve Karadeniz'de de yağmur etkindir. Tüm bölgelerimizde de hem don olayı hem de yağmur görülmektedir.

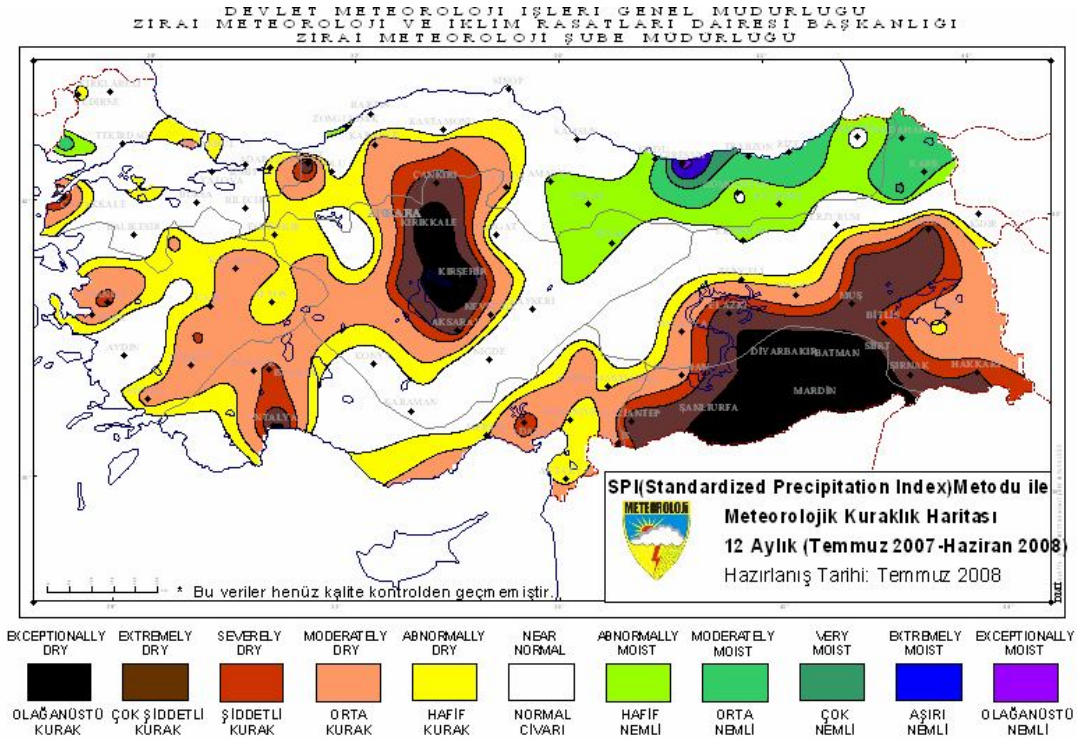
Don ve kuraklık transformatör merkezinin toprağının özdirencini önemli derecede yükseltirken, yağmurlu mevsim de toprak özdirencinin önemli derecede düşmesine neden olur.

Topraklama ağı tasarlanırken donma derinliğinin belirlenmesi de önemlidir. Toprak altındaki topraklama ağı don içerisinde kalırsa, özgül direnci birkaç bin ohm·m'ye kadar çıkabilir. Bu yüzden topraklama ağının kurulacağı bölgenin maksimum don derinliği

bilinmelidir. Bu maksimum don derinliğine en az 10 cm de iletkenlik tolere payı konularak minimum gömülme derinliği belirlenmelidir. Meteorolojik verilerden Türkiye'de, özellikle Kars, Erzurum, Ardahan, Ağrı, Sivas gibi yörelerde don derinliğinin 100 cm'yi bulduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle genel kaide olarak tesbit edilen 50 cm ağ derinliği [168] bu bölgelerde tehlikeli neticeler doğurabilir.

İklim koşullarımızın değişiklik göstermesi nedeniyle, transformatör merkezlerinin topraklama ağı tasarımında, bölgenin mevsimsel şartlarının da göz önünde bulundurulması zaruridir.

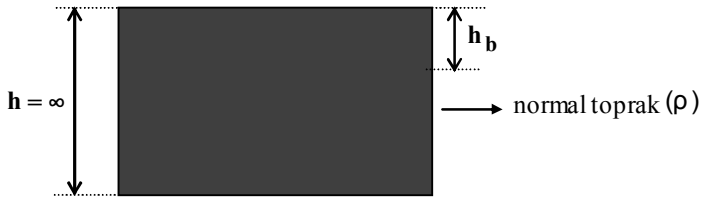
Şekil 6.9'da görüldüğü gibi [166], Türkiye'de olağanüstü kurak bölgeler olduğu gibi aşırı nemli bölgeler de vardır. Dolayısıyla bazı bölgelerde topraklama direnci oldukça yüksek olacak, bazı bölgelerde de oldukça düşük olacaktır. Bu nedenle transformatör merkezinin kurulacağı yerin kuraklık, don ve yağmur analizi yapılarak topraklama ağının tasarlanması gerekir.



Şekil 6.9. Türkiye'nin 12 Aylık Meteorolojik Kuraklık Haritası

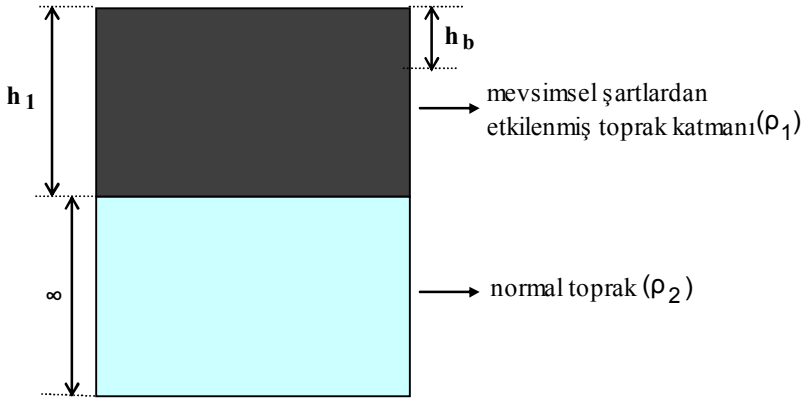
6.3.2. Topraklama Sisteminin Mevsimsel Analizinde Yeni Modeller

Tezde, topraklama sisteminin analizi dört model kullanılarak ve yeni yaklaşımlar ortaya konularak incelenmiştir. Model 1'de topraklama sisteminin yüzeyinde yüksek özdirençli bir malzeme (çakıl, granit vs.) kullanılmamış olup mevsimsel faktörlerin etkisinin düşünülmediği tek katmanlı uniform toprak modeli söz konusudur.



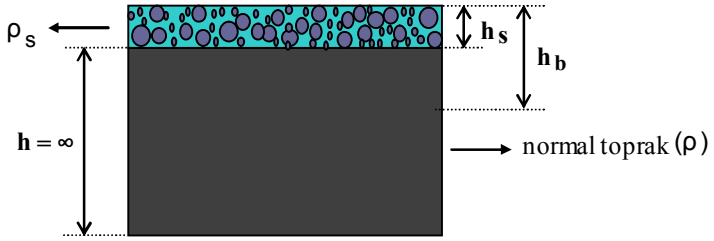
Şekil 6.10. Model 1 Topraklama Sistemi

Model 2'de yine topraklama sisteminin yüzeyinde yüksek özdirençli bir malzeme kullanılmamıştır. Toprak katmanının belli bir derinliği (h_1) mevsimsel şartlardan etkilenmiştir. Böylece toprak modeli, iki katmanlı toprak modeli halini almıştır. Mevsimsel şartlardan etkilenmiş h_1 kalınlığında toprak katmanı ve bunun altında mevsimsel şartlardan etkilenmemiş normal toprak katmanı vardır.



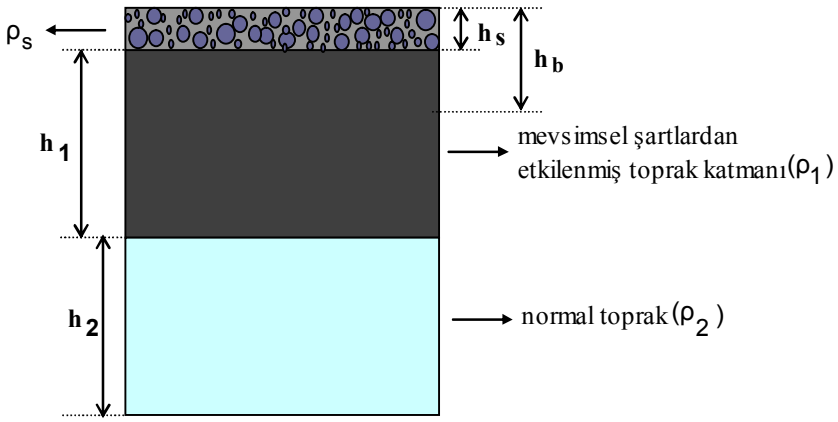
Şekil 6.11. Model 2 Topraklama Sistemi

Model 3'de topraklama sisteminin yüzeyinde yüksek özdirençli bir malzeme kullanılmıştır, ancak mevsimsel faktörlerin etkisi göz önüne alınmamıştır. Yüzey tabakasında yüksek özdirençli malzeme kullanılan tek katmanlı uniform toprak modeli söz konusudur.



Şekil 6.12. Model 3 Topraklama Sistemi

Model 4'de yüzeyde yüksek özdirençli malzeme kullanılmıştır. Mevsimsel şartlardan etkilenmiş h_1 kalınlığındaki toprak katmanı vardır. Topraklama ağının serildiği h_1 kalınlığındaki toprak katmanının altında mevsimsel şartlardan etkilenmemiş normal toprak katmanı vardır.



Şekil 6.13. Model 4 Topraklama Sistemi

6.3.3. Mevsimsel Faktörler Nedeniyle Oluşan Değişimler

Mevsimsel faktörlerin etkisiyle toprak modeli değiştiği gibi, toprak özdirençleri de değişmektedir. Ayrıca müsaade edilebilir maksimum dokunma ve adım gerilimleri hesabında kullanılan C_s'nin hesabı da toprak modeli değiştiği için farklı olmaktadır. Bu bölümde, mevsimsel faktörlerin etkisiyle değişen toprak modeli sonucunda, toprak özdirencindeki değişimler, müsaade edilebilir maksimum dokunma ve adım gerilimlerinin hesabında kullanılan C_s'nin hesaplanmasındaki değişiklikler gösterilecektir.

6.3.3.1. Toprak Özdirencindeki Değişimler

Yağmur, don yada kurak olmayan zamanda ölçülen, yani mevsimsel faktörlerin etkisinin göz önüne alınmadığı toprağın özdirenci normal toprak olarak adlandırıp, özdirencini 50 Ω·m kabul edelim.

Yağmurlu mevsimde, ıslak bir yüzey toprak katmanı vardır. Bu mevsimde, yüzey tabakasında özdirenci yüksek bir malzeme kullanılmışsa hem bunun özdirenci, hem de yağmurun etkisine bağlı olarak bunun altındaki h kalınlığındaki toprağın özdirenci düşer.

Donlu mevsimde, özdirenci artan don tutmuş bir toprak katmanı vardır. Bu mevsimde, yüzey tabakasında özdirenci yüksek bir malzeme kullanılmışsa hem bunun özdirenci, hem de donun etkisine bağlı olarak bunun altındaki don tutmuş h kalınlığındaki toprağın özdirenci artar. Küçük çakıla benzer granitin ıslak durumda özdirenci 3000 Ω·m olarak ifade edilmiş, normalde, kurakta ve don tuttuğunda da 5500 Ω·m olduğu varsayılmıştır. Tablo 6.2'de örnek olarak normal ve mevsimsel faktörlerden etkilenmiş toprak katmanlarının özdirençleri gösterilmiştir.

Tablo 6.2. Normal ve Mevsimsel Etkili Toprak Katmanlarının Özdirençleri

Mevsimsel Şart	Toprak Özdirenci				Yüzey Malzemesi Özdirenci (ρ_s)
	Mevsimsel Etkili Toprak Katmanı(ρ_1)		Normal Toprak(ρ)		Model-3 ve Model-4
	Model-2	Model-4	Model-1	Model-3	
Normal	yok	yok	50 Ω·m	110 Ω·m	5500 Ω·m
Yağmurlu Mevsim	10 ~ 50 Ω·m	30 ~ 110 Ω·m	50 Ω·m	110 Ω·m	3000 Ω·m
Donlu Mevsim	50 ~ 1500 Ω·m	110 ~ 3000 Ω·m	50 Ω·m	110 Ω·m	5500 Ω·m
Kurak Mevsim	50 ~ 1000 Ω·m	110 ~ 2000 Ω·m	50 Ω·m	110 Ω·m	5500 Ω·m

6.3.3.2. Yüzey Tabakası Düzeltme Katsayısının Hesabındaki Değişimler

Topraklama sisteminin mevsimsel analizinde, toprağın mevsimsel faktörlerden etkilenmiş tabakasının olup olmamasına göre toprak modeli seçimi yaklaşımı yapılmıştır. Mevsimsel faktörlerden etkilenmemiş normal homojen bir toprakta, mevsimsel faktörlerin etkisiyle özdirenci farklı bir toprak katmanı oluşur.

Uniform toprak modelinde özdirenci yüksek yüzey malzemesi kullanılmamışsa C_s=1, ρ_s=ρ'dur. Mevsimsel şartlardan etkilenmiş toprak katmanı yoksa, toprak homojendir ve analizde uniform toprak modelinin kullanılması önerilmiştir. Mevsimsel şartlardan etkilenmiş toprak katmanı varsa, toprak artık homojen değildir, hem mevsimsel şartlardan etkilenen toprak katmanı hem de etkilenmeyen normal toprak vardır. Bu durumda, analizde iki katmanlı toprak modelinin kullanılması önerilmiştir.

Tablo 6.3. Analiz Modeline Göre Toprak Modellerinin ve C_s, ρ_s Tespiti

Analiz Modeli	**Toprak Modeli**	**C_s**	**ρ_s**
Model 1	Uniform	1	ρ
Model 2	İki Katmanlı	$1-0.09\cdot\left[\frac{1-\frac{\rho_2}{\rho_1}}{2h_1+0.09}\right]$	ρ_1
Model 3	Uniform	$1-0.09\cdot\left[\frac{1-\frac{\rho}{\rho_s}}{2h_s+0.09}\right]$	ρ_s
Model 4	İki Katmanlı	$1-0.09\cdot\left[\frac{1-\frac{\rho_1}{\rho_s}}{2h_s+0.09}\right]$	ρ_s

Tablo 6.3'deki değerler, müsaade edilebilir maksimum dokunma ve adım gerilimlerinin hesabındaki yerlerine yazılarak hesaplamalar yapılır. Tablo 6.3'deki C_s ve ρ_s için belirtilen hesaplamalar [169]'da gösterilmiştir. Ayrıca [36, 170, 171]'de de C_s hesabı için farklı formüller sunulmuş ve bunların karşılaştırması yapılmıştır.

GPR hesabında kullanılan topraklama direnci $R_{t\ bir\ veya\ iki}$, mevsimsel faktörlere göre hesaplanır. Örneğin, mevsimsel faktörlerin etkisi dikkate alınmadığında uniform toprak modeli yani $R_{t_{bir}}$ hesaplanırken, mevsimsel faktörlerin etkisi dikkate alındığında $R_{t_{iki}}$ hesaplanmalıdır. Yani toprak modeli, artık iki katmanlı hale gelmiştir.

[172]'de yapılan bir uygulamada uniform toprak modeli için 2.16 Ω olarak hesaplanan topraklama direnci, kış mevsimi analizinde 3.55 Ω'a yükselmiş ve ilkbahar mevsiminde de 3.35 Ω olarak hesaplanmıştır.

6.4. Korozyon

Topraklama ağlarının tasarımında, topraklama malzemeleri seçilirken korozyona da dikkat etmek gerekmektedir. Uygun seçilmeyen malzemeler pil olayına neden olabilir. Pil olayında elektron kaybeden metal zamanla zayıflar ve dolayısıyla ömrü kısalır. Bu nedenle, pil olayı oluşturabilecek malzemelerin birlikte kullanılmaması gerekmektedir. Farklı malzemelerle yapılmış olan topraklama sistemlerinin birbirleriyle bağlanması durumunda ağır korozyon problemleri ortaya çıkabilir.

Topraklama iletkenlerinin seçiminde, iletkenlerin tek başlarına korozyon dayanıklılığı da önemlidir. Uzun yıllar için tesis edilen trafo merkezinde, topraklama iletkenlerinin toprak altında zamanla korozyona uğramaları nedeniyle, üstlendiği görevlerini yerine getirmesinde sorun teşkil edebilir. Bu nedenlerle topraklama iletkenleri ve malzemelerin hem tek başlarına hem de birbirleriyle birlikte kullanılırken en az korozyona uğrayacak şekilde seçilmesi ya da korozyondan korunma metodlarının kullanılması zorunludur. Aynı şekilde, seçilen topraklama iletkenlerinin kesitlerinin de uygun olması, kısa devre akımlarını taşıyabilmesi gerekmektedir.

Toprak özgül direncinin yüksek olduğu trafo merkezi alanlarında özgül direnci düşürebilmek için kullanılan, deniz tuzu, sodyum karbonat, kömür, odun tozu veya kimyasal çözeltilerin de korozyona sebebiyet vermeyecek şekilde seçilmesi ve kullanılması gerekmektedir. Toprak özdirencini iyileştirici olarak kullanılacak malzemelerin uygun seçilmemesi, topraklama ağının yaşlanmasını hızlandıracaktır.

6.5. Ağ İndüktansı

İletim merkezi topraklama ağlarının tasarımında, ağın indüktansının da hesaba katılması, darbe empedansını ve dolayısıyla topraklama ağını oluşturan iletkenlerden akan yıldırım akımlarını kontrol eder. Topraklama ağının indüktansı, yıldırım darbe akımlarının toprağa

akması durumunda, ağın buna karşı davranışının belirlenmesinde önemlidir. Topraklama ağının indüktansı, darbe empedansını kontrol eder.

6.5.1. Topraklama Ağının İndüktansı

Topraklama ağının indüktansı, yıldırım darbe akımlarının ve büyük kısa devre akımlarının toprağa akması durumunda, ağın buna karşı davranışının belirlenmesinde önemlidir. Topraklama ağının indüktansı, darbe empedansını kontrol eder.

6.5.1.1. Ağ İndüktansının Hesabında Varsayımlar

Topraklama ağının indüktansının hesaplanması için başlıca varsayımlar aşağıdaki gibidir:

1-Elektromanyetik alan, iletkenin çevresinde akımın en yoğunlaştığı yerde en yüksektir. Bu yüzden indüktans, ağı oluşturan iletkenlerde akım dağılımı ile verilir. Topraktaki akımın etkisi ihmal edilir.

2-Toprak kaçak akımı ihmal edilir. Besleme noktasından giren tüm akımlar, ağ üzerindeki farklı uzak noktalarda toplanırlar.

3-Ağı oluşturan iletkenlerin yarıçapındaki değişim, alan içindeki iletkenin boyutunun belli aralığı için ağın indüktansı üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahiptir.

İkinci yaklaşımın, toprağa akan kaçak akımın ihmal edildiğinde indüktansın en büyük değerini vermeye yönelmesinin aksine, birinci yaklaşım topraktaki akımın etkisini ihmal ettiği için indüktansın en düşük değerini vermeye yönelmektedir. Bu iki yaklaşımın neden olduğu hatalar, bir dereceye kadar birbirini yok eder. Varsayımlara dayanarak iki sınır göz önünde bulundurulur:

1-Akımın besleme noktası, ağın merkezinde ve toplanma noktaları, ağın dört köşesindedir.

2-Akımın besleme noktası, ağın köşelerinin birinde ve toplanma noktası karşı çapraz köşesindedir.

Gerçekte topraklama ağlarında akım, yerleşim, tasarım ve bağlantılarla ilgili olarak herhangi bir noktadan girebilir. Bu düşüncenin amacı, yukarıdaki iki sınır durumu pratiksel olarak temsil edebilmektir. Besleme noktası bu iki durumdan farklı ise, indüktansın değeri yukarıdaki iki durum için iki sınır değer arasındadır. Bu iki durum topraklama ağlarının darbe

empedansının sınır değerlerini de verir. Diğer herhangi bir besleme noktası için darbe empedansı, bu iki sınır değeri arasında olacaktır [173].

6.5.1.2. Bir İletkenin Özindüktansı

Doğrusal bir iletkenin özindüktansı, denklem (6.11) ile hesaplanır [173].

$$L_{öz} = 0.2 \cdot \ell \cdot \left([\ln(\frac{2\ell}{a})] - 1 \right) \quad \mu H \tag{6.11}$$

ℓ iletken uzunluğu (m),a iletken yarıçapı (m) ve (ℓ >>a)'dır.

6.5.1.3. Ağ İndüktansının Hesabı

Topraklama ağlarının indüktansı, denklem (6.12) ile verilen ampirik formül ile hesaplanır [174, 175].

$$L_s = L_{öz} \cdot X^{0.16} \cdot D_{indük\tan s} \tag{6.12}$$

Burada, $L_{öz}$ iletkenin özindüktansı (μH), X ağın uzunluk/genişlik oranı, $D_{indüktans}$ akımın besleme noktası ve ağdaki göz sayısına bağlı amprik bir katsayıdır. $D_{indüktans}$ katsayısına ait değerler Tablo 6. 4'de verilmiştir.

Tablo 6.4. Ağ İndüktansı Hesabı İçin $D_{indüktans}$ Katsayısı Değerleri

Göz Sayısı	Merkezden Besleme İçin	Köşeden Besleme İçin
8	0.4690	2.8070
24	0.6232	4.4720
32	0.7952	5.3696
60	0.9595	6.9021
72	1.0988	7.6649

Topraklama ağının indüktansı, ağın karesel göz boyutuna (ℓ) dolayısıyla göz sayısına, kullanılan iletkenin kesitine dolayısıyla yarıçapına (a), ağın kare ya da dikdörtgen şekilli olmasına (X) ve besleme noktasına ($D_{indüktans}$) bağlıdır.

Yıldırım akımı, topraklama sistemi ile toprağa aktarılması durumunda topraklama elektrotlarının üzerinde kapasite ihmal edildiğinde;

$$V_t = R \cdot I + L_s \cdot \frac{dI}{dt} \tag{6.13}$$

gerilimi oluşacaktır. Yıldırımın deşarjı sırasında toprakta oluşacak yüksek potansiyel gradyanları, ağın indüktansına da bağlıdır. Dolayısıyla darbe empedansıyla da direkt ilişkilidir.

Tablo 6.4 ve Denklem (6.12)'den anlaşıldığı gibi, köşeden besleme durumunda, ağ indüktansı, merkezden besleme durumuna göre daha büyük olacaktır. Denklem (6.11) ve Denklem (6.12)'den anlaşıldığı gibi, ağın göz boyutuyla, indüktansı doğru orantılıdır. Göz boyutunun artması yani göz sayısının azalmasıyla ağ indüktansı da artacaktır. Ağ indüktansının azaltılması için göz sayısının artırılması yani daha fazla uzunlukta iletken kullanılması gerekmektedir. Denklem (6.12)'den anlaşıldığı gibi, ağın kare şekilli olması durumunda X=1 olacağından, dikdörtgen şekilli olması durumuna göre kıyaslandığında indüktansı daha az olacaktır.

Ağ indüktansının minimum olması için, besleme noktasının ağın merkezinde olması ve ağın geometrik şeklinin kare şeklinde olması avantajlı olacaktır. Ayrıca göz sayısının artırılmasıyla dolayısıyla daha fazla iletken kullanılmasıyla da, ağ indüktansı düşürülebilinecektir.

6.6. Darbe Empedansı

Topraklama ağlarının tasarımında, ağın yıldırım darbelerine karşı davranışını belirleyen faktörlerden olan darbe empedansının da dikkate alınması gerekmektedir. Yıldırım nedeniyle topraklama sistemi iletkenlerinde akan darbe akımları, topraklama sisteminin farklı noktaları arasında geçici potansiyel farklılıkları ortaya çıkarır. Buna bağlı olarak da, tehlikeli gerilim yükselmeleri oluşabilir. Topraklama sistemi, maruz kalınan darbe akımını elektriksel teçhizatlar ve canlılar için tehlikeli gerilimler oluşturmadan güvenli bir şekilde toprağa akıtmalıdır. Bu amaçla bu tezde, yüksek gerilimli trafo merkezlerinde topraklayıcı olarak kullanılan topraklama ağlarının darbe empedansının da ağ tasarımına dahil edilmesi gerektiği ifade edilmiştir.

Bir topraklama sisteminin darbe empedansı, akımın topraklama ağına girdiği noktada oluşturduğu potansiyelin tepe değerinin, darbe akımının tepe değerine oranı olarak tanımlanır. Darbe empedansının şebeke frekansındaki topraklama direncine oranı ise darbe katsayısı (A)'dır.

Yıldırım akımının toprağa aktığı yol boyunca karşılaştığı dirence darbe direnci veya bu yolun omik direnci, endüktansı, kapasitesi ve frekans etkisi olduğundan darbe empedansı adı verilir. Bu direnç, yıldırım akımının toprağa aktığı yol üzerinde olduğundan darbe topraklama direnci veya darbe topraklama empedansı olarak da adlandırılır [176]. Yıldırım akımının toprağa güvenle iletilebilmesi için darbe empedansının mümkün olduğu kadar küçük olması gerekmektedir.

Topraklama ağlarının darbe empedansının hesabı için deneysel çalışmalara dayanan ampirik formüller kullanılmaktadır. Bu ampirik formüllerin; darbe empedansının; ağ indüktansı, direnci ve yıldırım akımı cephe süresi ele alınarak hesaplandığını gösteren formüllerle uyumlu olduğu [177]'de gösterilmiştir. Topraklama ağlarında etkin yarıçap (r_e) ve darbe katsayısı (A) şu amprik formüller ile hesaplanır [178, 179]:

$$r_e = K \cdot \frac{(\rho \cdot T)^{0.5}}{X^c} \tag{6.14}$$

Burada; ortadan besleme için; K=(1.45-0.05·s) ve c=0.029 (6.15)

Köşeden besleme için; K=(0.6-0.025·s) ve c=0.08 (6.16)

Kare topraklama ağlarında, (3) denklemindeki X^c, 1'e eşittir. X, uzunluk/genişliktir.

$$r \le r_e \rightarrow A = e^{0.333 \cdot \left(\frac{r}{r_e}\right)^{2.3}} \tag{6.17}$$

Bu durumda darbe empedansı; Z_d=A·R ve $R = \frac{\rho}{4r}$ (6.18)

Topraklama ağının şebeke frekans direncinin, levhanın topraklama direncine eşit olduğu kabul edilmiştir.

$$r > r_e \rightarrow R = \frac{\rho}{4r_e} \rightarrow A = e^{0.333} = 1.395 \text{ ve } Z_d = A \cdot R \tag{6.19}$$

T: Dalga cephe süresi (μsn), r: Ağın kapladığı alana eşdeğer alanlı dairesel levhanın yarıçapı (m), r_e: Ağın etkin alanına eşdeğer alanlı dairesel levhanın yarıçapı (m), ρ: Toprak özdirenci (ohm.m), s: göz boyutudur (m). s, kareseldir, örneğin 4x4 boyutlu göz için s=4 alınır.

Hem darbe empedansı hem de ağ indüktansı, aynı zamanda, ağın optimum geometrik şeklini ve besleme noktasını belirlemede de önemlidir.

Farklı darbe girişleri durumlarında darbe empedansının hesaplanışının gösterildiği çalışmada [180] darbe empedansının ağ indüktansına bağlı olduğu ve ağ indüktansının da ağın geometrik şekline ve göz sayısına bağlı olduğu gösterilmiştir.

6.7. Maliyet

Mühendisliğin temel ilkelerinden biri de teknik problemleri en ekonomik şekilde çözmektir. Son yıllarda tüm dünyada bakır fiyatları hızlı ve sürekli olarak yükselmektedir. Topraklama ağlarını oluşturan topraklama iletkenleri ve çubuklarının fiyatları oldukça yüksektir. Dünya Metal Borsasında bakır iletkenlerin fiyatları hızlı ve spekülatif olarak değişmekte ve sürekli yükselmektedir. Bu nedenle, topraklama ağı tasarımında mühendislik yaklaşımıyla minimum maliyet te hedeflenmelidir. Maliyet hesabına, topraklama ağını oluşturan

iletkenlerin toprak altına serilmesi sırasında ortaya çıkacak olan hafriyat maliyeti de eklenmelidir. Zira toprağın hafriyatı işi de oldukça masraflı bir iştir. Hele bir de kötü arazi ve toprak şartlarında, özellikle kayalık alanda, hafriyat oldukça yüksek maliyetler ortaya çıkarmaktadır. Bu yüzden iletkenlerin geçeceği yerlerin hafriyat hesabı da maliyet hesabına dahil edilmeli ve minimum hafriyat maliyeti için, emniyet şartlarını ve yukarda bahsedilen diğer önemli şartları sağlayan en az uzunlukta iletken serilmesi amaçlanmalıdır. Aksi takdirde, ülke ekonomisinden milyarlarca lira, toprak altına gömülmüş olunacaktır.

7. FARKLI BAŞLANGIÇ POPÜLASYONLU GA VE DGA İLE TOPRAKLAMA AĞI TASARIMI UYGULAMALARI

7.1. Giriş

Elektrik sistem tasarımcıları, en az maliyetle en güvenli elektrik enerjisini sağlamak durumundadır. Trafo merkezlerinin tasarımındaki en önemli iki etken, işletmedeki en üst güvenlik ve ilk yatırımın düşüklüğüdür. Sistemlerdeki tüm merkezlerde en üst güvenliği sağlamak için, teçhizatların çifter çifter konması ya da topraklama konusunda on binlerce metrelik iletkenin toprağa serilmesi ekonomik yönden nasıl kabul edilemezse, ilk yatırımın en düşük olması için güvenlik koşullarının göz ardı edilmesi de düşünülemez.

Optimum topraklama ağı tasarımında aşağıdaki yaklaşımlar temel alınmıştır.

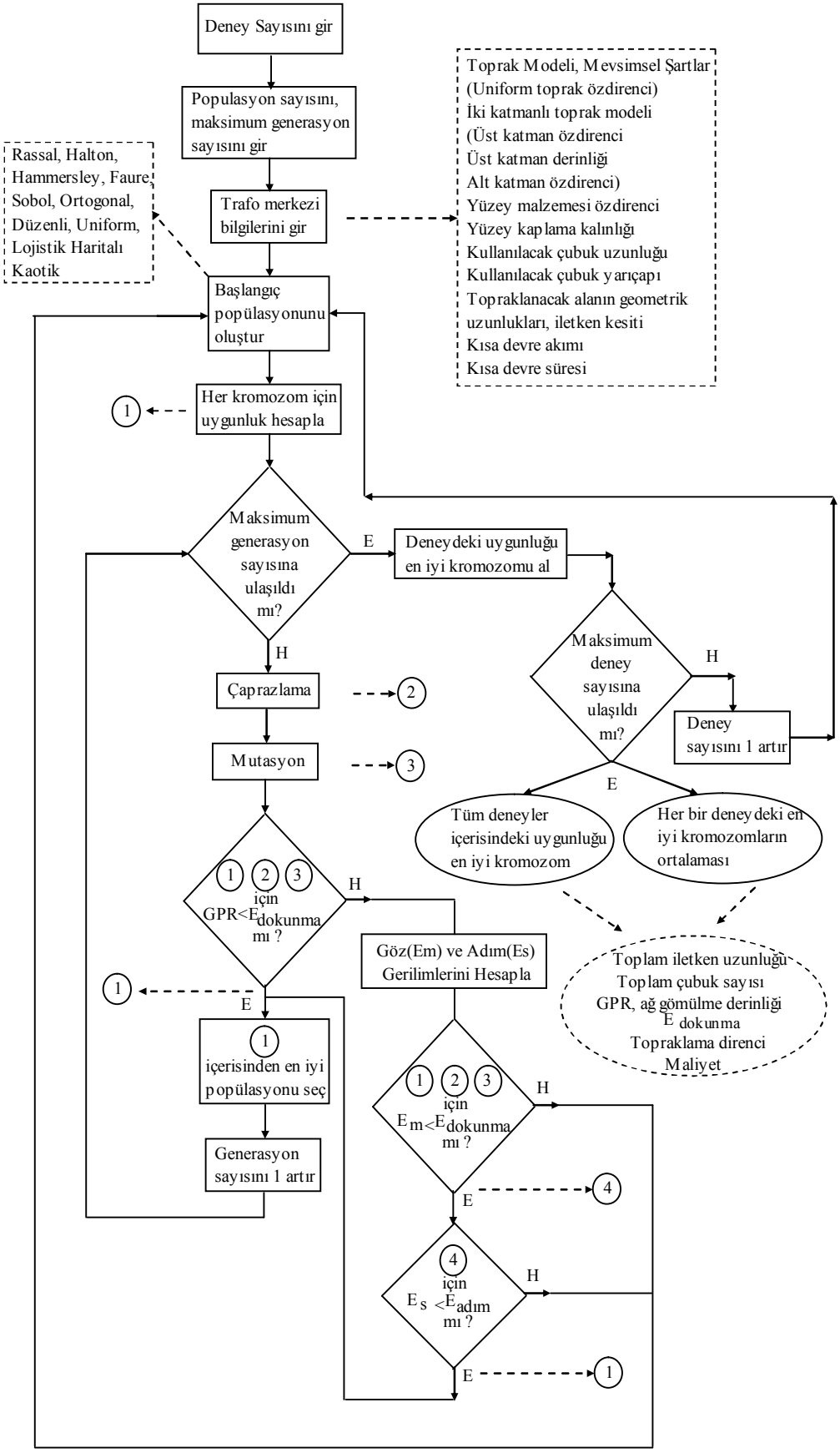
1-Emniyetli bir topraklama ağı tasarlamak için $GPR<E_{dokunma}$ şartının sağlanması,

2-Minimum maliyet.

Bu iki durumun aynı anda gerçekleşmesi hedefi için, GPR'yi mümkün olduğunca $E_{dokunma}$ değerine yaklaştıracak, ancak ondan küçük yapacak toplam iletken uzunluğu, toplam çubuk sayısı ve ağ gömülme derinliği hesaplanacaktır. Hesaplamalarda toprak modeli, mevsimsel şartlar, korozyon, darbe empedansı, ağ indüktansı gibi faktörler de dikkate alınacak ve bu faktörlerin önceden analiziyle tasarım yapılacaktır.

7.2. Sezgisel Algoritmaların IEEE Std.80-2000'e Dayalı Topraklama Ağı Tasarımına Uyarlanması

Topraklama sisteminin analizinde, IEEE Std. 80-2000'de Şekil 7.1'deki, sezgisel algoritmalar ile uyarlı blok diyagramı verilen dizayn prosedürü kullanılmıştır. Bu dizayn prosedürünün uygulamalarında, algoritmanın ilk adımında yer alan başlangıç popülasyonu üretiminde farklı yöntemler kullanarak, bu başlangıç popülasyonlarının performansı da belirlenmiştir. Böylece bir yandan optimum topraklama ağı tasarımı yapılırken, diğer yandan kullanılan başlangıç popülasyonları içerisinden bu problem için en iyi performansa sahip olanı belirlenmiştir. Ayrıca çeşitli uygulamalarla da topraklama sistemi analizi ve topraklama ağı tasarımı yapılarak, sezgisel yöntemlerin gerekliliği ve her türlü optimizasyon problemine kolayca uygulanabileceği gösterilmiştir.



Şekil 7.1. GA'nın IEEE Std.80-2000'e Dayalı Topraklama Ağı Tasarımına Uyarlanması

7.2.1. Algoritmanın Temel Adımları

Adım 1. Deney sayısını, maksimum generasyon sayısını ve populasyon sayısını gir (N).

Adım 2. Trafo merkezi bilgilerini gir.

Mevsimsel şartlara ya da toprak özdirenci ölçümlerine göre toprak modelini belirle.

Girişler: Uniform toprak özdirenci ya da üst katman toprak özdirenci, üst katman kalınlığı, alt katman özdirenci ve yüzey tabakası özdirenci, yüzey tabakası kalınlığı, çubuk uzunluğu, çubuk çapı, ağ boyutları, kısa devre akımı, kısa devre süresi, topraklama iletkeni kesiti.

Adım 3. Başlangıç populasyonu için N sayıda (metodlara göre) kromozom üret. Her bir kromozom 4 genden oluşuyor.

Çıkışlar: Toplam çubuk sayısı, satır sayısı, sütun sayısı, ağ gömülme derinliği.

Adım 4. Her bir kromozom için uygunluk hesapla.

Adım 5. Maksimum generasyon sayısına ulaşıldıysa deneydeki uygunluğu en iyi olan kromozomu belirle ve sakla. Maksimum generasyon sayısına ulaşılmış, ancak maksimum deney sayısına ulaşılmadıysa deney sayısını 1 artır ve Adım 3'e giderek sonraki deneye başla. Maksimum generasyon sayısına ulaşılmadıysa adım 6'ya geç. Hem maksimum generasyon sayısına hem de maksimum deney sayısına ulaşılmışsa Adım 11'e git.

Adım 6. N sayıdaki kromozomları ikili gruplara ayır ve çaprazlama yap.

Adım 7. N sayıdaki kromozomlara mutasyon işlemini uygula.

Adım 8. GPR<$E_{dokunma}$ şartını sağlayan N sayıdaki kromozom, N sayıdaki çaprazlama neticesi elde edilen kromozom ve N sayıdaki mutasyon neticesi elde edilen kromozomlar arasından en iyi N sayıdaki kromozomu sonraki generasyon için seç.

Adım 9. Generasyon sayısını 1 artır ve Adım 5'e git.

Adım 10. GPR<$E_{dokunma}$ şartı sağlanmadığında, 3N sayıdaki kromozomun göz ve adım gerilimlerini hesapla. Hem $E_m < E_{dokunma}$ ve hem de $E_s < E_{dokunma}$ ise 3N sayıdaki kromozom arasından en iyi N sayıdaki kromozomu seç ve Adım 9'a git. $E_m \geq E_{dokunma}$ ya da $E_s \geq E_{dokunma}$ ise Adım 3'e git.

Adım11. Tüm deneyler içerisindeki en iyi kromozomu belirle ve her bir deneyin en iyi kromozomunun ortalamasını hesapla.

7.2.2. Çaprazlama ve Mutasyon

Tasarım algoritmasında kullanılan çaprazlama yönteminde, örneğin popülasyon sayısı 10 seçilmişse 1-10, 2-9, 3-8, 4-7, 5-6 kromozomları arasında çaprazlama yapılır. 1-10 demek,

uygunluk sıralamasında en iyi 1. komozomla 10. kromozomun kendi genleri arasında çaprazlama yapılması demektir. Yani uygunluğu en iyi olan kromozomun örneğin gömülme derinliği geniyle 10. kromozomun gömülme derinliği geni kendi arasında çaprazlamaya uğratılır. Tek noktalı çaprazlama metodu uygulanmıştır.

Tüm kromozomlar, çaprazlamaya uğratıldıktan sonra, yine tüm kromozomlar ikilik sayı tabanına çevrilerek mutasyona uğratılır. Mutasyon işleminde de her bir kromozomun her bir geninin 1 biti 1'den 0'a 0'dan 1'e değiştirilmiştir. Mutasyon biti her seferinde rasgele belirlenmektedir.

7.2.3. Maliyet Fonksiyonu

Yüksek gerilimli trafo merkezlerinin kapladığı alan çok büyüktür. Trafo merkezi alanının toprağının altına iletkenlerin serilmesi işi, hafriyat işi olarak bilinir. Hafriyat işi de bir maliyettir. Bu çalışmada h_b derinliğinde gömülecek olan iletkenler için 0.75 m genişliğinde hafriyat yapılması uygun görülmüştür. Yani $(0.75 \cdot h_b \cdot L_c)$ m^3 kadar bir hafriyat gerekmektedir. Hafriyat piyasasında 1 m^3'lük bir alanın hafriyatı ortalama 5 TL'dir. Dolayısıyla hafriyat maliyeti,

$$C_{hafriyat} = [(W \cdot h_b \cdot (lin+1) \cdot 0.75) + (L \cdot h_b \cdot (col+1) \cdot 0.75)] \cdot 5 \quad (7.1)$$

ile hesaplanır. Burada; L : Topraklama ağının x doğrultusu uzunluğu (m), W : Topraklama ağının y doğrultusu uzunluğu (m)'dur. Denklem (7.1) ile hesaplanacak hafriyat maliyeti, maliyet fonksiyonuna dahil edilecektir. Maliyet fonksiyonu da uygunluk fonksiyonuna dahil edilecektir. Maliyet fonksiyonu,

$$C = (C_{iletken} \cdot L_C) + (C_{çubuk} \cdot n_r) + C_{hafriyat} \quad (7.2)$$

ile hesaplanır. [135]'e göre, en düşük iletken kesiti 120 mm^2 alınmıştır ve bu kesitteki 1 m bakır iletkenin fiyatı ($C_{iletken}$) 25 TL, 1.5 m boyundaki çelik kaplı bakır topraklama çubuğunun fiyatı($C_{çubuk}$) 75 TL alınmıştır.

7.3. Sezgisel Algoritmalar İle Topraklama Ağı Tasarımı Uygulamaları

Bu bölümde, GA'da farklı başlangıç popülasyonları ve DGA kullanarak transformatör merkezi topraklama ağı tasarımı üzerine uygulamalar yer almaktadır.

7.3.1. Mevsimsel Faktörlerin Etkisi Üzerine Uygulama

Topraklama ağının yılın belli dönemlerinde ya da belli mevsimlerinde değil, her döneminde kendisinden beklenen görevlerini ifa etmesi gerektiği daha önce ifade edilmişti. Bunun için de, bu bölümde toprağın özdirencinin, normalinden oldukça fazla değiştiği don, kuraklık ve nem olayının, topraklama ağı tasarımında dikkate alınmasının zaruret arz ettiği gösterilecektir. Bu amaç için kullanılan GA ve DGA'nın temel taşı olan uygunluk fonksiyonu,

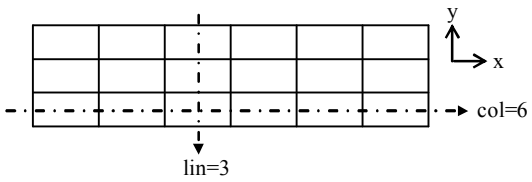
$$F=C+ [P\cdot(GPR-E_{dokunma})] \tag{7.3}$$

olur. Burada; P, penaltı fonksiyonudur. Gerek mevsimsel etkili gerekse mevsimsel etkisiz topraklama ağı tasarımlarında amaç, hem minimum maliyet hem de emniyet şartının sağlanmasıdır. Denklem (7.4)'de gösterilen penaltı fonksiyonuyla, bu amaçlara ulaşılmaya çalışılmıştır.

$$\begin{Bmatrix} P = C \rightarrow & GPR \geq E_{dokunma} \\ P = 1 \rightarrow & GPR < E_{dokunma} \end{Bmatrix} \tag{7.4}$$

Topraklama ağı tasarımlarında uygunluğun minimizasyonu amaçlanmaktadır. $GPR<E_{dokunma}$ olduğunda uygunluk fonksiyonu, emniyet şartını sağlamış olduğundan maliyet ağırlıklı ilerleyecektir. $GPR \geq E_{dokunma}$ olduğunda da uygunluk fonksiyonu değeri büyüyeceğinden çözümden uzaklaşılacaktır.

Topraklama ağı tasarımlarında, ağın satır ve sütunlardan oluştuğu yaklaşımı yapılmıştır. Bu yaklaşımın anlamı, topraklama ağı döşenecek alan x ve y doğrultusundan oluşmuş bir alan olarak kabul edildiğinde, x doğrultusunda ve y doğrultusunda toprak altına serilecek iletken sayılarını ve dolayısıyla toplam iletken uzunluğunu belirlemektir.



Şekil 7.2. 3 satırlı 6 sütunlu topraklama ağı yaklaşımı

Böylelikle ağ tasarımı için,

- çubuk sayısı, x doğrultusundaki 1 satırdaki göz sayısı, y doğrultusundaki 1 sütundaki göz sayısı, ağ gömülme derinliğinin (uniform toprak modelinde)

optimizasyonu yapılmıştır. Topraklama ağının tek bir gözünün boyutları sırasıyla,

$$\Delta l_x = \frac{L}{col} \tag{7.5}$$

$$\Delta l_y = \frac{W}{lin} \tag{7.6}$$

olur. Burada; col, x doğrultusundaki bir satırdaki göz sayısı yani sütun sayısıdır. lin, y doğrultusundaki bir sütundaki göz sayısı yani satır sayısıdır. Buna göre topraklama ağında kullanılacak toplam iletken uzunluğu da,

$$L_C = W \cdot (col+1) + L \cdot (lin+1) \tag{7.7}$$

olur. Ayrıca tasarım uygulamalarında; maksimum ağ akımının hesabı için kullanılan D_f : 1 ve S_f: 0.1 olarak alınmıştır.

7.3.1.1. Model-1 Uygulaması

Mevsimsel faktörlerin etkisinin düşünülmediği ve yüzey kaplama malzemesinin kullanılmadığı model-1 uygulama örneği simulasyon girişleri Tablo 7.1'de ve sezgisel algoritma uygulaması tasarım sonuçları Tablo 7.2 (a), (b) ve Şekil 7.3'deki gibidir. GA ve DGA, ağın x ve y doğrultusundaki göz sayılarını, gömülme derinliğini ve çubuk sayısını optimize eder. Optimizasyon, minimum maliyet ve $GPR<E_{dokunma}$ emniyet şartını sağlamayı esas alır. Uygunluk değerini minimize etmeyi amaçlar.

Matlab'ta farklı başlangıç popülasyonlarının kullanıldığı GA ve DGA'ya göre yazılan programlarda, hem emniyet şartının sağlanması hem de minimum maliyet stratejisi izlenmiştir. En düşük maliyeti verecek ve emniyeti sağlayacak ağ parametrelerinin bulunması amaçlanmıştır. Tablo 7.2. (a) ve (b)'de elde edilen sonuçlar, 100 deney sayısıyla bulunmuştur. Yani her bir başlangıç popülasyonu yönteminde generasyon sayısı 20 iken, program kendi içerisinde 20 kez değil 20·100=2000 iterasyon çalışmıştır. Her bir deneyin sonuçları, yani 20 iterasyon neticesinde elde edilen değerler, program içerisinde kaydedilmiş ve yüzüncü deneyden sonra deneyler içerisinden uygunluğu en iyi olanı ve deneylerin ortalamaları Tablo 7.2'de ve her bir deneydeki uygunluk ortalaması ile GPR ortalamaları Şekil 7.3'de gösterilmiştir. Ayrıca emniyet şartını sağlayamayan deney sayısı, deneyleri içerisinden kendi uygunluğunun toplam uygunluklar ortalamasını geçen deney sayısı, kendi en iyi uygunluğuna erişen deney sayısı ve kendi en iyi uygunluğunun %10 yakınına gelebilen deney sayısı da belirlenmiştir. Deneylerin her birinde, kendi içerisinde generasyonlar ilerledikçe uygunluk minimize edilmiştir.

Deney ortalamalarına bakıldığında, çok bariz bir şekilde DGA'nın diğer dokuz başlangıç popülasyonlu GA'ya göre üstün olduğu görülmüştür. Bu üstünlük uygunluk ortalamasının düşüklüğündendir. Tüm yöntemlerde ilk hedef, güvenlik şartının sağlanması olduğu için, güvenlik şartını sağlayıp maliyeti en düşük olan yöntemin uygunluğu da düşük olacağı için, üstün olan yöntem olarak kabul edilmiştir. Ayrıca en iyi uygunluğuna diğer deneylerde erişme sayısı ve en iyi uygunluğuna yakın deney sayısı olarak ta DGA üstündür. Deney ortalamalarına göre, DGA'dan sonra üstünlük, sırasıyla Halton, Uniform, Hammersley, Faure, Lojistik, Sobol, Düzenli, Rassal ve Ortogonal şeklindedir. Bunlar içerisinden Halton, Uniform, Hammersley, Faure ve Lojistik kaotik birbirine yakındır. Deneyler içerisinden en iyi sonuçlara bakıldığında DGA, Hammersley, Halton, Faure, Lojistik, Rassal ve Ortogonal yöntemlerinin optimum sonuçlara ulaşabildiği görülmektedir. Populasyon ve generasyon sayıları düşük olmasına rağmen tüm yöntemlerin deneyleri içerisinden optimuma çok yakın sonuçlara ulaşabildiği anlaşılmaktadır. Populasyon ve generasyon sayıları arttırıldığında tüm yöntemler optimum sonuca ulaşmaktadır. Kendi en iyi sonucuna erişme sayısı ve en iyi uygunluğuna yakın uygunluk sayısı olarak ta, DGA'dan sonra Halton, Hammersley, Lojistik, Faure ve Uniform başlangıç popülasyonlu GA'ın Sobol, Düzenli, Rassal ve Ortogonal yöntemlerine göre daha üstün olduğu görülmektedir.

Şekil 7.3'ten uygunluğun GPR ile ters orantılı olduğu da anlaşılmaktadır. Uygunluğun yüksek olduğu durumlarda GPR' nin düşük olduğu, uygunluğun düşük olduğu durumlarda GPR' nin yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, amacın uygunluk minimizasyonu ve bunu sağlamak için de GPR'nin mümkün olduğu kadar, yani müsaade edilebilir dokunma gerilimi limitine kadar artmasının istenmesindendir. Yani minimum uygunlukta GPR, müsaade edilebilir

dokunma geriliminden küçük olacak, ancak mümkün olduğu kadar da bu değere yaklaşacaktır. Böylece hem emniyet şartı hem de minimum maliyet sağlanmış olunacaktır.

Şekil 7.3'ten elde edilen bir başka sonuç, her bir deneyin uygunluk ortalaması farklı bile olsa ve yüksek bile görünse mutlaka emniyet şartının sağlanmış olduğudur. Tüm algoritma ve deneylerinde uygunluklar çok farklı bile olsa, emniyet şartı olarak alınan GPR'nin müsaade edilebilir maksimum dokunma gerilimi değerinden düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 7.1. Model-1 Simulasyon Girişleri

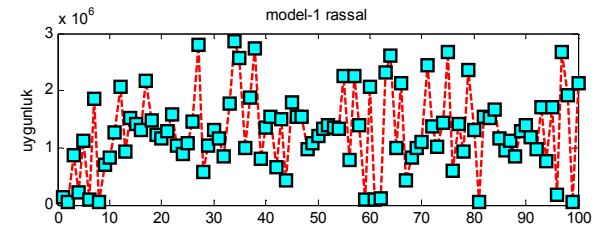
Girişler	
Deney	100
N	30
G	20
ρ (Ω·m)	50
L_r (m)	1.5
a (m)	0.01
L (m)	150
W (m)	150
I_f (A)	10000
t_s (sn)	0.5

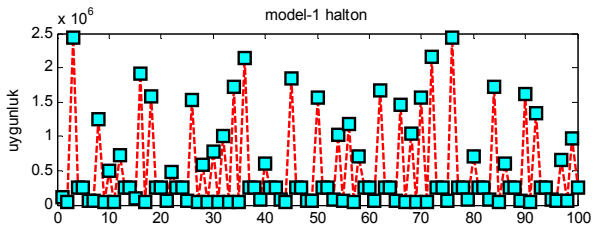
Tablo 7.2. Yüzey Kaplamasız Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünülmediği Uygulama (Model-1))
a) Rassal, Halton, Hammersley, Faure, Sobol Uygulamaları

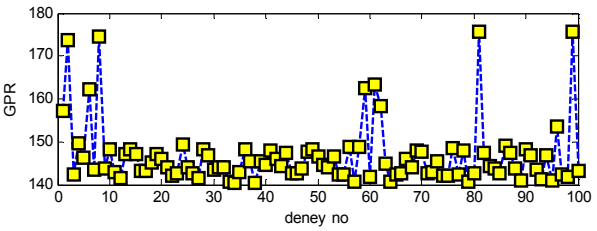
	Rassal		Halton		Hammersley		Faure		Sobol	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	116.56	8	47.24	6	53.98	4	46.60	2	82.03	2
col	116.55	2	51.16	4	48.55	6	62.76	8	68.18	8
h_b (m)	2.88	0.5	1.86	0.5	1.64	0.5	1.75	0.5	2.4	0.5
L_C (m)	35267	1800	15062	1800	15682	1800	16705	1800	22833	1800
n_r	112.21	10	95.34	10	64.44	10	131.64	10	172.01	14
$R_{t\text{-uniform}}$ (Ω)	0.1446	0.1755	0.1484	0.1755	0.1487	0.1755	0.1483	0.1755	0.1462	0.1754
GPR (V)	144.58	175.52	148.4	175.52	148.75	175.52	148.34	175.52	146.24	175.43
$E_{dokunma\text{-}50}$ (V)	176.35	176.35	176.35	176.35	176.35	176.35	176.35	176.35	176.35	176.35
C (TL)	$1.2711\cdot 10^6$	49125	$4.8869\cdot 10^5$	49125	$4.9378\cdot 10^5$	49125	$5.3706\cdot 10^5$	49125	$7.8990\cdot 10^5$	49425
F	$1.2908\cdot 10^6$	49124	$5.1610\cdot 10^5$	49124	$5.7077\cdot 10^5$	49124	$5.8095\cdot 10^5$	49124	$8.0206\cdot 10^5$	49424
UOGDS	50		30		37		26		43	
EŞSDS	0		0		0		0		0	
EİYDS	3		20		16		7		1	
EİDS	2		16		4		1		1	

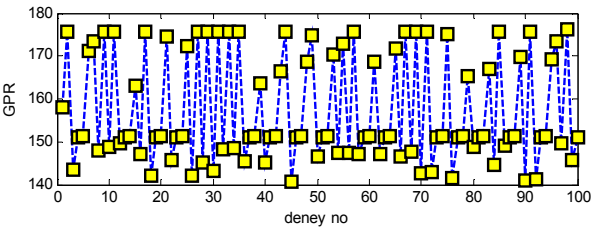
b) Ortogonal, Düzenli, Lojistik, Uniform, DGA Uygulamaları

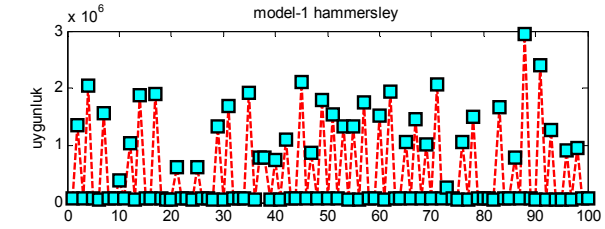
	Ortogonal		Düzenli		Lojistik		Uniform		DGA	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	132.73	8	98.38	7	50.89	2	69.98	7	5.6	8
col	118.35	2	90.42	2	54.89	8	37.56	2	8.64	2
h_b (m)	2.74	0.5	2.45	1.35	1.64	0.5	1.20	0.5	1.11	0.5
L_C (m)	37962	1800	28620	1650	16167	1800	16432	1650	2436	1800
n_r	112.4	10	112.4	10	65.03	10	125.74	91	35.45	10
$R_{t\text{-uniform}}$ (Ω)	0.1448	0.1755	0.1457	0.1762	0.1487	0.1755	0.1495	0.176	0.1648	0.1755
GPR (V)	144.75	175.52	145.73	176.21	148.66	175.52	149.49	175.96	166.77	175.52
$E_{dokunma\text{-}50}$ (V)	176.35	176.35	176.35	176.35	176.35	176.35	176.35	176.35	176.35	176.35
C (TL)	$1.3477\cdot 10^6$	49125	$9.8679\cdot 10^5$	50353	$5.0861\cdot 10^5$	49125	$4.9460\cdot 10^5$	51169	73702	49125
F	$1.3757\cdot 10^6$	49124	$1.0393\cdot 10^6$	50353	$5.8427\cdot 10^5$	49124	$5.3033\cdot 10^5$	51168	81329	49124
UOGDS	49		48		36		23		2	
EŞSDS	0		0		0		0		0	
EİYDS	2		3		11		6		80	
EİDS	1		1		2		1		50	

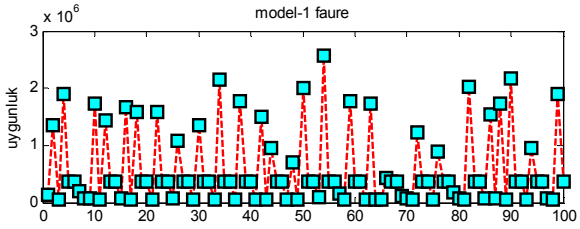


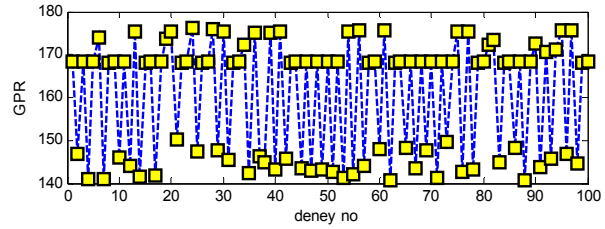


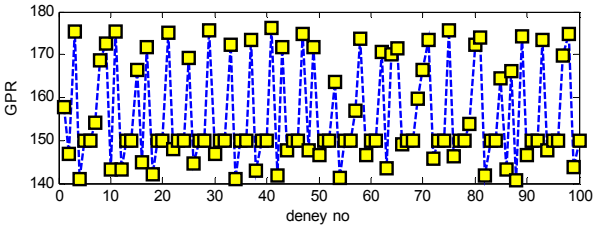


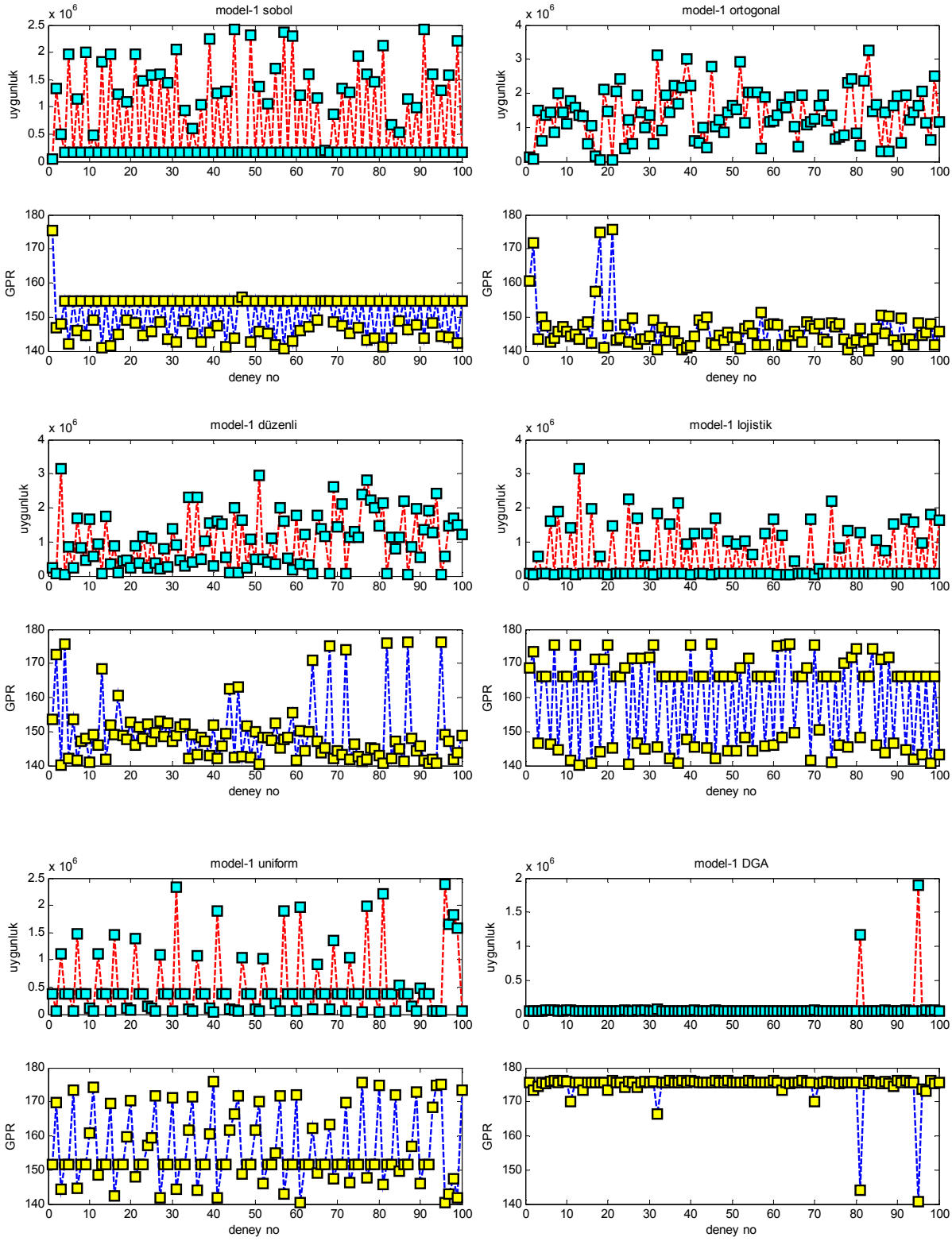












Şekil 7.3. Model-1 Sezgisel Algoritma Uygulamaları

7.3.1.2. Model-2 Uygulaması

Mevsimsel faktörlerin etkisinin ele alındığı ve yüzey kaplama malzemesinin kullanılmadığı model-2 uygulama örneği girişleri, Tablo 7.3'deki gibidir. Sezgisel algoritma uygulaması tasarım sonuçları Tablo 7.4 (a), (b) ve Şekil 7.4'deki gibidir. GA, ağın x ve y doğrultusundaki göz sayılarını dolayısıyla iletken sayılarını ve çubuk sayısını optimize eder. Mevsimsel faktörlerin etkisini göstermek için ağ gömülme derinliği 0.5 m, çubuk boyu 1.5 m ve üst katman derinliği 2 m alınmıştır. Böylelikle ağ ve çubuklar üst katmanda yani mevsimsel faktörlerin etkisinin düşünüldüğü katmanda olacaktır. GA ve DGA, uygunluk değerini minimize etmeyi amaçlar.

Model-2 mevsimsel don uygulamasında, Tablo 7.4'te görüldüğü gibi, DGA gerek deneylerin uygunluk ortalaması olarak gerekse de Şekil 7.4'te görüldüğü gibi ideal uygunluk değeri kümesinden uzaklaştığı tepe sayısı olarak ya da uygunluk ortalamasını geçen deney sayısının azlığı olarak diğer yöntemlere göre en iyisidir. DGA'nın gerek optimum sonuca gerekse de optimum sonuca yakın sonuçlara deneyleri içerisinden diğer yöntemlere göre daha fazla ulaştığı görülmüştür. Bu bakımdan da diğer yöntemlere göre daha iyi olduğu söylenebilir. Deneyleri içerisinden optimum sonuçlara DGA, Halton, Lojistik ve Uniform yöntemleri ulaşabilmişken, tüm yöntemler de optimum sonuçlara çok yakın değerlere ulaşabilmiştir. DGA'dan sonra, deneylerin uygunluk ortalamaları olarak birbirine çok yakın olmakla beraber sırasıyla Hammersley, Düzenli, Faure, Lojistik, Halton ve Uniform popülasyon metodlarının geldiği gözlenmektedir. Sıralamada dikkat çeken Düzenli popülasyon metodudur. Bu metod gerek deneylerin uygunluk ortalaması olarak gerekse de UOGDS (uygunluk ortalamasını geçen deney sayısı) sayısının azlığı olarak oldukça başarılı olmuştur. Bunun nedeninin kullandığı öz popülasyon sayısının artmasından olarak değerlendirilebilinir. Çünkü Model-1'de gelişigüzel üretilen 2 adet kromozomdan, 30 adet te kendisi kromozom üretirken, Model-2'de toplamda yine 32 olan kromozomların, 4'ü gelişigüzel üretilmekte, diğerlerini kendisi oluşturmaktadır. Burada dikkat çeken başka bir husus ta deneyleri içerisinden optimuma yakın sonuçlara ulaşabilmelerine rağmen, yine Sobol, Rassal ve Ortogonal metodlarının diğer metodlara göre hem deneylerin uygunluk ortalaması olarak hem de UOGDS olarak daha az başarılı olduğudur. Ayrıca tüm yöntemler, her bir deneyinde güvenlik şartını sağlayabilecek değerlere ulaşmıştır.

Normal toprağın özdirenci 50 Ω·m iken, don oluştuğunda özdirencinin 1000 Ω·m'ye yükseldiği varsayılmıştır. [163]'deki çalışmada normalde 200 Ω·m olan toprağın don durumunda özdirencinin 5000 Ω·m'a kadar yükselebileceği ifade edilmiştir. Don oluştuğunda toprağın hem don derinliği hem de özdirenci ölçülmelidir. Burada don derinliği 2 metre alınmıştır. Böylece çubukların da don içerisinde kalması sağlanmıştır. Model-1'de optimum

sonuç olan 1800 m iletken yeterli gelmişken, topraklama ağının don tutan toprak içerisinde kalması durumunda yani Model-2 don durumunda, optimum sonuç olan 9600 m iletken kullanılmak zorunda kalınmıştır. Dolayısıyla maliyet yaklaşık 5.3 kat artmıştır. Çünkü, don sebebiyle, emniyet şartını sağlamak için daha fazla iletken kullanmak zorunda kalınmıştır.

Tablo 7.3. Model-2 Simulasyon Girişleri

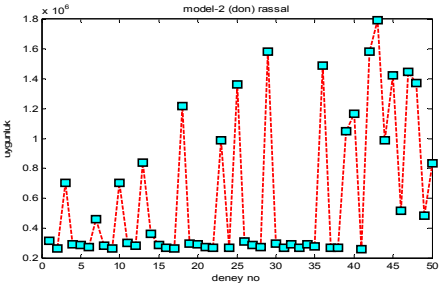
	Girişler		
Deney	50		
N	30		
G	20		
ρ_1 (Ω·m)	Don	Kurak	Nem
	1000	750	25
ρ_2 (Ω·m)	50		
L_r (m)–a (m)	1.5-0.01		
L–W (m)	150-150		
I_f (A)	10000		
t_s (sn)	0.5		
h_1 (m)	2		
h_b (m)	0.5		

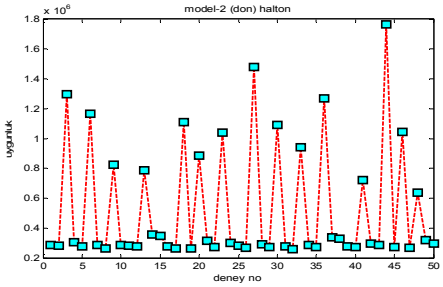
Tablo 7.4. Yüzey Kaplamasız Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünüldüğü Uygulama (Model-2 Don)
a) Rassal, Halton, Hammersley, Faure, Sobol Uygulamaları

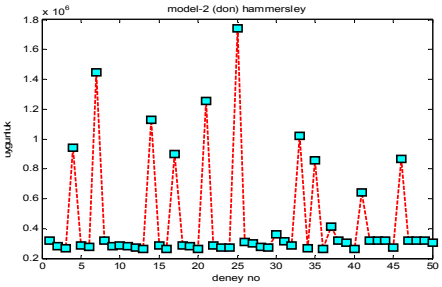
	Rassal		Halton		Hammersley		Faure		Sobol	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	72.94	33	57.14	33	57.57	22	61.1	30	89.24	39
col	74.26	29	68.68	29	50.85	40	62.66	32	82.02	23
L_C	22380	9600	19173	9600	16563	9600	18864	9600	25989	9600
n_r	107.76	15	107.12	10	88.04	41	123.74	12	93.1	17
$R_{t\text{-}iki}$ (Ω)	0.368	0.404	0.3721	0.404	0.3767	0.4047	0.3725	0.404	0.3649	0.4045
GPR (V)	368.02	404.01	372.07	404.01	376.69	404.69	372.49	403.98	364.85	404.54
$E_{dokunma\text{-}50}$ (V)	404.97	404.97	404.97	404.97	404.97	404.97	404.97	404.97	404.97	404.97
C (TL)	$6.0954\cdot 10^5$	259125	$5.2331\cdot 10^5$	258825	$4.5175\cdot 10^5$	261075	$5.1625\cdot 10^5$	258900	$7.0544\cdot 10^5$	259275
F	$6.0953\cdot 10^5$	$2.5911\cdot 10^5$	$5.2329\cdot 10^5$	$2.5882\cdot 10^5$	$4.5175\cdot 10^5$	$2.6107\cdot 10^5$	$5.1624\cdot 10^5$	$2.5889\cdot 10^5$	$7.0541\cdot 10^5$	$2.5927\cdot 10^5$
UOGDS	17		15		10		14		20	
EŞSDS	0		0		0		0		0	
EİYDS	10		21		24		23		17	
EİDS	1		1		1		1		1	

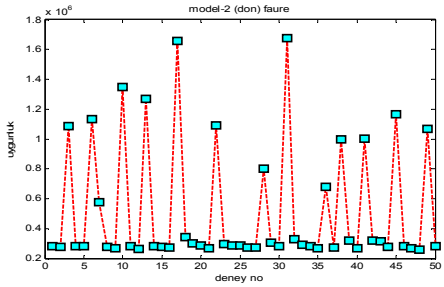
b) Ortogonal, Düzenli, Lojistik, Uniform, DGA Uygulamaları

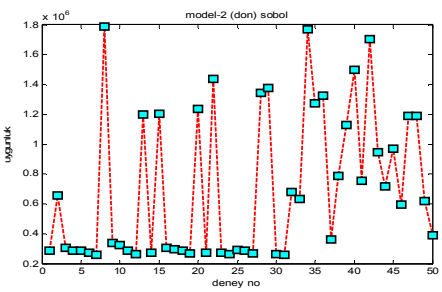
	Ortogonal		Düzenli		Lojistik		Uniform		DGA	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	94.32	33	61.54	38	69.3	26	81	31	49.34	31
col	90.84	29	53.84	24	56.66	36	52.38	31	44.02	31
L_C (m)	28074	9600	17607	9600	19194	9600	20307	9600	14304	9600
n_r	114.36	12	81.8	25	80.28	10	125.4	10	59.2	10
$R_{t\text{-}iki}$ (Ω)	0.3634	0.404	0.3747	0.4044	0.3721	0.4042	0.3706	0.404	0.3823	0.404
GPR (V)	363.42	404.01	374.66	404.4	372.07	404.19	370.61	403.97	382.29	403.97
$E_{dokunma\text{-}50}$ (V)	404.97	404.97	404.97	404.97	404.97	404.97	404.97	404.97	404.97	404.97
C (TL)	$7.6307\cdot 10^5$	258900	$4.7932\cdot 10^5$	259875	$5.2186\cdot 10^5$	258750	$5.5516\cdot 10^5$	258750	$3.8886\cdot 10^5$	258750
F	$7.6307\cdot 10^5$	$2.5890\cdot 10^5$	$4.7931\cdot 10^5$	$2.5987\cdot 10^5$	$5.2184\cdot 10^5$	$2.5875\cdot 10^5$	$5.5515\cdot 10^5$	$2.5875\cdot 10^5$	$3.8885\cdot 10^5$	$2.5875\cdot 10^5$
UOGDS	24		12		14		15		6	
EŞSDS	0		0		0		0		0	
EİYDS	13		18		24		19		40	
EİDS	1		1		1		1		4	

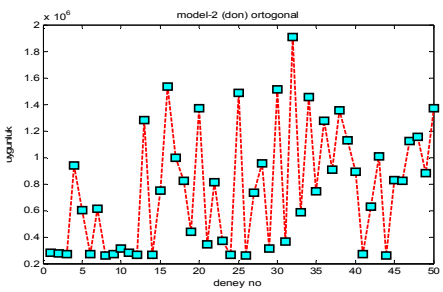


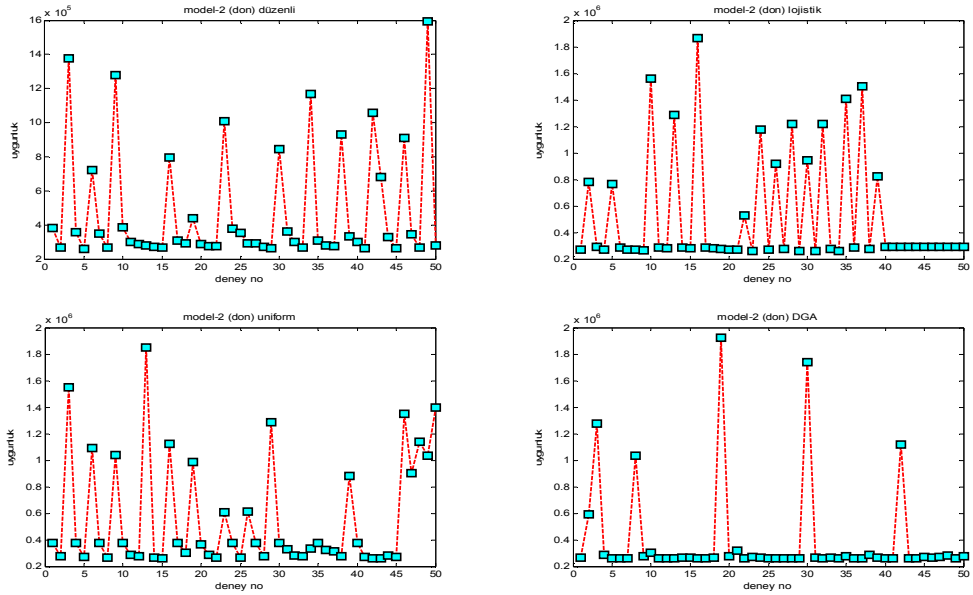












Şekil 7.4. Model-2 Sezgisel Algoritma Uygulamaları (Don)

Topraklama ağı tasarımı normal toprak alınarak yani Model-1 ile yapıldığında, 1800 metre iletken, 10 adet çubuk ve 0.5 metre ağ gömülme derinliği sonuçları bulunmuş idi. Bu sonuçlarla emniyet şartı sağlanmış ve minimum maliyet elde edilmiş idi. Model-1 uygulama sonuçlarının Model-2 don uygulamasında kullanılmış olunsaydı Tablo 7.5'teki değerler elde edilecekti.

Tablo 7.5. Model-1 Uygulama Sonuçlarının Model-2 Don Uygulamasında Kullanılması

Mevsim	**GPR(V)**	**$E_{dokunma}$(V)**
Don	809.9	404.97

Topraklama ağı döşenecek toprağın yüzeyden 2 metre derinliğe kadar don tuttuğunu ve topraklama ağı tasarımının bu dondan bihaber, yani Model-1 optimum sonuçlarıyla yapıldığını varsayarsak; Bu durumda GPR=809.9 ve $E_{dokunma}$=404.97 olacak idi.. Yani gerçekte don tutmuş bir toprak olduğu halde, don tutmamış normal bir toprak gibi Model-1 ile topraklama ağı tasarlanırsa emniyet şartı sağlanmayacak ve çok tehlikeli durumlar ortaya çıkabilecektir. Bu yüzden topraklama ağı tasarımında don analizi yapılmalıdır.

Türkiye'de mevsimlere bağlı olarak oldukça kurak bölgeler de olduğundan çalışmamızda kurak toprağın etkisi de incelenmiştir. Kuru toprağın özdirenci normal toprağın özdirencinden 15 kat fazla yani 750 Ω·m alınmıştır. Tablo 7.6 farklı başlangıç popülasyonları ve DGA ile Model-2 kurak mevsim toprak analizi sonuçlarını göstermektedir.

Model-2 mevsimsel kurak uygulamasında, Tablo 7.6'da görüldüğü gibi, DGA gerek deneylerin uygunluk ortalaması olarak gerekse de Şekil 7.5'te görüldüğü gibi EİYDS ve UOGDS olarak diğer yöntemlere göre en iyisidir. Deneyleri içerisinden tüm yöntemler optimum sonuçlara çok yakın değerlere ulaşabilmiştir. DGA'dan sonra, deneylerin uygunluk ortalamaları olarak birbirine çok yakın olmakla beraber sırasıyla Düzenli, Uniform, Faure, Halton, Lojistik, ve Hammersley popülasyon metodlarının geldiği görülmektedir. Yine bu uygulamada, deneyleri içerisinden optimuma yakın sonuçlara ulaşabilmelerine rağmen, yine Sobol, Rassal ve Ortogonal metodlarının diğer metodlara göre deneylerin uygunluk ortalaması olarak daha az başarılı olduğu görülmektedir. Özellikle Rassal ve Ortogonal metodlarının ortalama uygunluk değerinden fazla sayıda uzaklaştığı görülmektedir. Tüm yöntemlerin her bir deneyinde emniyet şartını sağladığı da belirlenmiştir.

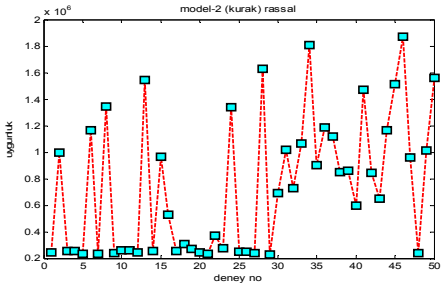
Türkiye'de mevsimlere bağlı olarak oldukça kurak bölgeler de olduğundan çalışmamızda kurak toprağın etkisi de incelenmiştir. Kuru toprağın özdirenci normal toprağın özdirencinden 15 kat fazla yani 750 Ω·m alınmıştır. Bu durumda maliyet normal toprak durumuna yani Model-1'e göre yaklaşık 4.7 kat artmıştır. Kuru toprağın özdirenci don tutmuş toprağın özdirencinden düşük alındığından, iletken uzunluğu daha az, yani 9600 m'den 8550 m'ye azalmış, dolayısıyla maliyet te daha düşük bulunmuştur.

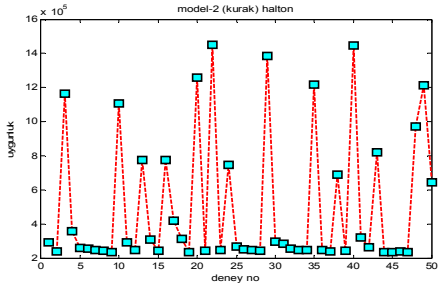
Tablo 7.6. Yüzey Kaplamasız Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünüldüğü Uygulama (Model-2 Kurak)
a) Rassal, Halton, Hammersley, Faure, Sobol Uygulamaları

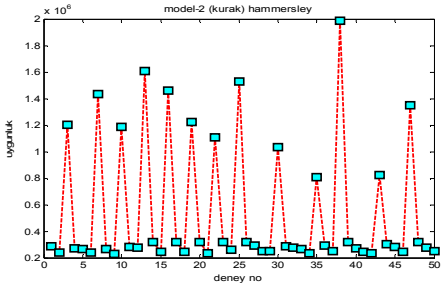
	Rassal		Halton		Hammersley		Faure		Sobol	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	96.42	33	57.36	28	61.14	32	62.02	17	72.96	22
col	82.98	22	62.36	27	68.4	23	55.46	39	69.7	33
L_C	27210	8550	18258	8550	19731	8550	17922	8700	21699	8550
n_r	124.1	10	103.68	48	84.04	11	105.1	24	96.44	10
$R_{t\text{-}iki}$ (Ω)	0.3076	0.3444	0.3147	0.3441	0.3131	0.3443	0.3152	0.3442	0.3112	0.3444
GPR (V)	307.59	344.35	314.73	344.07	313.06	344.26	315.17	344.18	311.19	344.36
$E_{dokunma\text{-}50}$ (V)	344.81	344.81	344.81	344.81	344.81	344.81	344.81	344.81	344.81	344.81
C (TL)	$7.4058\cdot 10^5$	$2.3053\cdot 10^5$	$4.9846\cdot 10^5$	$2.3338\cdot 10^5$	$5.3657\cdot 10^5$	$2.3061\cdot 10^5$	$4.8954\cdot 10^5$	$2.3561\cdot 10^5$	$5.9039\cdot 10^5$	$2.3053\cdot 10^5$
F	$7.4055\cdot 10^5$	$2.3053\cdot 10^5$	$4.9844\cdot 10^5$	$2.3338\cdot 10^5$	$5.3656\cdot 10^5$	$2.3061\cdot 10^5$	$4.8952\cdot 10^5$	$2.3561\cdot 10^5$	$5.9038\cdot 10^5$	$2.3053\cdot 10^5$
UOGDS	23		15		13		13		17	
EŞSDS	0		0		0		0		0	
EİYS	16		24		14		20		19	
EİS	1		1		1		1		1	

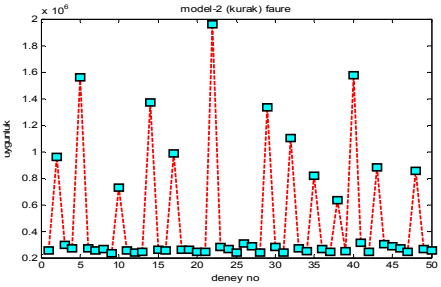
b) Ortogonal, Düzenli, Lojistik, Uniform, DGA Uygulamaları

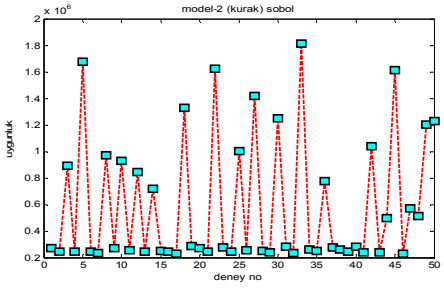
	Ortogonal		Düzenli		Lojistik		Uniform		DGA	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	101.52	19	43.84	32	66.7	30	58.1	36	44.62	27
col	111.72	36	54.54	23	57.82	25	54.16	19	35.28	28
L_C (m)	32286	8550	15057	8550	18978	8550	17139	8550	12285	8550
n_r	102.54	59	102.7	10	103.08	10	99.82	10	65.36	10
$R_{t\text{-}iki}(\Omega)$	0.3055	0.3448	0.3198	0.3443	0.3139	0.3441	0.3162	0.3448	0.3267	0.3441
GPR (V)	305.52	344.75	319.78	344.26	313.88	344.13	316.25	344.77	326.65	344.07
$E_{dokunma\text{-}50}$ (V)	344.81	344.81	344.81	344.81	344.81	344.81	344.81	344.81	344.81	344.81
C (TL)	$8.7538\cdot 10^5$	$2.3421\cdot 10^5$	$4.1236\cdot 10^5$	$2.3053\cdot 10^5$	$5.1776\cdot 10^5$	$2.3053\cdot 10^5$	$4.6810\cdot 10^5$	$2.3053\cdot 10^5$	$3.3506\cdot 10^5$	$2.3053\cdot 10^5$
F	$8.7535\cdot 10^5$	$2.3421\cdot 10^5$	$4.1234\cdot 10^5$	$2.3050\cdot 10^5$	$5.1775\cdot 10^5$	$2.3053\cdot 10^5$	$4.6808\cdot 10^5$	$2.3053\cdot 10^5$	$3.3505\cdot 10^5$	$2.3053\cdot 10^5$
UOGDS	23		13		15		12		8	
EŞSDS	0		0		0		0		0	
EİYDS	9		19		21		17		38	
EİDS	1		1		1		1		9	

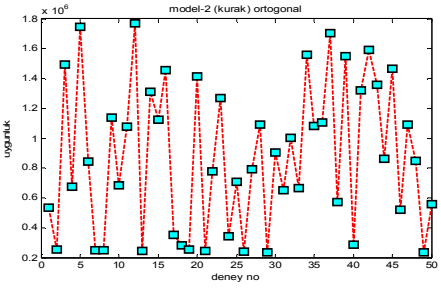


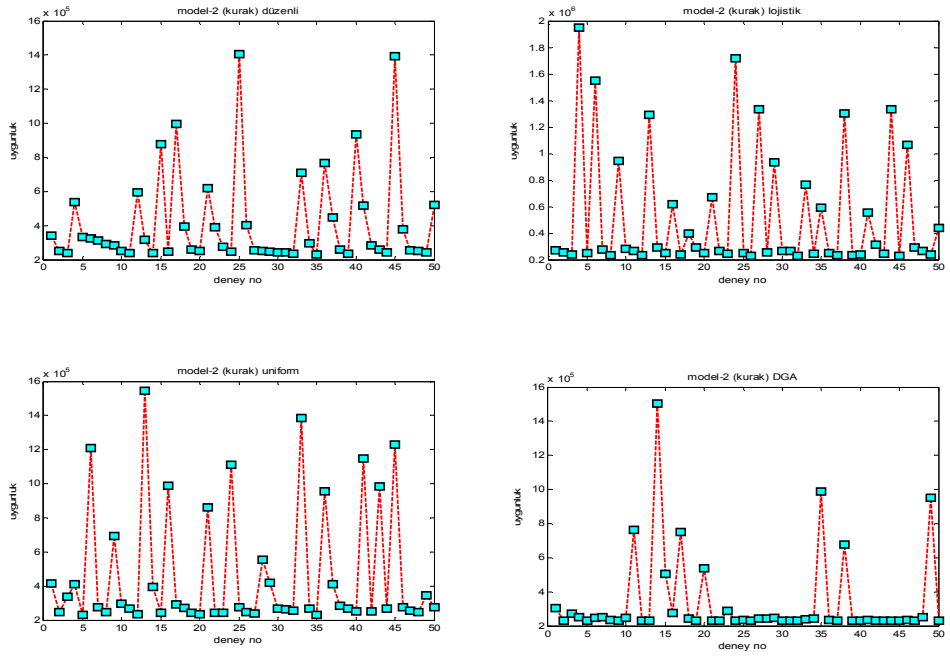












Şekil 7.5. Model-2 Sezgisel Algoritma Uygulamaları (Kurak)

Topraklama ağı tasarımı normal toprak alınarak yani Model-1 ile yapıldığında, 1800 metre iletken, 10 adet çubuk ve 0.5 metre ağ gömülme derinliği sonuçları bulunmuş idi. Bu sonuçlarla emniyet şartı sağlanmış ve minimum maliyet elde edilmiş idi. Model-1 uygulama sonuçlarının Model-2 kurak uygulamasında kullanılmış olunsaydı Tablo 7.7'teki değerler elde edilecekti.

Tablo 7.7. Model-1 Uygulama Sonuçlarının Model-2 Kuru Toprak Uygulamasında Kullanılması

Mevsim	**GPR(V)**	**$E_{dokunma}$(V)**
Kurak	642.05	344.81

Topraklama ağı döşenecek toprağın yüzeyden 2 metre derinliğe kadar kuru olduğunu ve topraklama ağı tasarımının Model-1 optimum sonuçlarıyla yapıldığını varsayarsak, yani gerçekte toprak kuru olduğu, özdirenci yüksek olduğu halde normal toprak yani Model-1 optimum sonuçları kullanılmış olunsaydı;

Bu durumda GPR=642.05 ve $E_{dokunma}$=344.81 olacak idi. Böylece yine emniyet şartı sağlanmamış olunacaktı. Bu yüzden topraklama ağı tasarımında kuraklık analizi de yapılmalıdır.

Topraklama ağının nemli toprak içerisinde kaldığının varsayıldığı uygulamada, arama aralıklarının en düşük değerleri yeterli gelmekte ve böylece optimizasyon işlemi oldukça kolaylaştığından tüm yöntemler, hemen hemen tüm deneylerde aynı ve optimum sonuçlara ulaşmıştır. Ancak burada da yine DGA' nın avantajından bir yönüyle daha bahsetmek gerekir.

Zira DGA yönteminin, diğer yöntemlere göre işlem zamanı oldukça kısadır. DGA' ya dayalı program, diğer yöntemlere göre daha kısa sürede optimum sonuçlara ulaşmaktadır.

[163]'de normal durumda 200 Ω·m olan toprağın özdirencinin yağmurlu mevsimde 10 Ω·m' ye kadar düşebileceği ifade edilmiştir. Bu uygulamada da normalde 50 Ω·m olan toprağın özdirencinin, nemli durumda 25 Ω·m'ye düştüğü varsayılmıştır. Don ve kurak mevsimin aksine yağmurlu mevsimde toprak özdirenci normale nazaran düşüktür. Yağmurlu ya da nemli toprak durumunda nemli toprağın, yani özdirenci daha düşük toprağın içerisinde kalan iletken ve çubuklar, emniyet şartını daha kolay sağlarlar. Nitekim lin, col ve n_r arama aralıklarının en düşük değerleri bulunmuştur. Dolayısıyla maliyet, normal toprak durumunun yaklaşık 0.5 katı yani yaklaşık yarısı kadardır. Daha az iletken ve çubukla emniyet şartı sağlanmıştır. Don ve kurak mevsimler göz önüne alınarak yapılan tasarımlarda maliyet, nemli toprak durumuna nazaran yaklaşık 10 kat fazladır. Dolayısıyla don ve kuru toprak topraklama ağı tasarımında dezavantaj iken nemli toprak avantajlıdır. Çünkü nemli toprağın özdirenci don, kuru ve normal toprağın özdirençlerinden düşüktür.

Tablo 7.8. Yüzey Kaplamasız Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünüldüğü Uygulama (Model-2 Nem)
a) Rassal, Halton, Hammersley, Faure, Sobol Uygulamaları

	Rassal		Halton		Hammersley		Faure		Sobol	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	2	2	2.02	2	2.04	2	2	2	2	2
col	2	2	2	2	2.04	2	2.04	2	2	2
L_C (m)	900	900	903	900	912	900	906	900	900	900
n_r	10.12	10	12.34	10	10.08	10	10	10	10	10
$R_{t\text{-}iki}$(Ω)	0.1648	0.1648	0.1647	0.1648	0.1644	0.1648	0.1645	0.1648	0.1648	0.1648
GPR (V)	164.84	164.84	164.68	164.84	164.41	164.84	164.48	164.84	164.84	164.84
$E_{dokunma\text{-}50}$ (V)	170.33	170.33	170.33	170.33	170.33	170.33	170.33	170.33	170.33	170.33
C (TL)	24947	24938	25194	24938	25266	24938	25454	24938	24938	24938

b) Ortogonal, Düzenli, Lojistik, Uniform, DGA Uygulamaları

	Ortogonal		Düzenli		Lojistik		Uniform		DGA	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	2	2	2.78	2	2.16	2	2	2	2	2
col	2	2	2.18	2	2.16	2	2	2	2	2
L_C (m)	900	900	1044	900	948	900	900	900	900	900
n_r	10	10	10	10	10.16	10	10	10	10	10
$R_{t\text{-}uniform}$ (Ω)	0.1648	0.1648	0.1605	0.1648	0.1632	0.1648	0.1648	0.1648	0.1648	0.1648
GPR (V)	164.84	164.84	160.48	164.84	163.21	164.84	164.84	164.84	164.84	164.84
$E_{dokunma\text{-}50}$ (V)	170.33	170.33	170.33	170.33	170.33	170.33	170.33	170.33	170.33	170.33
C (TL)	24938	24938	28808	24938	26240	24938	24938	24938	24938	24938

Model-1 uygulama sonuçlarının Model-2 kurak uygulamasında kullanılmış olunsaydı Tablo 7.9'daki değerler elde edilecekti.

Tablo 7.9. Model-1 Uygulama Sonuçlarının Model-2 Nem Uygulamasında Kullanılması

Mevsim	GPR(V)	$E_{dokunma}$(V)
Yağmur	150.37	170.33

Gerçekte yağmurlu mevsim ya da nemli toprak durumu söz konusu olduğu halde, yine normal toprak yani Model-1 optimum sonuçları kullanılmış olunsaydı;
Bu durumda GPR=150.37 ve $E_{dokunma}$=170.33 olacak idi. Yani gerçekte nemli toprak durumu söz konusu olmasına rağmen Model-1 kullanılarak topraklama ağı tasarlanmış olsaydı dahi emniyet şartı sağlanmış olunacaktı. Ancak bu durumda da maliyet gereksiz olarak 49125 TL'den 24938 TL'ye, yani yaklaşık iki kat artacaktır.

7.3.1.3. Model-3 Uygulaması

Burada, yüzey kaplama malzemesinin kullanıldığı topraklama ağı tasarımları yapılacaktır. Tasarımlarda, mevsimsel etkilerin düşünülmediği uniform toprak durumu olan Model 3 ile, Model 3'ün mevsimsel etkilere maruz kaldığında oluşacak yeni iki katmanlı toprak durumu olan Model 4'ün karşılaştırması yapılacaktır. Model-4'te yüzey kaplama malzemesinin kullanıldığı don, kurak ve nemli toprak durumları incelenecektir. Böylece mevsimsel faktörlerin etkisi, yüzey kaplama malzemesi kullanıldığı durumda da tespit edilecektir.Mevsimsel faktörlerin etkisinin düşünülmediği ve yüzey kaplama malzemesinin kullanıldığı model-3 uygulama girişleri Tablo 7.10'da ve sonuçlar da Tablo 7.11 ve Şekil 7.6'da gösterilmiştir. GA ve DGA, ağın x ve y doğrultusundaki göz sayılarını, gömülme derinliğini ve çubuk sayısını optimize eder.

Toprak yüzeyinde özdirenci yüksek bir malzemenin kullanıldığı ve mevsimsel faktörlerin etkisinin düşünülmediği bu uygulamada, başlangıç popülasyonlarının ve DGA'nın başarı durumunu biraz daha net belirlemek ve karşılaştırmak için deney sayısı artırılmış ve 150 olarak alınmıştır. Model-1'den tek farkı yüzeyde kullanılan malzemenin olduğu uygulamada, Model-1'deki yöntemlerin başarı sırasına yakın başarı sıralaması elde edilmiştir. En iyi yöntem olan DGA ve içlerinden en az iyi olanlar Ortogonal, Sobol, Düzenli ve Rassal yöntemleri burada da aynıdır. Deney sayısı artırıldığında deneylerin uygunluk ortalaması olarak, birbirine yine yakın olmakla beraber, azdan çoğa doğru DGA' dan sonra sırasıyla Halton, Faure, Lojistik, Uniform ve Hammersley yöntemleri gelmektedir.Yine tüm yöntemler, deneyler içerisinde optimum değere çok yakın sonuçlara ulaşabilmiştir. Ayrıca, tüm yöntemlerde ve tüm deneylerde emniyet şartının sağlandığı görülmektedir. UOGDS'nın düşüklüğü de başarı durumu için ölçüt olabilir. Nitekim bu değerlere bakıldığında, en iyinin DGA ve sonra da Halton, Faure, Lojistik ve Uniform yöntemlerinin geldiği görülmektedir. Bu durum uygunluk ortalaması değerleriyle de uyum sağlamaktadır.

Tablo 7.10. Model-3 Simülasyon Girişleri

	Giriş Değerleri
Deney	150
N	30
G	20
ρ (Ω·m)	110
$\rho_s(\Omega \cdot m)$ - h_s(m)	5500-0.1
L_r(m)	1.5
a(m)	0.01
L(m)-W(m)	150-150
I_f(A)	25000
t_s(sn)	0.5

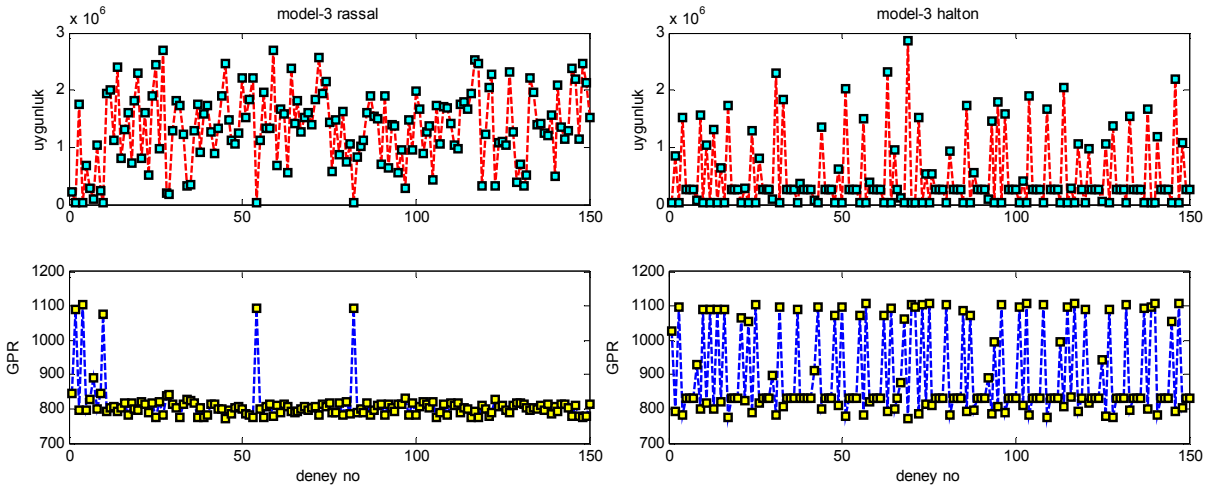
Tablo 7.11. Yüzey Kaplamalı Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünülmediği Uygulama (Model-3)

a) Rassal, Halton, Hammersley, Faure, Sobol Uygulamaları

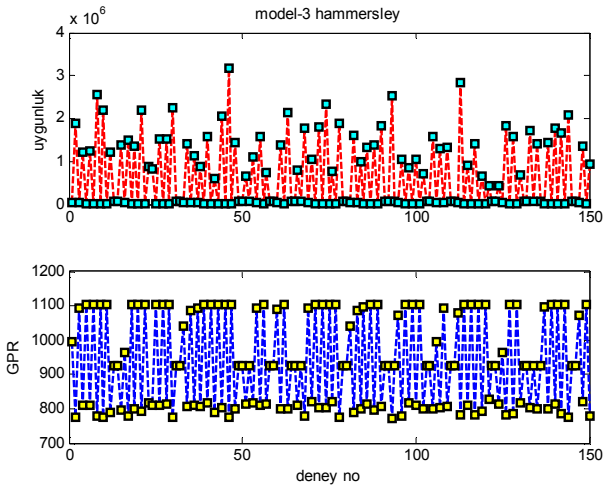
	Rassal		Halton		Hammersley		Faure		Sobol	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	128.52	2	44.94	2	65.07	2	41.69	2	121.16	2
col	126.61	2	43.69	2	59.34	2	62.46	2	130.81	2
h_b (m)	2.47	1.28	1.94	0.5	1.61	0.5	1.75	0.5	2.55	0.5
L_C	38571	900	13595	900	18963	900	15924	900	38096	900
n_r	126.04	10	93.96	28	70.78	32	141.32	32	122.56	57
$R_{t\text{-uniform}}$ (Ω)	0.3195	0.4421	0.3270	0.4423	0.3262	0.4416	0.3266	0.4416	0.3192	0.4372
GPR (V)	798.85	1105.4	817.44	1105.7	815.50	1104	816.57	1104	798.04	1092.9
$E_{dokunma\text{-}50}$ (V)	1105.8	1105.8	1105.8	1105.8	1105.8	1105.8	1105.8	1105.8	1105.8	1105.8
C (TL)	$1.3311 \cdot 10^6$	27570	$4.4611 \cdot 10^5$	26288	$5.9405 \cdot 10^5$	26588	$5.1335 \cdot 10^5$	26588	$1.3267 \cdot 10^6$	28463
F	$1.3354 \cdot 10^6$	27570	$4.8733 \cdot 10^5$	26288	$6.5524 \cdot 10^5$	26586	$5.4922 \cdot 10^5$	26586	$1.3369 \cdot 10^6$	28450
UOGDS	77		39		61		38		75	
EŞSDS	0		0		0		0		0	
EİYDS	3		27		46		21		2	
EİDS	1		6		2		2		1	

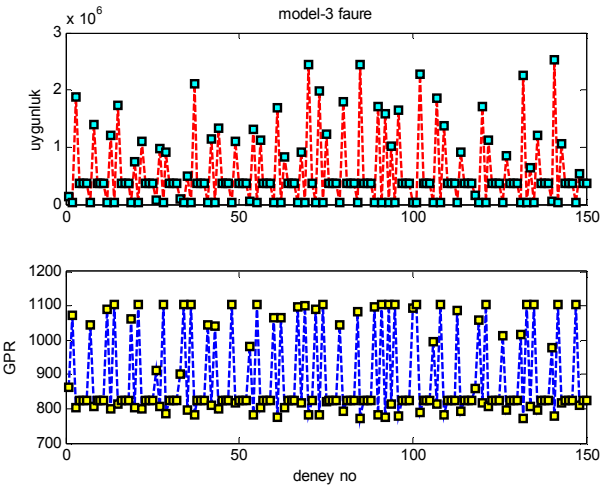
b) Ortogonal, Düzenli, Lojistik, Uniform, DGA Uygulamaları

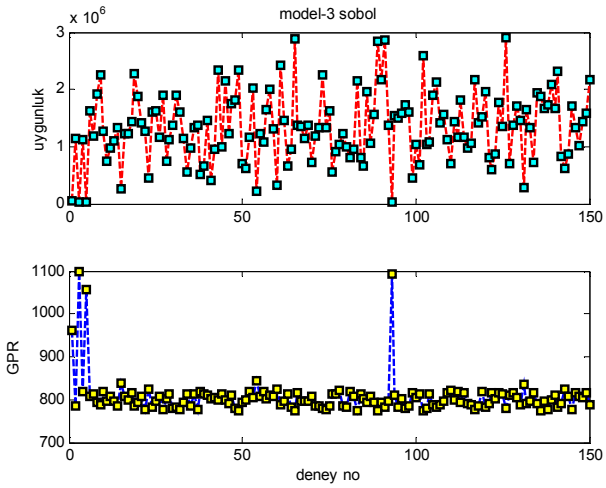
	Ortogonal		Düzenli		Lojistik		Uniform		DGA	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	66.30	2	88.04	2	52.08	2	59.88	2	2.01	2
col	70.43	2	88.96	2	52.8	2	60.31	2	2.02	2
h_b (m)	1.59	0.5	2.20	0.5	1.46	0.5	1.37	0.5	1	0.5
L_C (m)	20811	900	26852	900	16033	900	18330	900	906	900
n_r	84.81	50	103.5	32	68.36	28	103.46	32	32.49	28
$R_{t\text{-uniform}}$ (Ω)	0.3258	0.4384	0.3219	0.4416	0.3279	0.4423	0.3274	0.4416	0.4384	0.4423
GPR (V)	814.4	1095.9	804.76	1104	819.82	1105.7	818.58	1104	1096	1105.7
$E_{dokunma\text{-}50}$ (V)	1105.8	1105.8	1105.8	1105.8	1105.8	1105.8	1105.8	1105.8	1105.8	1105.8
C (TL)	$6.5121 \cdot 10^5$	27938	$9.0133 \cdot 10^5$	26588	$4.9377 \cdot 10^5$	26288	$5.6078 \cdot 10^5$	26588	28511	26288
F	$7.3745 \cdot 10^5$	27928	$9.4111 \cdot 10^5$	26586	$5.5437 \cdot 10^5$	26287	$6.2840 \cdot 10^5$	26586	28497	26287
UOGDS	66		72		42		60		27	
EŞSDS	0		0		0		0		0	
EİYDS	75		3		35		46		128	
EİDS	75		1		2		4		34	

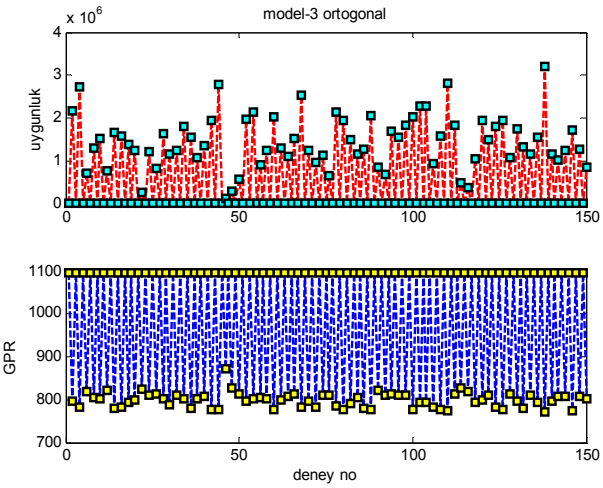

model-3 rassal
x 10^6
uygunluk
GPR
deney no

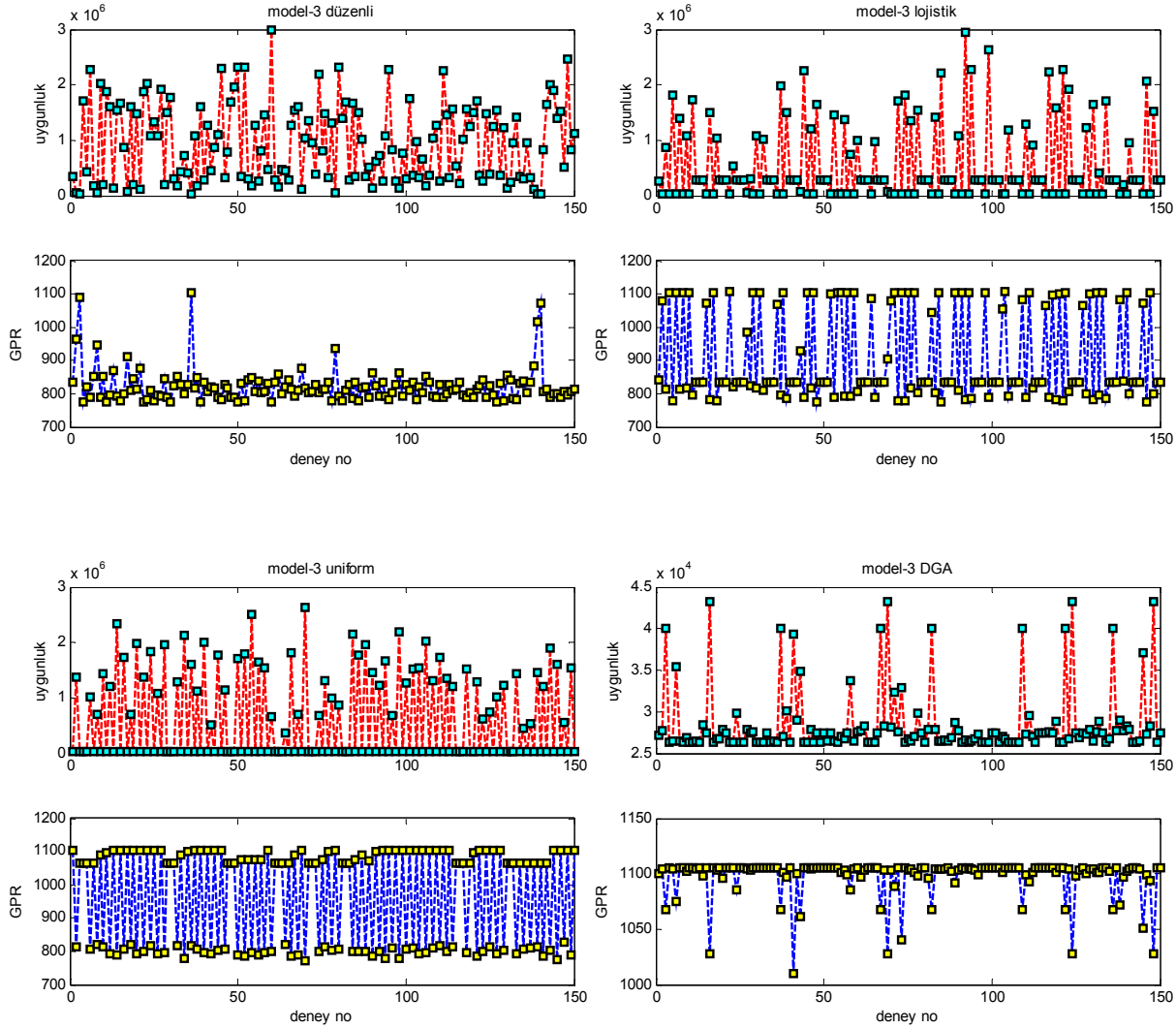
model-3 halton
x 10^6
uygunluk
GPR
deney no


model-3 hammersley
x 10^6
uygunluk
GPR
deney no


model-3 faure
x 10^6
uygunluk
GPR
deney no


model-3 sobol
x 10^6
uygunluk
GPR
deney no


model-3 ortogonal
x 10^6
uygunluk
GPR
deney no



Şekil 7.6. Model-3 Sezgisel Algoritma Uygulamaları

7.3.1.4. Model-4 Uygulamaları

Mevsimsel faktörlerin etkisinin göz önüne alındığı ve yüzey kaplama malzemesinin kullanıldığı model-4 uygulama girişleri Tablo 7.12'de ve don uygulaması sonuçları da Tablo 7.13'de gösterilmiştir. GA ve DGA, ağın x ve y doğrultusundaki göz sayılarını ve çubuk sayısını optimize eder. Böylece ağı oluşturan toplam iletken uzunluğu ve çubuk sayısı belirlenmiş olunur.

Bu uygulamada da DGA'nın diğer GA metodlarına göre üstün olduğu Tablo 7.13 ve Şekil 7.7'den görülmektedir. Ayrıca Faure dizili başlangıç popülasyonu kullanılan GA'ın da UOGDS ve EİYDS sonuçlarıyla oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Tasarım parametrelerinin optimum değerleri, arama aralıklarının limitlerini zorladığı için yöntemlerde bariz fark

oluşmamasına rağmen, DGA'ın en iyi ve sonrasında da birbirine yakın olmakla beraber sırasıyla Faure, Hammersley, Uniform, Düzenli, Halton, Lojistik yöntemlerini Rassal, Sobol ve Ortogonal takip etmektedir. Yine tüm metodlar, problemin çözümünde optimum değerlere deneyleri içerisinden oldukça yaklaşmışlardır.

Normalde özdirenci 5500 Ω·m olan yüzey kaplama malzemesinin özdirencinin donlu mevsimde değişmediği ve normalde 110 Ω·m olan toprağın özdirencinin don durumunda don katmanının özdirencinin 700 Ω·m'ye yükseldiği varsayılmıştır. [163]'deki çalışmada da normalde 15000 Ω·m olan yüzey kaplama malzemesinin, don durumunda özdirencinin değişmediği ifade edilmiştir.

Yüzey kaplamalı, normal toprak Model-3 ve don tutmuş toprak Model-4 uygulamalarımız maliyet açısından karşılaştırıldığında, donlu mevsimde maliyetin yaklaşık 29 kat arttığı görülmektedir. Çünkü don nedeniyle oluşan yüksek toprak özdirenci, emniyet şartını sağlamak için daha fazla iletken ve çubuk kullanılmasını zorunlu kılmıştır.

Yüzey kaplama malzemesinin kullanıldığı ve mevsimsel şartların etkisinin düşünülmediği Model-3 uygulamasında elde edilen 900 metre iletken, 28 adet çubuk ve 0.5 metre ağ gömülme derinliği değerleri, Model-4 don uygulamasında kullanılmış olunsaydı Tablo 7.14'deki değerler elde edilecekti.

Tablo 7.12. Model-4 Simulasyon Girişleri

	Giriş Değerleri		
Deney	50		
N	30		
G	20		
ρ_1 (Ω·m)	Don	Kurak	Nem
	700	500	50
ρ_2 (Ω·m)	110		
ρ_s (Ω·m)	Don	Kurak	Nem
	5500	5500	3000
h_s (m)	0.1		
L_r(m)–a(m)	1.5-0.01		
L–W(m)	150-150		
I_f(A)	25000		
t_s (sn)	0.5		
h_l (m)	0.5		
h_b (m)	2		

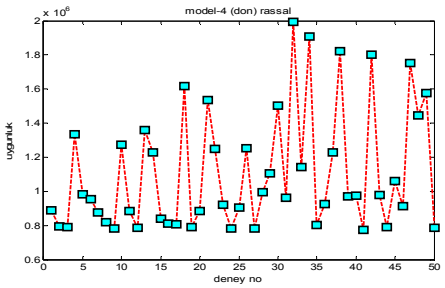
Tablo 7.13. Yüzey Kaplamalı Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünüldüğü Uygulama (Model-4 Don)

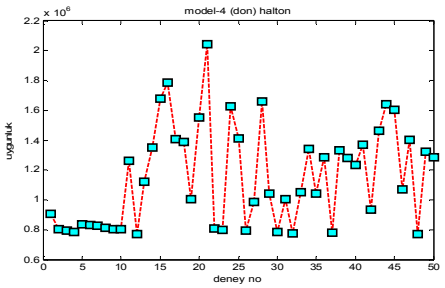
a) Rassal, Halton, Hammersley, Faure, Sobol Uygulamaları

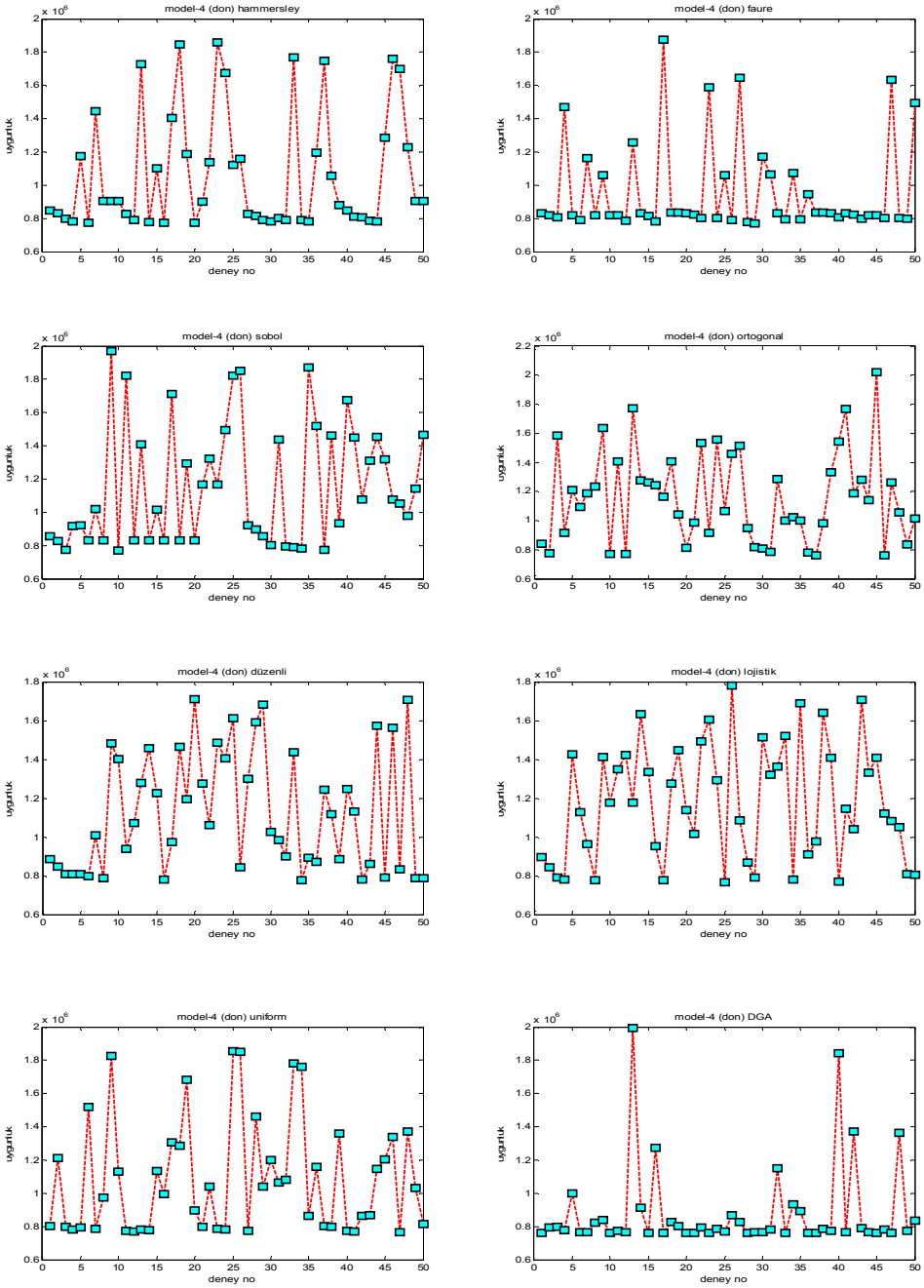
	Rassal		Halton		Hammersley		Faure		Sobol	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	145.73	98	137.78	96	126.31	90	122.82	88	144.4	85
col	142.39	85	142.24	88	132.63	95	108.15	97	158.84	98
L_C	43518	27750	42303	27900	39142	28050	34947	28050	45186	27750
n_r	142.12	251	168.92	250	184.36	252	206.66	239	144	250
$R_{t\text{-}iki}$ (Ω)	0.4572	0.4603	0.4572	0.4603	0.4576	0.4602	0.4584	0.4603	0.457	0.4603
GPR (V)	1143.1	1150.8	1143	1150.6	1144.1	1150.4	1146	1150.8	1142.5	1150.8
$E_{dokunma\text{-}50}$ (V)	1150.9	1150.9	1150.9	1150.9	1150.9	1150.9	1150.9	1150.9	1150.9	1150.9
C (TL)	$1.1802\cdot 10^6$	$7.6461\cdot 10^5$	$1.1496\cdot 10^6$	$7.6856\cdot 10^5$	$1.0658\cdot 10^6$	$7.7274\cdot 10^5$	$9.5471\cdot 10^5$	$7.7177\cdot 10^5$	$1.2252\cdot 10^6$	$7.6452\cdot 10^5$
F	$1.1802\cdot 10^6$	$7.6461\cdot 10^5$	$1.1496\cdot 10^6$	$7.6856\cdot 10^5$	$1.0658\cdot 10^6$	$7.7274\cdot 10^5$	$9.5471\cdot 10^5$	$7.7177\cdot 10^5$	$1.2252\cdot 10^6$	$7.6452\cdot 10^5$
UOGDS	17		23		19		13		19	
EŞSDS	0		0		0		0		0	
EİYDS	14		17		23		36		15	
EİDS	1		1		1		1		1	

b) Ortogonal, Düzenli, Lojistik, Uniform, DGA Uygulamaları

	Ortogonal		Düzenli		Lojistik		Uniform		DGA	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	152.97	106	133.26	89	143.7	78	133.36	110	111.75	94
col	152.04	77	140.58	97	143.24	106	130.42	73	99.88	88
L_C (m)	46052	27750	41376	28200	43341	27900	39867	27750	32045	27600
n_r	146.39	252	156.46	238	152.66	246	178.3	254	201.07	253
$R_{t\text{-}iki}$ (Ω)	0.4568	0.4603	0.4575	0.4603	0.4572	0.4603	0.4576	0.4604	0.4593	0.4604
GPR (V)	1142.1	1150.8	1143.7	1150.7	1143	1150.8	1143.9	1150.8	1148.2	1150.8
$E_{dokunma\text{-}50}$ (V)	1150.9	1150.9	1150.9	1150.9	1150.9	1150.9	1150.9	1150.9	1150.9	1150.9
C (TL)	$1.2486\cdot 10^6$	$7.6468\cdot 10^6$	$1.1237\cdot 10^6$	$7.7572\cdot 10^5$	$1.1762\cdot 10^6$	$7.6826\cdot 10^5$	$1.0848\cdot 10^6$	$7.6483\cdot 10^5$	$8.7628\cdot 10^5$	760725
F	$1.2486\cdot 10^6$	$7.6468\cdot 10^6$	$1.1237\cdot 10^6$	$7.7572\cdot 10^5$	$1.1762\cdot 10^6$	$7.6826\cdot 10^5$	$1.0848\cdot 10^6$	$7.6483\cdot 10^5$	$8.7628\cdot 10^5$	$7.6072\cdot 10^5$
UOGDS	24		22		23		20		10	
EŞSDS	0		0		0		0		0	
EİYDS	12		14		11		19		39	
EİDS	1		1		1		1		2	







Şekil 7.7. Model-4 Sezgisel Algoritma Uygulamaları (Don)

Tablo 7.14'de, mevsimsel şartların etkisinin düşünüldüğü Model-3 uygulama sonuçları, Model-4 don uygulamasında kullanıldığında elde edilen GPR ve $E_{dokunma}$ değerleri görülmektedir. Görüldüğü gibi, don mevsiminde yüzey malzemesi kullanıldığı durumda da, GPR>$E_{dokunma}$ olduğundan emniyet şartı sağlanmayacaktır.

Tablo 7.14. Model-3 Uygulama Sonuçlarının Model-4 Don Tutmuş Toprak Uygulamasında Kullanılması

Mevsim	**ρ_s(Ω·m)**	**GPR(V)**	**$E_{dokunma}$(V)**
Don	5500	2912	1150.9

Yüzey kaplama malzemesinin kullanıldığı ve kurak mevsim faktörlerinin etkinliğinin varsayıldığı uygulama örneği Tablo 7.15'deki gibidir. Model 3'te yani normalde özdirenci 110 Ω·m olan toprağın kurak mevsimde, kuruduğunda özdirencinin 500 Ω·m'ye yükseldiği düşünülmüştür.

Tablo 7.15 ve Şekil 7.8'den anlaşılacağı gibi, tüm yöntemler deneyleri içerisinden optimuma yakın sonuçlara ulaşabilmiştir. Ancak tutarlılık açısından DGA'nın üstün olduğu, Halton, Uniform, Lojistik, Faure, Düzenli ve Hammersley dizili GA metodlarının da oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Bu uygulamada rassal GA da iyi sonuçlar vermiştir. Bu durum rassallığın neticesidir. Ancak rassal GA'nın tutarlılık garantisi yoktur.

Yüzey kaplama malzemesinin özdirencinin normalde ve kurak durumunda aynı olduğu varsayılmıştır. Normalde özdirenci 110 Ω·m olan toprağın kurak mevsimde kuruduğunda özdirencinin 500 Ω·m'ye yükseldiği düşünülmüştür.

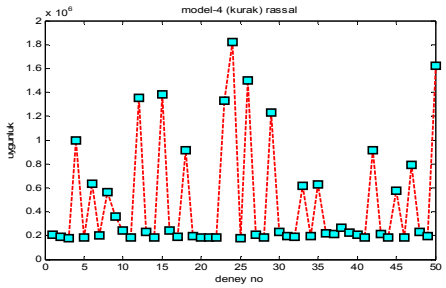
Yüzey kaplamalı, normal toprak Model-3 ve kuru toprak Model-4 uygulamalarımız maliyet açısından karşılaştırıldığında, kurak mevsimde maliyetin yaklaşık 7 kat arttığı görülmektedir.

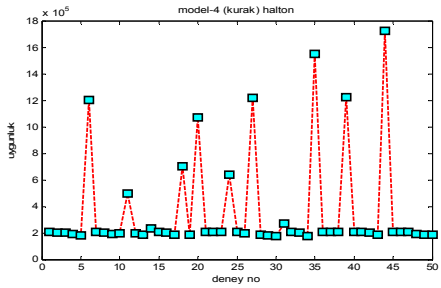
Tablo 7.15. Yüzey Kaplamalı Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünüldüğü Uygulama (Model-4 Kurak)
a) Rassal, Halton, Hammersley, Faure, Sobol Uygulamaları

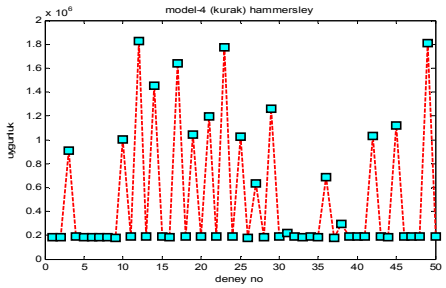
	Rassal		Halton		Hammersley		Faure		Sobol	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	62.12	27	44.54	16	69.87	20	55.84	24	89.76	13
col	52.80	15	40.89	26	51.21	22	53.94	18	94.08	29
L_C	17538	6600	13117	6600	18463	6600	16767	6600	27876	6600
n_r	102.02	11	116.68	10	74	10	123.04	17	122.6	11
$R_{t\text{-}iki}$(Ω)	0.4216	0.4536	0.4271	0.4534	0.4211	0.4531	0.4221	0.4532	0.4158	0.4540
GPR (V)	1054	1134	1067.7	1133.6	1052.6	1132.8	1055.3	1133	1039.5	1135.1
$E_{dokunma\text{-}50}$(V)	1135.6	1135.6	1135.6	1135.6	1135.6	1135.6	1135.6	1135.6	1135.6	1135.6
C (TL)	$4.7899\cdot 10^5$	178200	$3.6127\cdot 10^5$	178125	$5.0173\cdot 10^5$	178125	$4.5984\cdot 10^5$	178650	$7.5836\cdot 10^5$	178200
F	$4.7894\cdot 10^5$	$1.7820\cdot 10^5$	$3.6124\cdot 10^5$	$1.7812\cdot 10^6$	$5.0170\cdot 10^5$	$1.7812\cdot 10^5$	$4.5980\cdot 10^5$	$1.7865\cdot 10^5$	$7.5829\cdot 10^5$	$1.7820\cdot 10^5$
UOGDS	16		9		15		13		24	
EŞSDS	0		0		0		0		0	
EİYDS	18		16		33		18		9	
EİDS	1		1		2		1		1	

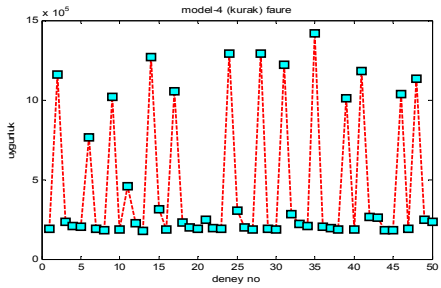
b) Ortogonal, Düzenli, Lojistik, Uniform, DGA Uygulamaları

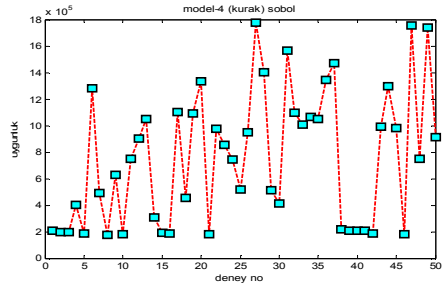
	Ortogonal		Düzenli		Lojistik		Uniform		DGA	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	93.12	25	54.48	21	49.44	20	46.16	23	35.54	21
col	95.10	17	56.36	21	60.56	21	51.20	19	26.44	21
L_C (m)	28533	6600	16926	6600	16800	6450	14904	6600	9597	6600
n_r	101.56	21	80.82	17	103.86	114	107.36	10	72.62	10
$R_{t\text{-}iki}$ (Ω)	0.4158	0.4533	0.4223	0.4531	0.4223	0.4537	0.4244	0.4532	0.4365	0.4531
GPR (V)	1039.5	1133.3	1055.9	1132.7	1055.8	1134.3	1061.1	1132.9	1091.2	1132.7
$E_{dokunma\text{-}50}$ (V)	1135.6	1135.6	1135.6	1135.6	1135.6	1135.6	1135.6	1135.6	1135.6	1135.6
C (TL)	$7.7444\cdot 10^5$	178950	$4.6095\cdot 10^5$	178650	$4.5929\cdot 10^5$	$1.8189\cdot 10^5$	408597	178125	$2.6337\cdot 10^5$	178125
F	$7.7437\cdot 10^5$	$1.7895\cdot 10^5$	$4.6090\cdot 10^5$	$1.7865\cdot 10^5$	$4.5924\cdot 10^5$	$1.8189\cdot 10^5$	$4.0857\cdot 10^5$	$1.7812\cdot 10^5$	$2.6335\cdot 10^5$	$1.7812\cdot 10^5$
UOGDS	22		15		23		11		5	
EŞSDS	0		0		0		0		0	
EİYDS	11		13		14		21		41	
EİDS	1		1		1		1		4	

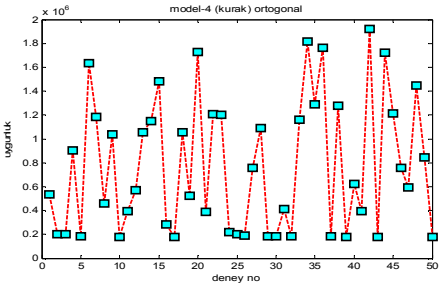


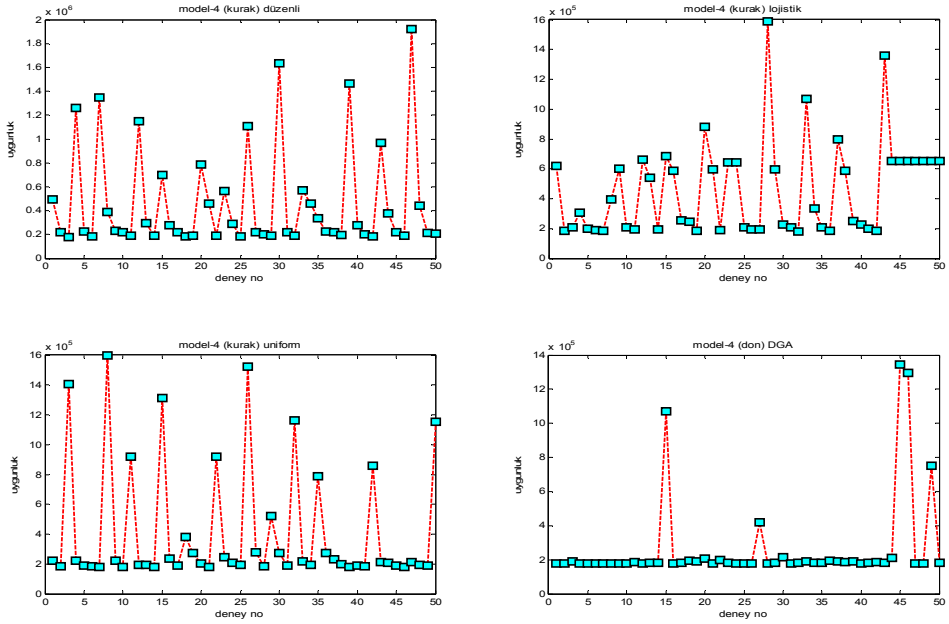












Şekil 7.8. Model-4 Sezgisel Algoritma Uygulamaları (Kurak)

Yüzey kaplama malzemesinin kullanıldığı ve mevsimsel şartların etkisinin düşünülmediği Model-3 uygulamasında elde edilen 900 metre iletken, 28 adet çubuk ve 0.5 metre ağ gömülme derinliği değerleri, Model-4 kurak mevsim uygulamasında kullanılmış olunsaydı Tablo 7.16'daki değerler elde edilecekti.

Tablo 7.16'da, mevsimsel şartların etkisinin düşünüldüğü Model-3 uygulama sonuçları, Model-4 kurak mevsim uygulamasında kullanıldığında elde edilen GPR ve $E_{dokunma}$ değerleri görülmektedir. Görüldüğü gibi, kurak mevsimde yüzey malzemesi kullanıldığı durumda da, GPR>$E_{dokunma}$ olduğundan emniyet şartı sağlanmayacaktır.

Tablo 7.16. Model-3 Uygulama Sonuçlarının Model-4 Kuru Toprak Uygulamasında Kullanılması

Mevsim	**ρ_s(Ω·m)**	**GPR(V)**	**$E_{dokunma}$(V)**
Kurak	5500	2285.5	1135.6

Tablo 7.17'de yağmurlu mevsimde toprak özdirencinin ve yüzey kaplama malzemesinin özdirencinin düştüğünün varsayıldığı ağ tasarımları uygulamaları vardır.

Bu uygulamada da DGA'nın üstünlüğü görülmektedir. Yine Halton, Hammersley, Düzenli ve Faure dizili başlangıç popülasyonları da uygunluk ortalamalarına göre diğerlerinden daha iyidir. Ancak tüm metodlar, deneyleri içerisinden optimum ya da optimuma yakın sonuçlara ulaşmıştır.

Yağmurlu mevsimde, yüzeyde kullanılan malzemenin özdirencinin normalden daha düşük olduğu varsayılmıştır. Normalde özdirenci, 5500 Ω·m olan yüzey malzemesinin, nemli

toprak durumunda 3000 Ω·m'ye düştüğü varsayılmıştır. [163]'de yüzey malzemesinin normal durumda özdirencinin 15000 Ω·m iken, yağmurlu mevsimde 5000 Ω·m'ye düştüğü ifade edilmiştir.

Model-4 nemli toprak durumunda Model-3 normal toprak durumuna göre maliyetin az da olsa arttığı görülmektedir. Bunun nedeni de nemli toprak katmanının özdirenci normal topraktan düşük olmasına rağmen, yüzey malzemesinin de özdirencinin düşmesidir. Yüzey malzemesinin özdirenci değişmemiş olsaydı yani 5500 Ω·m olsaydı maliyet 24938 TL olacak yani Model-3'te olan 26287 TL'den daha düşük olacaktı. Yüzey malzemesi özdirenci Model-3' teki gibi 5500 Ω·m olsaydı, iletken uzunluğu 900 metre, çubuk sayısı da 10 olarak tasarım yapılacaktı. Bu durumda GPR 888.66, $E_{dokunma}$ 1101.2 olacaktı.

Tablo 7.17. Yüzey Kaplamalı Mevsimsel Şartların Etkisinin Düşünüldüğü Uygulama (Model-4 Nem)
b) Rassal, Halton, Hammersley, Faure, Sobol Uygulamaları

	Rassal		Halton		Hammersley		Faure		Sobol	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	114.1	2	54.37	2	81.42	2	84.52	2	86.62	2
col	121.78	2	44.29	2	83.72	2	89.9	2	93.18	2
L_C	35682	900	15101	900	25073	900	26464	900	27271	900
n_r	161.9	156	156.64	160	145.58	151	175.44	160	193.35	160
$R_{t\text{-}iki}$ (Ω)	0.2437	0.2651	0.2464	0.2628	0.2509	0.268	0.2383	0.2628	0.2316	0.2628
GPR (V)	609.21	662.62	615.87	656.90	627.34	669.99	593.24	656.90	579.03	656.90
$E_{dokunma\text{-}50}$ (V)	676.98	676.98	676.98	676.98	676.98	676.98	676.98	676.98	676.98	676.98
C (TL)	$9.7110 \cdot 10^5$	35888	$4.1758 \cdot 10^5$	36188	$6.8475 \cdot 10^5$	35513	$7.2438 \cdot 10^5$	36188	$7.4741 \cdot 10^5$	36188
F	$9.7104 \cdot 10^5$	35873	$4.1753 \cdot 10^5$	36167	$6.8471 \cdot 10^5$	35506	$7.2431 \cdot 10^5$	36167	$7.4732 \cdot 10^5$	36167
UOGDS	26		14		29		25		26	
EŞSDS	0		0		0		0		0	
EİYDS	3		5		3		3		3	
EİDS	1		2		1		1		1	

b) Ortogonal, Düzenli, Lojistik, Uniform, DGA Uygulamaları

	Ortogonal		Düzenli		Lojistik		Uniform		DGA	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
lin	111.94	2	95.16	2	107.74	2	109.4	2	43.12	2
col	119.1	2	78.62	2	96.22	2	94.06	2	39.98	2
L_C (m)	34956	900	26367	900	30894	900	30819	900	12765	900
n_r	178.16	152	188.74	148	172.64	176	179.84	163	158.66	147
$R_{t\text{-}iki}$(Ω)	0.2372	0.2674	0.2333	0.2698	0.2393	0.2542	0.2365	0.2621	0.2456	0.2704
GPR (V)	592.89	668.5	583.2	674.53	598.37	635.50	591.37	652.72	614.08	676.06
$E_{dokunma\text{-}50}$ (V)	676.98	676.98	676.98	676.98	676.98	676.98	676.98	676.98	676.98	676.98
C (TL)	$9.5280 \cdot 10^5$	35588	$7.2277 \cdot 10^5$	35288	$8.4322 \cdot 10^5$	37388	$8.4175 \cdot 10^5$	36413	$3.5496 \cdot 10^5$	35213
F	$9.5273 \cdot 10^5$	35579	$7.2269 \cdot 10^5$	35285	$8.4316 \cdot 10^5$	37346	$8.4167 \cdot 10^5$	36388	$3.5493 \cdot 10^5$	35212
UOGDS	28		23		27		26		16	
EŞSDS	0		0		0		0		0	
EİYDS	5		6		2		6		33	
EİDS	1		1		2		4		32	

Yüzey kaplama malzemesinin kullanıldığı ve mevsimsel şartların etkisinin düşünülmediği Model-3 uygulamasında elde edilen 900 metre iletken, 28 adet çubuk ve 0.5 metre ağ gömülme derinliği değerleri, Model-4 yağmurlu mevsim ya da nemli toprak uygulamasında kullanılmış olunsaydı Tablo 7.18'deki değerler elde edilecekti.

Tablo 7.18. Model-3 Uygulama Sonuçlarının Model-4 Nemli Toprak Uygulamasında Kullanılması

Mevsim	**$\rho_s(\Omega\cdot m)$**	**GPR(V)**	**$E_{dokunma}(V)$**
Yağmur	3000	880.78	676.98
Yağmur	5500	880.78	1101.2

Tablo 7.18'de, mevsimsel şartların etkisinin düşünüldüğü Model-3 uygulama sonuçları, Model-4 nemli toprak uygulamasında kullanıldığında elde edilen GPR ve $E_{dokunma}$ değerleri görülmektedir.

Yağmurlu mevsimde, yüzeyde kullanılan malzemenin özdirenci, normalinden daha küçük olduğunda yine $GPR>E_{dokunma}$ olmakta ve emniyet şartı sağlanmamış olunmaktadır. Yüzeyde kullanılan malzemenin özdirenci yağmurlu mevsimde değişmemiş olsaydı $GPR<E_{dokunma}$ olacak ve emniyet şartı sağlanmış olunacaktı. Ancak bu durumda da maliyet, az da olsa fazla olmuş olacaktı.

7.3.2. İki Katmanlı Toprak Modeli Üzerine Uygulama

Bu bölümde, GA ve DGA yardımıyla iki katmanlı toprak modeli yapılarında $GPR<E_{dokunma}$ şartını sağlayan ve en düşük maliyeti veren topraklama ağı tasarımında, toplam iletken uzunluğu, ağ gömülme derinliği ve topraklama çubuğu sayısı hesaplanmıştır. Toplam iletken uzunluğunun hesabı için, yine topraklanacak alanın x ve y doğrultusundaki göz sayıları optimizasyonundan yararlanılmıştır. Aynı zamanda bir trafo merkezinde topraklama ağını oluşturan, topraklama iletkenleri ve çubuklarının iki katmanlı toprağın hangi katmanına yerleştirileceği hususu, maliyetin ve topraklama direncinin minimum olması şeklinde izlenen stratejiyle ve $GPR<E_{dokunma}$ şartını da sağlayacak şekilde GA ve DGA kullanılarak incelenmiştir. Topraklama ağının iki katmanlı toprağın hangi katmanına yerleştirileceğinin tesbiti için, aynı anda iki katmanlı tüm toprak modeli yapıları analiz edilmiştir. Böylece emniyet şartını sağlayan en düşük maliyetli ağın, hangi katmanda olması gerektiği belirlenmiştir. Örneğin, iki katmanlı toprak modelinde, bir topraklama ağı tasarımında ağ alt katmanda, üst katmanda ya da her iki katmanda olabilir. Burada optimum topraklama ağı için, emniyet şartıyla beraber en düşük maliyetin hangi katmanda sağlandığı belirlenmiştir.

Tablo 7.19'da iki katmanlı toprak modelinde, optimum topraklama ağının toprağın hangi katmanında olması gerektiğini belirleyen örnek bir uygulama için giriş parametreleri verilmiştir. Uygulama girişlerine göre hesaplanan topraklama ağı iletken kesiti 52.03 mm^2 omasına rağmen, [135]'e göre 120 mm^2 iletken kesiti kullanılmıştır.

İki katmanlı toprak modelinde topraklama ağı alt katmanda, üst katmanda ya da topraklama iletkenleri üst katmanda topraklama çubukları her iki katmanda bulunabilir. Bu uygulamada, başlangıç popülasyonları farklı GA ve DGA ile topraklama ağını oluşturan iletken uzunluğu ve çubukların sayısının yanında ağ gömülme derinliği de optimize edilerek ağın hangi katmanda yer alması gerektiği belirlenmiştir. Tüm deneylerin ortalama değerleri olarak, ağın her iki katmanda, yani topraklama iletkenlerinin üst ve topraklama çubuklarının alt katmanda yer aldığı görülmesine rağmen, deneyler içerisinde en iyi değerlerde ağın üst katmanda olması gerektiği belirlenmiştir. Ayrıca programda deneyler içerisinden kaçar defa alt katmana, üst katmana ve her iki katmana girildiği sonuçların sayısı da tespit edilmiştir. Optimum sonuç için, topraklama ağının hangi katmanda olması gerektiği belirlenmiştir.

Yine tüm başlangıç popülasyonlu GA ve DGA'nın optimum ya da optimuma yakın sonuçlara ulaşabildiği görülmüştür. Deneylerin uygunluk ortalaması olarak en az başarılı olanlar Ortogonal ve Lojistik kaotik başlangıç popülasyonlu GA olmuştur. Genel itibariyle diğerlerinden daha az başarılı olan Ortogonal yönteminin yanında Lojistik kaotik yönteminin de yer alması, bu yöntemde başlangıç değerinin etkin olmasından kaynaklanmaktadır. Her ne kadar optimuma çok yakın sonuçlar bulabilse de, başlangıç popülasyonunun oluşturulmasında başlangıç değeri etkindir. Lojistik kaotik başlangıç popülasyonunda, başlangıç popülasyonu başlangıç değerine bağlı olarak değişik şekilde üretilir. Burada dikkat çeken diğer bir husus, Sobol metodunun da başarılı olduğudur. Ayrıca yine Faure metodu diğer uygulamalardaki gibi başarılıdır. Düzenli popülasyonlu metot ta popülasyon sayısı biraz daha artmış olduğu için uygunluk ortalaması olarak başarısı da artmıştır. Bu uygulamada DGA yine en başarılı olmasına rağmen, problem zorlaştıkça, optimum çözüme yaklaşma sayısının azaldığı görülmektedir.

Tablo 7.19. İki Katmanlı Toprak Modeli Örnek Uygulaması Girişleri

Tasarım Parametreleri	
Deney	80
N	40
G	30
ρ_1	80
ρ_2	150
ρ_s	2500
h_s	0.15
L_r	3
a	0.011
L	120
W	90
I_f	15000
t_s	0.5
S_f - D_f	0.1 - 1
h_1	4

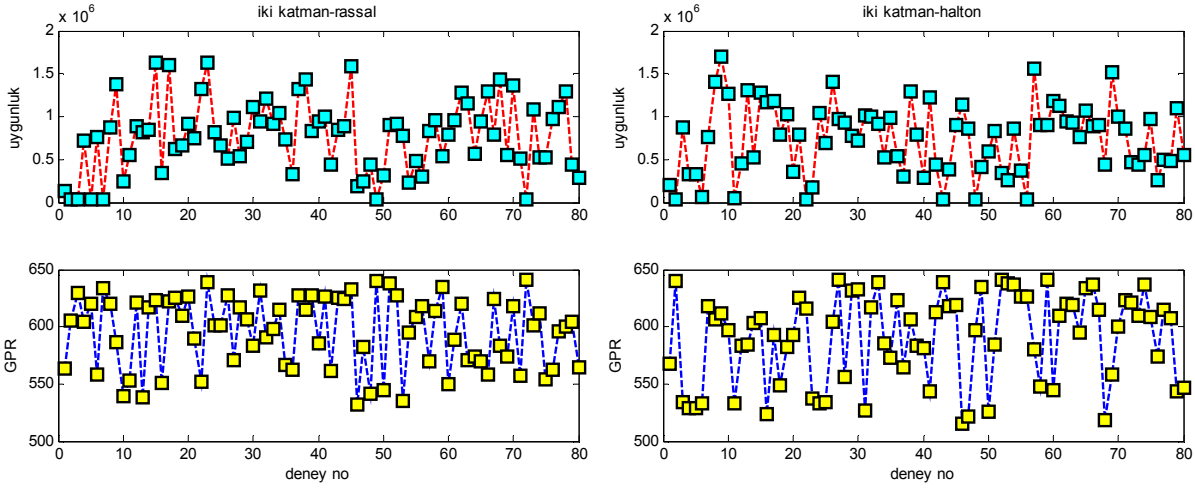
Bu giriş değerleriyle farklı başlangıç popülasyonlu GA ve DGA'ın her biri, 80' er kez çalıştırılarak (80·30=2400 iterasyon) Tablo 7.20 ve Şekil 7.9'daki sonuçlar elde edilmiştir. (3 m'lik çubuk fiyatı 125 TL alınmıştır.)

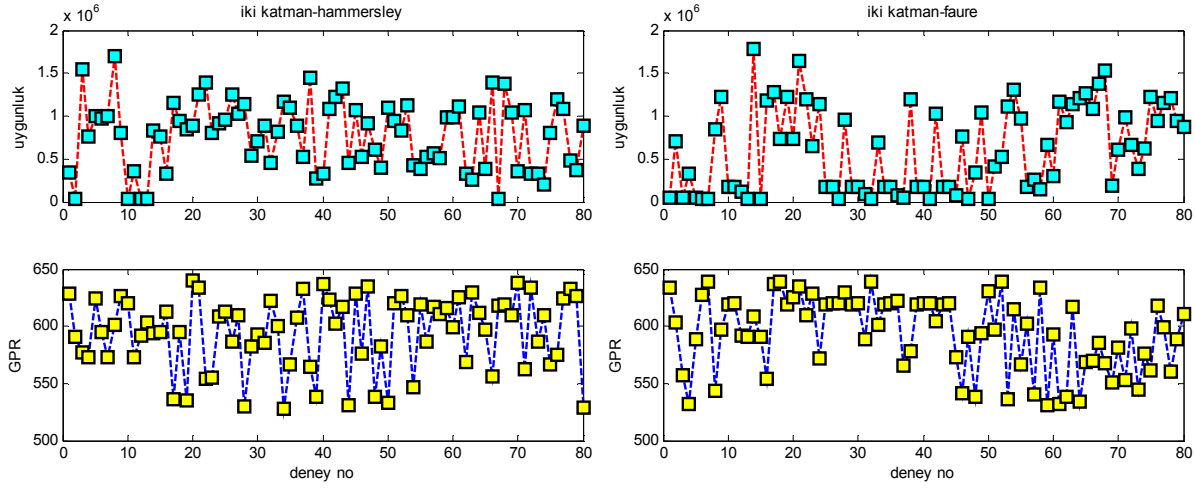
Tablo 7.20. İki Katmanlı Toprak Modeli Uygulaması
a) Rassal, Halton, Hammersley, Faure, Sobol Uygulamaları

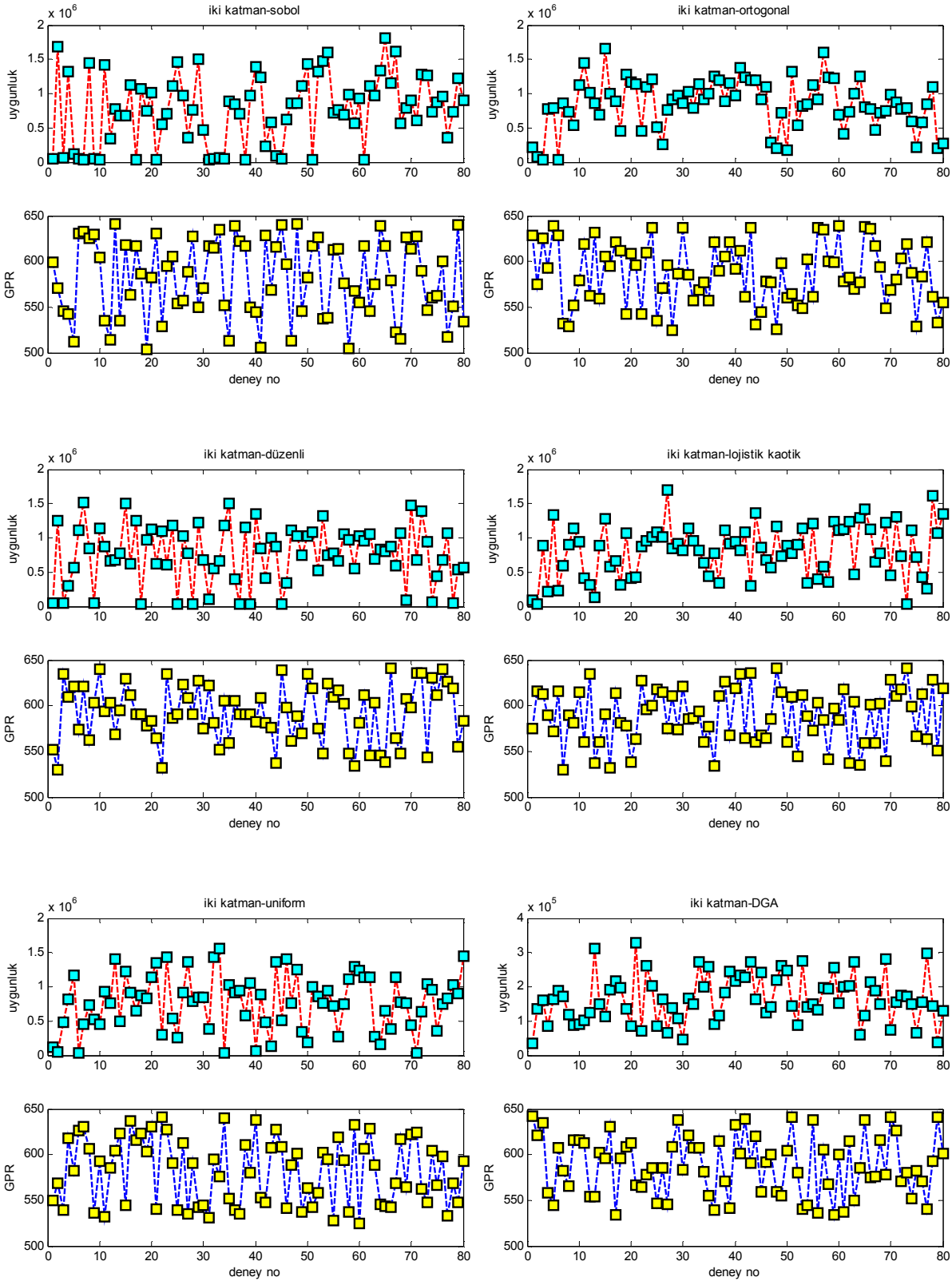
	Rassal		Halton		Hammersley		Faure		Sobol	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
Δl_x	1.1372	60	1.1029	60	1.0847	60	1.4017	60	1.1492	60
Δl_y	0.7721	45	0.8570	45	0.7589	45	0.95	45	0.8688	45
lin	105.5	2	108.8	2	110.62	2	85.61	2	104.42	2
col	116.56	2	105.01	2	118.6	2	94.73	2	103.58	2
$R_{t\text{-}iki}(\Omega)$	0.3878	0.4276	0.3826	0.4269	0.3873	0.4122	0.3806	0.4259	0.3744	0.4112
h_b	1.59	0.5	1.77	0.5	1.55	0.99	1.27	0.5	2.048	0.5
GPR (V)	581.72	641.38	573.83	640.37	580.88	618.28	570.93	638.79	561.58	616.78
$E_{dokunma\text{-}50}$(V)	641.80	641.80	641.80	641.80	641.80	641.80	641.80	641.80	641.80	641.80
L_C (m)	23695	630	22605	630	24398	630	19283	630	22039	630
n_r	190.38	142	191.32	128	188.56	150	184.45	144	136.61	128
C (10^5)	7.5770	0.34681	7.3896	0.32931	7.7540	0.36839	5.9687	0.34931	7.3730	0.32931
F (10^5)	7.7156	0.34681	7.4170	0.32930	7.7973	0.36815	6.1439	0.34928	7.6313	0.32906
Hangi Katman?	HİK	ÜK	HİK	ÜK	HİK	ÜK	HİK	ÜK	HİK	ÜK
UOGDS	43		45		46		40		41	
EŞSDS	0		0		0		0		0	
EİYDS	4		1		4		3		0	
EİDS	1		1		1		2		4	
AKDS	0		0		0		0		0	
ÜKDS	23		18		20		38		18	
HİKDS	57		62		60		42		62	

b) Ortogonal, Düzenli, Lojistik, Uniform, DGA Uygulamaları

	Ortogonal		Düzenli		Lojistik		Uniform		DGA	
	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi	Ort.	En İyi
Δl_x	0.9672	60	1.1722	60	1.0783	60	1.024	60	5.0235	60
Δl_y	0.7150	45	0.7530	45	0.6896	45	0.7763	45	4.2629	45
lin	124.07	2	102.37	2	111.28	2	117.18	2	23.88	2
col	125.87	2	119.52	2	130.51	2	115.93	2	21.11	2
$R_{t\text{-}iki}(\Omega)$	0.3827	0.4193	0.3842	0.4259	0.3832	0.4276	0.3777	0.4161	0.3817	0.4279
h	1.46	0.5	1.49	0.5	1.45	0.5	1.4	0.62	1.19	0.76
GPR (V)	573.98	628.97	576.32	638.79	574.83	641.38	566.5	624.07	572.51	641.79
$E_{dokunma\text{-}50}$ (V)	641.80	641.80	641.80	641.80	641.80	641.80	641.80	641.80	641.80	641.80
L_C (m)	26482	630	23767	630	25887	630	24669	630	4893.4	630
n_r	192.7	152	191.1	144	190.9	142	199.96	153	180.81	136
C (10^5)	8.3139	0.35931	7.5082	0.34931	8.1236	0.34681	7.7118	0.36340	1.6689	0.34550
F (10^5)	8.3876	0.35918	7.5907	0.34928	8.1365	0.34681	7.7293	0.36322	1.6689	0.34550
Hangi Katman?	HİK	ÜK	HİK	ÜK	HİK	ÜK	HİK	ÜK	HİK	ÜK
UOGDS	44		45		44		42		35	
EŞSDS	0		0		0		0		0	
EİYDS	1		2		1		0		3	
EİDS	1		1		1		1		1	
AKDS	0		0		0		0		0	
ÜKDS	80		25		23		29		29	
HKDS	0		55		57		51		51	







Şekil 7.9. İki Katmanlı Toprak Modeli Uygulaması

7.3.3. Topraklama Ağı Tasarımında Matlab Optimizasyon Toolbox ve GA Karşılaştırması Üzerine Uygulama

Teknik bir programlama dili olan Matlab'ın varsayılan önemli üstünlüklerinden biri, birçok algoritma kulanılarak yapılacak işlemin sadece bir komut ile kullanıcının hizmetine sunulmasıdır. Bu bölümde, çok boyutlu kısıtlı sayısal optimizasyon halini alan yüksek gerilimli trafo merkezlerinin topraklama ağlarının tasarımı için optimizasyon toolbox yazılımı içinde kullanılan Matlab komutu ile Rassal Genetik Algoritmalar (RGA) metodu karşılaştırılmıştır.

Dinamik optimizasyon problemlerinin çözümünde evrimsel algoritma yöntemlerinin yanısıra doğrusal olmayan programlama metodu da kullanılmaktadır. Matlab optimizasyon paketi içinde, kısıtlı (sınırlandırılmış) çok değişkenli fonksiyonun optimumunu, doğrusal olmayan program mantığıyla bulan hazır bir 'fmincon' fonksiyonu mevcuttur. Fonksiyon gradient hesaplamaları sonlu farklar esasına, quadratik veya kübik yön arama quasi-newton yöntemine dayanmaktadır. 'fmincon' adı ile toplanmış bu algoritmada doğrusal olmayan programlama yöntemlerinden en gelişmişi olarak bilinen SQP (Sequential Quadratic Programming) yöntemi kullanılmaktadır.

Yüksek gerilimli trafo merkezlerinin tasarımına başlanırken yapılması gereken en önemli işlerden biri de, şalt sahasının topraklama ağının güvenli ve ekonomik olarak tasarlanmasıdır. Yıllarca kullanılacak olan trafo merkezinin topraklama ağıyla ilgili sorunlarını sonradan düzeltmek çok tehlikeli ve bir o kadar da masraflıdır. Bu yüzden başlangıçta bu işin tutarlı yapılması mecburiyeti vardır. Yüksek gerilimli trafo merkezlerinin topraklama ağlarının tasarlanması problemi, sınırlayıcılı bir optimizasyon problemidir. Bu optimizasyon probleminin çözümünde bu çalışmada, hem sezgisel algoritmalardan RGA metodu hem de SQP yöntemiyle oluşturulmuş olan Matlab optimizasyon toolboxtaki 'fmincon' komutu ayrı ayrı kullanılarak performansları, avantaj ve dezavantajları ortaya konulmaya çalışılmıştır.

7.3.3.1. Doğrusal Olmayan Programlama

Doğrusal olmayan programlama problemi, genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\text{Min,max } f(x_{1,2,3,\ldots,n}) \tag{7.8}$$

$$\text{Kısıtlar} \begin{Bmatrix} g_1(x_{1,2,3,\ldots n})(\leq,=\text{veya}\geq)b_1 \\ g_2(x_{1,2,3,\ldots n})(\leq,=\text{veya}\geq)b_2 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ g_m(x_{1,2,3,\ldots n})(\leq,=\text{veya}\geq)b_m \end{Bmatrix} \tag{7.9}$$

(7.8)'de f problemin minimize ya da maksimize edilecek amaç fonksiyonudur. (7.9)'daki g_i ler de kısıtlayıcılardır. f fonksiyonu g_i kısıtlayıcıları altında optimize edilecektir. f ve g fonksiyonlarından en az biri doğrusal değilse, problem doğrusal olmayan programlama problemidir.

7.3.3.2. SQP (Ardışık Kuadratik Programlama)

Kuadratik programlama doğrusal olmayan programlama türlerinin en gelişmişidir. Kuadratik amaç fonksiyonu doğrusal kısıtlardan oluşan doğrusal olmayan programlamaya kuadratik programlama denilmektedir. Amaç fonksiyonu doğrusallaştırılır. Ayrıca kısıtlar da doğrusallaştırılır. Bu yüzden çözüm bölgesi konvekstir. Kuhn-Tucker (KT) koşullarını sağlayan çözüm, problemin optimum çözümü olacaktır. KT eşitliklerinin çözümü, doğrusal olmayan programlama algoritmasının temelini oluşturur. Bu yöntemde, Lagrange çarpanları doğrudan hesaplanmaya çalışılır. Sınırlanmış quasi-newton yönteminde de KT dikkate alınarak yakınsama yapılır. Bu yöntemler genel olarak SQP yöntemleridir. SQP yönteminde belirli bir başlangıç noktasından hareketle çözüm aranmaktadır. SQP algoritmasının temelinde, başlangıç değerlerinin seçimi vardır.

SQP yönteminde, her iterasyonda bir kuadratik programlama alt problemi çözülerek sonuca gidilir. BFGS (Broyden, Fletcher, Goldfard, Shanno) formülü kullanılarak desteklenen SQP algoritmasında hızlandırma yapılmıştır. Her bir iterasyondaki yaklaşıma göre, quasi-newton güncelleme işlemi kullanılarak Lagrangian fonksiyonunun Hessian'ı hesaplanıp her iterasyonda yenilenmekte ve kuadratik programlama alt probleminde kullanılmaktadır. Yani her bir iterasyonda Lagrangian fonksiyonu için Hessian pozitif tanımlı olarak quasi-newton yaklaşımına göre BFGS yöntemi kullanılarak hesaplanır. Bulunan çözümler hat arama prosedürüne göre tarama yönünün belirlenmesinde kullanılmaktadır. Tarama yönü kuadratik veya kübik gibi polinom yöntemleri kullanılarak belirlenir [181-184].

7.3.3.3. 'fmincon' Komutu İle Topraklama Ağı Tasarım Örneği

'fmincon' komutu lineer olmayan çok değişkenli bir fonksiyonu, lineer ve lineer olmayan kısıtlar altında optimize etmek için kullanılmaktadır. 'fmincon' komutu ile oluşturulacak olan ana programın çalışabilmesi için öncelikle, kısıtlayıcılar için bir m-file oluşturulması gerekir. 'fmincon' komutu ile yapacağımız topraklama ağı örnek tasarımında kısıtlar şunlar alınmıştır.

* Maliyet(C)>0, GPR - $E_{dokunma-50}$=-0.1 ya da $E_m - E_{dokunma-50}$=0.1, $h \geq 0.5$, $n_r \geq 10$, $D \geq 2$

Bu kısıtlara göre yazılan m-file (sqp1) Şekil 7.10'daki gibidir.

```
function [C,D] = sqp1(x)
en=200;boy=250;cubukboy=3;akim=20000;
iletkenfiyat=20;cubukfiyat=144;ozdirenc=200;yuzeyozdirenc=2500;kesit=120;kalinlik=0.2;
kisadevresure=0.5;cap=(((kesit*4)/pi)^0.5)/1000;
C(1)=-
1*((((boy*x(3)*((en/x(1))+1)*0.75)+(en*x(3)*((boy/x(1))+1)*0.75))*5)+(cubukfiyat*x(2))
+(iletkenfiyat*(en+boy+((en*boy)/x(1))+((en*boy)/x(1)))));
C(2)=-x(1)+2;
C(3)=-x(2)+10;
C(4)=-x(3)+0.5;
na=2*(en+boy+((en*boy)/x(1))+((en*boy)/x(1)))/(2*(en+boy));
nb=(((2*(en+boy))/(4*((en*boy)^0.5)))^0.5);
nc=1;
nd=1;
n=na*nb*nc*nd;
kh=((1+x(3))^0.5);
ki=(0.644+(0.148*n));
vg=log((x(1)*x(1)/(16*x(3)*cap))+((x(1)+(2*x(3)))^2/(8*cap*x(1)))-(x(3)/(4*cap)));
gt=log(8/(pi*((2*n)-1)));
kmc=(1/(2*pi))*(vg+((1/kh)*gt));
payda=(en+boy+((en*boy)/x(1))+((en*boy)/x(1)))+((cubukboy*x(2))*(1.55+(1.22*(cubukboy/
(boy^2+en^2)^0.5))));
cs=1-(((1-(ozdirenc/yuzeyozdirenc))/((2*kalinlik)+0.09))*0.09);
dokunma=(1000+(1.5*cs*yuzeyozdirenc))*0.116/((kisadevresure)^0.5)
adimpayda=((en+boy+((en*boy)/x(1))+((en*boy)/x(1)))*0.75)+(0.85*cubukboy*x(2));
ks=(1/pi)*((1/(2*x(3)))+(1/(x(1)+x(3)))+((1/x(1))*(1-(0.5^(n-2)))));
hesaplananadim=(ozdirenc*akim*ks*ki)/(adimpayda)
adim=(1000+(6*cs*yuzeyozdirenc))*0.116/((kisadevresure)^0.5)
xx=1+(1/(1+(x(3)*((20/(en*boy))^0.5))));
xxx=xx/((20*en*boy)^0.5);
rt=ozdirenc*((1/((en+boy+((en*boy)/x(1))+((en*boy)/x(1)))+(x(2)*cubukboy)))+xxx);
gpr=0.1*akim*rt
hesaplanandokunma=((ozdirenc*akim*kmc*ki)/payda)
iletkenuzunlugu=(en+boy+((en*boy)/x(1))+((en*boy)/x(1)))
D=((ozdirenc*akim*kmc*ki)/payda)-(dokunma+0.1)
```

Şekil 7.10. Kısıtlar İçin Oluşturulan m-file

Görüldüğü gibi kısıtlar için oluşturulan m-file içerisine, toplam iletken uzunluğunun nasıl hesaplanacağı da yazılmıştır. Toplam iletken uzunluğu, iletkenler arası mesafeden (D) bulunur. Ayrıca adım gerilimi, müsaade edilebilir maksimum adım gerilimi ve GPR de hesaplanmıştır. Böylece topraklama ağı tasarımı probleminin sağlaması da yapılmış olunur.

```
x0=[5;10;0.5],A=[],b1=[],B=[];
b2=[],Dalt=[],Dust=[];
[x,fonkdegeri,kontrol]=fmincon('((((250*x(3)*((200/x(1))+1
)*0.75)+(200*x(3)*((250/x(1))+1)*0.75))*5)+(144*x(2))+(20*
(200+250+((200*250)/x(1))+((200*250)/x(1)))))',x0,A,b1,B,b
2,Dalt,Dust,'sqp1')
```

Şekil 7.11. Ana Program İçin Oluşturulan m-file

Yukarıdaki ana program (sqp2) çalıştırıldığında x0 başlangıç değerlerine ve kısıtlayıcılara (sqp1) göre sonuç bulunacaktır. Ana programda amaç fonksiyonu maliyetin

minimizasyonudur. Dolayısıyla minimum maliyetli, GPR'nin 50 kg ağırlığındaki insan vücudu için hesaplanan müsaade edilebilir maksimum dokunma geriliminden ($E_{dokunma-50}$) küçük olması emniyet şartını sağlayan ve gömülme derinliğinin (h) ≥ 0.5, çubuk sayısının(n_r) ≥ 10, iletkenler arası mesafenin(D) ≥ 2 olmasını sağlayan toplam iletken uzunluğu, çubuk sayısı ve ağ gömülme derinliği tasarım parametreleri optimize edilmektedir.

'fmincon' optimizasyon komutu ile uniform toprak modeli kullanılarak elde edilen topraklama ağı tasarım sonuçları şu şekildedir:

D=5.2097,(L_C=19645 m), n_r=10, h=0.5288 m.

7.3.3.4. Karşılaştırma Uygulamaları

7.3.3.3 bölümündeki 'fmincon' uygulamasında başlangıç değerleri olarak 5, 10, 0.5 alınan uygulamayı, 30, 20, 0.5 başlangıç değerleri alarak, RGA ile karşılaştırıldığında 'fmincon' un bu başlangıç değerleriyle yakınsama sağlanamadığı görülmüştür.

Bu uygulamada, IEEE Std.80-2000'e göre GPR<$E_{dokunma-50}$ emniyet şartı aranmıştır. Ayrıca maliyetin minimum olması amacı da güdülmüştür. RGA için; populasyon sayısı(N)=100, maksimum generasyon sayısı=40 alınmıştır. 'fmincon' komutunda başlangıç değerleri olarak; x(1), (D)=2; x(2), (n_r)=10; x(3), (h)=0.5 alınmıştır.

Tablo 7.21. IEEE Std.80-2000'e Göre Yapılan Topraklama Ağı Tasarım Sonuçları

Program Girdileri			fmincon x0=30, 20, 0.5	RGA
ρ (Ω·m)	200	D(m)	177.6	5.2632
ρ_s (Ω·m)	2500	n_r	1765.4	76
h_s(m)	0.2	h(m)	6.5	0.5
l_r(m)	3	L_C(m)	1013.1	19450
L_x(m)	200	E_m(V)	675.17	674.87
L_y(m)	250	$E_{dokunma-50}$(V)	675.27	675.27
I_G(A)	20000	C(TL)	$2.9923 \cdot 10^5$	$4.3641 \cdot 10^5$
t_s(sn)	0.5			

Tablo 7.22'de görüldüğü gibi, optimize edilecek parametrelerin sınır değerleri olan 2,10,0.5 başlangıç değerleriyle Matlab optimizasyon toolboxtaki 'fmincon' komutuyla yakınsama sağlanılamamıştır.

Tablo 7.22'de RGA ile bulunan D, n_r, h değerlerine yakın Tablo 7.23'deki başlangıç değerleri alınarak, 'fmincon' komutuyla oluşturulan program çalıştırıldığında, tasarım sonuçları değişmekte ve yakınsama sağlanmaktadır.

Tablo 7.22. Farklı Başlangıç DeğerleriyleYapılan Topraklama Ağı Tasarım Sonuçları

Program Girdileri			fmincon	GA
ρ (Ω·m)	100	D(m)	18316	16.051
ρ_s (Ω·m)	5000	n_r	425	10
h_s(m)	0.1	h(m)	0.501	0.5
l_r(m)	3	L_C(m)	201.1	1446
L_x(m)	100	GPR(V)	1020.1	1020.1
L_y(m)	100	R_t(Ω)	0.5101	0.5101
I_G(A)	20000	$E_{dokunma-50}$(V)	1020.2	1020.2
t_s(sn)	0.5	C(TL)	65602	33072

Tablo 7.23. 'fmincon' Komutunda RGA Referanslı Başlangıç Değerleri Alınmasıyla Topraklama Ağı Tasarım Sonuçları

x0 20,10,0.5	D	n_r	h	L_C
	16.0466	10	0.5	1446.4
	GPR	$E_{dok.-50}$	C	R_t
	1020.1	1020.2	33079	0.5101

Uygulamalarda hem Matlab optimizasyon toolboxtaki doğrusal olmayan programlama yöntemlerinden en gelişmişi olan SQP'yi kullanan 'fmincon' komutu, hem de sezgisel yöntemlerden RGA metodu kullanılmıştır. Her iki yöntemle de optimum topraklama ağı tasarlanılabilinmiştir. Ancak, 'fmincon' komutuyla yapılan uygulamalarda, çözüm algoritması içinde yer alan başlangıç değerlerinin, iyi seçilmesi gerektiği ya da her seçilen değerle yakınsamaya gidemediği ortaya çıkmıştır. 'fmincon' komutuyla yakınsamanın sağlanamadığı durumlarda, başlangıç değerleri RGA ile bulunan değerler alındığında 'fmincon' komutunun da yakınsamaya gittiği görülmüştür.

7.3.4. Ağ İndüktansının Etkisi Üzerine Uygulama

Ağ indüktansına, karesel göz boyutu ve dolayısıyla göz sayısı, iletken kesiti, ağın uzunluk/genişlik oranı, transformatör merkezi besleme noktası etki etmektedir. Bütün bunlar, optimum topraklama ağı hedefinde, aynı zamanda güvenlik ölçütlerine ve maliyete de etki eder. Ağ indüktansına etki eden uzunluk/genişlik oranı nedeniyle bu bölümde, hem kare hem de dikdörtgen topraklama ağları modellenmiş, hangisinin daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca besleme noktasına göre de analiz ve tasarım yapılmıştır.

Ağın kare ya da dikdörtgen şekilli olması durumlarında, hem geometrik şeklinin hem de besleme noktasının topraklama ağı tasarımına etkilerini incelemek amacıyla, 6400 m^2 alanlı trafo merkezinin topraklama ağı hem kare (80x80) hem de dikdörtgen (100x64) şekilli olarak RGA ile tasarlanmıştır. Uygulamalar için simulasyon girişleri Tablo 7.24'teki gibidir.

Tablo 7.24'deki giriş değerlerine göre, merkezinden ve köşeden beslenecek olan kare ve dikdörtgen şeklindeki bir trafo merkezinde optimum topraklama ağı RGA metoduyla tasarlanmış ve Tablo 7.25 ve Şekil 7.12'deki değerler elde edilmiştir. Tasarımda minimum maliyet ve minimum ağ indüktansının yanında GPR ve dokunma geriliminin müsaade edilebilir maksimum değerinden ve adım geriliminin de müsaade edilebilir maksimum adım geriliminden küçük olması şartları birlikte sağlanmıştır.

Tablo 7.24. Ağ İndüktansı İçinKare ve Dikdörtgen Şekilli Topraklama Ağı Tasarım Giriş Parametreleri

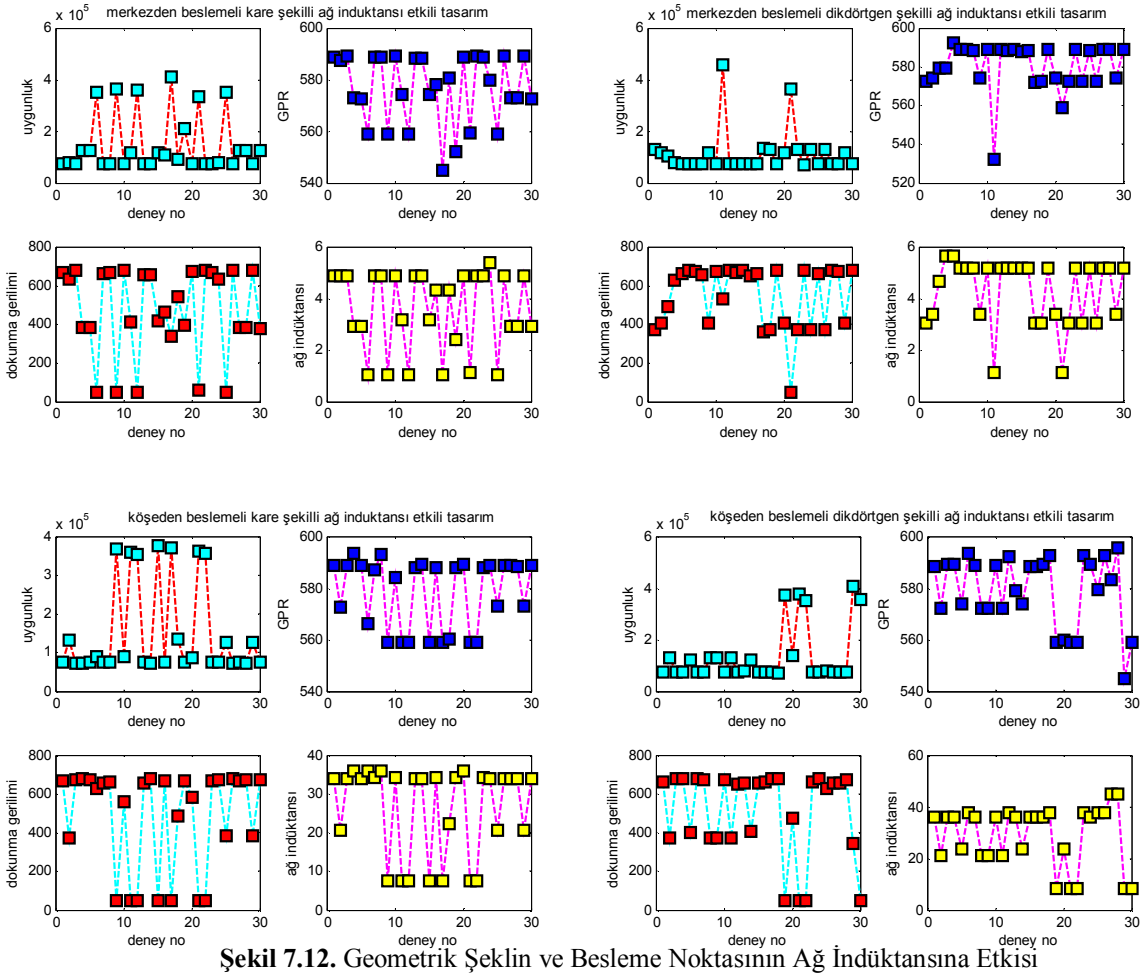
Simulasyon Girişleri		
Deney	30	
N	40	
G	40	
ρ	100	
ρ_s	3000	
h_s	0.1	
l_r	3	
L-W	100-100	100-64
I_G	10000	
t_s	0.5	
$C_{iletken}$	25	
$C_{çubuk}$	144	

Ağ tasarımında;-Karesel göz boyutu, Çubuk sayısı, ağ gömülme derinliği optimizasyonu yapılacaktır. Arama sınırları, Karesel göz boyutu için [2,255], çubuk sayısı için [10, 255], ağ gömülme derinliği için [0.5, 5] arasında olması yeterlidir.

Topraklama ağının indüktansı, karesel göz boyutuna, kullanılacak iletkenin kesitine dolayısıyla yarıçapına, besleme noktasına ve ağın kare ya da dikdörtgen geometrik şekline bağlıdır. RGA'ya dayalı yapılan uygulamalardan, dikdörtgen şekilli ağ tasarımlarında ağ indüktansının kare şekilli topraklama ağına göre daha fazla olduğu görülmüştür. Başka bir uygulama sonucu da, köşeden besleme durumunda ağ indüktansının, merkezden besleme durumuna göre arttığıdır. Ağ indüktansının minimum olması için, besleme noktasının ağın merkezinde olması ve ağın geometrik şeklinin kare şeklinde olmasının avantajlı olacağı, topraklama ağı tasarımlarında da görülmüştür. Göz sayısının artırılmasıyla dolayısıyla daha fazla iletken kullanılmasıyla, ağ indüktansı düşürülebilinecekse de Dünya metal borsasında gün geçtikçe fiyatı yükselen ve spekülatif değişen bakır iletkenden kaynaklanan maliyet te oldukça fazla artacaktır. Bu nedenle maliyeti ve emniyet şartlarını ($GPR<E_{dokunma}$) da içine alan minimum ağ indüktansını sağlayan optimum topraklama ağı tasarımı GA'ya dayalı olarak yapılmıştır.

Tablo 7.25. Ağ Geometrik Şekli ve Besleme Noktasının Ağ İndüktansı Etkili Tasarıma Etkisi

Simulasyon Sonuçları	Kare		Dikdörtgen	
	Merkezden Beslemeli	Köşeden Beslemeli	Merkezden Beslemeli	Köşeden Beslemeli
$S_{hesaplanan}$ (mm^2)	24.5	24.5	24.5	24.5
$S_{kullanılan}$ (mm^2)	120	120	120	120
$Göz_x$	15	11	19	14
$Göz_y$	15	11	12	9
D (m)	5.3333	7.27	5.2632	7.1429
R_t (Ω)	0.5892	0.5933	0.5887	0.5924
GPR (V)	589.15	593.29	588.73	592.44
h (m)	0.5	0.54	0.54	0.62
E_m (V)	680.14	678.06	679.82	678.54
$E_{dokunma-50}$ (V)	680.80	680.80	680.80	680.80
E_s (V)	653.4	507.06	623.72	464.57
$E_{adım-50}$ (V)	2231.1	2231.1	2231.1	2231.1
L_C (m)	2560	1920	2596	1956
n_r	29	145	14	127
C (TL)	72976	72768	72173	71736
L_s	4.88	35.80	5.17	37.67



Şekil 7.12. Geometrik Şeklin ve Besleme Noktasının Ağ İndüktansına Etkisi

7.3.5. Darbe Empedansının Etkisi Üzerine Uygulama

Topraklama ağının göz sayısı ve dolayısıyla göz boyutlarının GPR ve maliyete etkisinin yanında darbe empedansına da etki etmektedir. Topraklama ağının uzunluk/genişlik oranının darbe empedansına etki eden parametrelerinden olması nedeniyle, ağın kare ya da dikdörtgen şekilli olması ve merkezinden ya da köşeden besleme durumları için optimum topraklama ağı ayrı ayrı tasarlanmıştır. Kare ya da dikdörtgen şekilli topraklama ağlarından hangisinin avantajlı olduğu, transformatör merkezinin besleme noktasının merkezden ya da köşeden olmasında hangisinin avantajlı olduğu Matlab' ta hazırlanan RGA'ya dayalı programlar ile gösterilmiştir. Tasarımda uniform toprak modeli kullanılmıştır.

Topraklama ağının geometrik şeklinin ve besleme noktasının, darbe empedansına ve ağ tasarımına etkisini RGA yardımıyla belirlemek için Tablo 7.26'daki girişler alınmıştır. Bu uygulamada emniyet şartı olarak hem GPR hem de adım ve dokunma gerilimleri şartları sağlanmıştır.

Darbe empedansının hesabında hem kare hem de dikdörtgen topraklama ağlarında göz boyutunun karesel olması gerektiğinden, topraklama ağının tasarımında göz boyutu optimizasyonu kullanılmıştır. Gerek kare gerekse dikdörtgen topraklama ağlarında GA metoduyla [Toplam çubuk sayısı, Ağın 1 gözünün karesel göz boyutu, ağ gömülme derinliği] optimize edilecektir.

Tablo 7.26'daki giriş değerlerine göre, merkezinden ve köşeden beslenecek olan kare ve dikdörtgen şeklindeki bir trafo merkezinde optimum topraklama ağı RGA metoduyla Tablo 7.27'deki sonuçlarla tasarlanmıştır.

Tablo 7.26. Darbe Empedansı İçin Kare ve Dikdörtgen Şekilli Topraklama Ağı Tasarım Giriş Parametreleri

Simulasyon Girişleri		
Deney	20	
N	60	
G	40	
ρ	100	
ρ_s	5000	
h_s	0.1	
l_r	3	
L-W	100-100	110-91
I_G	20000	
t_s	0.5	
$C_{iletken}$	25	
$C_{çubuk}$	144	

Bu bölümde, topraklama ağı tasarımında ağın darbe empedansının da hesaba katılarak RGA yardımıyla optimizasyonu sağlanmıştır. RGA metoduyla, hem kare hem de dikdörtgen şekilli topraklama ağlarında ve besleme noktasına göre optimum tasarım yapılmıştır. Topraklama ağı tasarımında, çalışmamızda kullanılan göz boyutunun optimizasyonu literatürde ilktir. Göz boyutu optimizasyonu ile, dikdörtgen topraklama ağlarının tasarımında da göz boyutunun kareselliği sağlanmış ve toplam iletken uzunluğu hesaplanmıştır. RGA metodunun, hem GPR'nin müsaade edilebilir maksimum dokunma geriliminden küçük olması, hem minimum maliyet, hem de minimum darbe empedansına ek olarak adım ve dokunma gerilimlerinin müsaade edilebilir değerlerinden küçük olması şeklindeki birçok şartı birlikte sağladığı gösterilmiştir. Aynı alana sahip kare ve dikdörtgen topraklama ağlarından, kare topraklama ağlarında darbe empedansının , dikdörtgen topraklama ağlarına göre az da olsa daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca besleme noktasının köşeden olması durumunda darbe empedansının merkezden beslemeye göre yaklaşık 2.6 kat arttığı tespit edilmiştir. Bu nedenle darbe empedansının minimum olması için, topraklama ağının kare şeklinde olması ve transformatör merkezinin merkezden beslemeli olmasının daha avantajlı olacağı söylenebilir.

Tablo 7.27. Ağ Geometrik Şekli ve Besleme Noktasının Darbe Empedansı Etkili Tasarıma Etkisi

Simulasyon Sonuçları	Kare		Dikdörtgen	
$S_{hesaplanan}(mm^2)$	49		49	
$S_{kullanılan}(mm^2)$	120		120	
$Göz_x$	19		20	
$Göz_y$	19		17	
D (m)	5.2632		5.5	
R_t (Ω)	0.4668		0.4664	
GPR (V)	933.5		932.88	
h (m)	0.54		0.62	
E_m (V)	1016.8		1017.7	
$E_{dokunma-50}$ (V)	1020.2		1020.2	
E_s (V)	976.93		863.9	
$E_{adım-50}$ (V)	3588.7		3588.7	
L_C (m)	4000		3840	
n_r	10		28	
C (TL)	109540		108998	
Z_d	Merkez	Köşe	Merkez	Köşe
	1.68	4.3	1.72	4.43

7.3.6. İki Katmanlı Toprak Modelinde Topraklama Çubuklarının Etkisi Üzerine Uygulama

Bu bölümde, iki katmanlı toprak modeli yapılarında güvenli bir topraklama ağı tasarımı için RGA metodu ile yapılan topraklama çubuklu ve çubuksuz ağ tasarımları karşılaştırılmıştır. Topraklama ağı tasarımlarında hem GPR'nin müsaade edilebilir maksimum dokunma gerilimi ($E_{dokunma}$)'nden küçük olması esası hem de minimum maliyet hedeflenmiştir. Önerilen yaklaşım ve metod ile kolay, hızlı, tutarlı, düşük maliyetli ve emniyet koşullarını sağlayacak şekilde hem çubuklu hem de çubuksuz ağ tasarlanabileceği gösterilmiştir. Ağ tasarımlarında topraklama çubuklarının güvenli çalışma koşullarını yerine getirmesindeki rolü, maliyet analizi yapılarak belirlenmiştir. İki katmanlı toprak modelinde topraklama çubuklarının etkisini göstermek için, topraklama ağının üst katmanda, alt katmanda ve her iki katmanda yer aldığı uygulamalar yapılacaktır.

Tablo 7.28. Üst Katmanda Topraklama Ağı Dizaynı (Çubuklu ve Çubuksuz)

	Giriş Değerleri			RGA Sonuçları	
	Çubuklu	Çubuksuz		Çubuklu	Çubuksuz
Pop.(N)	200	200	lin	2	8
Max.Gen.	20	20	col	2	6
ρ_1 (Ω·m)	50	50	$R_{t\text{-}iki}$ (Ω)	0.393	0.3946
ρ_2 (Ω·m)	100	100	h_b (m)	0.5	3.22
ρ_s (Ω·m)	2500	2500	GPR (V)	589.55	591.85
h_s (m)	0.1	0.1	$E_{dokunma\text{-}50}$ (V)	592.13	592.13
L_r(m)–a(m)	3-0.02	-	L_C (m)	600	1600
L–W(m)	100-100	100-100	n_r	42	-
I_f(A)	15000	15000	Exc. (TL)	1125	19320
t_s (sn)	0.5	0.5	C (TL)	21375	59320
h_1 (m)	4	4	S (mm^2)	120	120

Tablo 7.29. Alt Katmanda Topraklama Ağı Dizaynı (Çubuklu ve Çubuksuz)

	Giriş Değerleri			RGA Sonuçları	
	Çubuklu	Çubuksuz		Çubuklu	Çubuksuz
Pop. (N)	200	200	Lin	2	34
Max. Gen.	20	20	Col	2	48
ρ_1 (Ω·m)	300	300	$R_{t\text{-}iki}$ (Ω)	0.231	0.231
ρ_2 (Ω·m)	180	180	h_b (m)	3.28	4.92
ρ_s (Ω·m)	5000	5000	GPR (V)	797.04	797.05
h_s (m)	0.15	0.15	$E_{dokunma\text{-}50}$ (V)	797.27	797.27
L_r (m)–a (m)	2.5-0.02	-	L_C (m)	1200	16800
L–W(m)	200-200	200-200	n_r	185	-
I_f (A)	34500	34500	Exc. (TL)	14760	309960
t_s (sn)	1	1	C (TL)	67885	729960
h_1 (m)	1	1	S (mm^2)	120	120

Tablo 7.30. Her İki Katmanda Topraklama Ağı Dizaynı (Çubuklu ve Çubuksuz)

	Giriş Değerleri			RGA Sonuçları	
	Çubuklu	Çubuksuz		Çubuklu	Çubuksuz
Pop. (N)	200	200	lin	2	21
Max. Gen.	20	20	Col	2	18
ρ_1 (Ω·m)	150	150	$R_{t\text{-}iki}$ (Ω)	0.1536	0.1535
ρ_2 (Ω·m)	80	80	h_b (m)	3.95	4.96
ρ_s (Ω·m)	3000	3000	GPR (V)	483.9	483.4
h_s (m)	0.1	0.1	$E_{dokunma\text{-}50}$ (V)	484.1	484.1
L_r (m)–a (m)	4-0.01	-	L_C (m)	1500	10250
L–W(m)	250-250	250-250	n_r	232	-
I_f (A)	31500	31500	Exc. (TL)	22219	190650
t_s (sn)	1	1	C (TL)	66759	344400
h_1 (m)	5	5	S (mm^2)	120	120

$GPR<E_{dokunma}$ ve minimum maliyetin birlikte arandığı ağ tasarımlarında, topraklama iletkenlerindense topraklama çubuklarının kullanılmasının daha avantajlı olduğu, tüm iki katmanlı toprak modeli yapılarında yapılan hem çubuklu hem de çubuksuz uygulamalarda görülmüştür. İki katmanlı toprak modelinde topraklama çubukları kullanılmadığında mecburen

artan iletken uzunluğu nedeniyle maliyet çok yükselecektir. Ayrıca iki katmanlı toprak modelinin her üç yapısında da topraklama çubuklu ağ tasarımı yapılabildiği halde, iletken uzunluğunu verecek göz sayıları arama aralığının yetersiz gelmesi nedeniyle, topraklama çubuğu kullanılmadan ağ tasarımının yapılamadığı uygulamalara da rastlanılmıştır. Bu nedenle iki katmanlı toprak modelinde, hem en düşük maliyet hem de GPR'nin müsaade edilebilir maksimum dokunma geriliminden düşük olmasını sağlamak için, yüksek gerilimli trafo merkezlerindeki topraklama ağında topraklama çubuklarının kullanılması gereklidir. Ayrıca topraklama çubuklarının kullanılmasıyla, yazın üst katmanın kuruması ya da kışın alt katmanın donması gibi mevsimsel tehlikelerin etkileri azaltılmış olunacak ve istenilen topraklama direnci değeri elde edilebilecektir.

7.3.7. İletken Cinsinin Etkisi Üzerine Uygulama

Son yıllarda, bakır fiyatları tüm dünyada hızlı ve sürekli yükselişler göstermiştir. Bu duruma bağlı olarak, yüksek gerilim transformatör merkezlerinin topraklama ağlarında kullanılan bakır iletkenlerin yükselen fiyatlarından kaynaklanan maliyet artışları dikkate değerdir. Yükselen bakır fiyatları karşısında, [185-186]'da elektrik enerjisi iletim, dağıtım ve kullanımında bakır kabloların yerine alüminyum iletkenli kablo kullanılmasının avantajlarından bahsedilmiştir. Bu bölümde, Ülkemizde kullanılan bakır iletkenli topraklama ağları, yükselen bakır fiyatları karşısında, özellikle geçici süreli kurulan transformatör merkezleri için alternatif olarak düşünülebileceği tartışmaya açılan alüminyum ve çelik özlü alüminyum iletkenli topraklama ağları RGA yardımıyla optimum olarak tasarlanmıştır. Tasarımlarda, IEEE Std.80-2000'e göre adım ve dokunma gerilimlerinin kontrolünün yanında, GPR emniyet şartı ve ekonomik yaklaşım da ortaya konulmuştur. Bakır, alüminyum ve çelik özlü alüminyum iletkenli topraklama ağlarının avantaj ve dezavantajları, hem RGA'a dayalı tasarımlar ile hem de iletkenlik, korozyon, mukavemet gibi farklı yönlerden gösterilmiştir. Topraklama ağı tasarımlarında iletken uzunluğu, çubuk sayısı ve ağ gömülme derinliği RGA yardımıyla optimize edilmiştir. İletim merkezlerinin topraklama ağlarında topraklama iletkeni olarak, Ülkemizde örgülü bakır iletkenler kullanılırken, Çin gibi bazı Asya Ülkelerinde çelik iletkenler de kullanılmaktadır. [187]'de çelik ve bakır iletkenlerden yapılan topraklama ağlarının performansı incelenmiştir.

Topraklama ağı tasarımında optimum maliyetin yanında, optimum maliyeti verecek ve GPR, dokunma ve adım gerilimleri emniyet şartlarını sağlayacak;

-Toplam çubuk sayısı(n_r)

-Ağın 1 gözünün karesel boyutu (D)

-Ağ gömülme derinliği (h) optimize edilecektir.

Ağın 1 gözünün karesel boyutunun optimizasyonu ile hem toplam iletken uzunluğu bulunmuş olunacak hem de paralel iletkenler arası mesafenin (D) eşit olarak tespit edilmesiyle göz ve adım gerilimi hesabında gerekli olan mesafe faktörü doğru olarak belirlenmiş olunacaktır.

[135]'e göre en küçük iletken kesiti en az 120 mm^2 bakır alınması gerektiği ifade edildiğinden aynı eşdeğerli alüminyum ve çelik özlü alüminyum iletkenler kullanılmıştır. Toplam çubuk sayısı [10, 255], ağ gömülme derinliği [0.5, 5] ve karesel göz boyutu [2, 255] arasında aranmıştır.

7.3.7.1. Bakır, Alüminyum ve Çelik Özlü Alüminyum İletkenlerin Karşılaştırılması

Bakır eşdeğerli, alüminyum ve çelik özlü alüminyum iletkenlerin fiyatları bakır iletkenlere nazaran çok daha düşüktür. Topraklamada iletkenlerin mekanik mukavemetleri de önemlidir. Bakır iletkenlerin kopma yükleri, eşdeğer bakır kesitli alüminyum iletkenden çok az yüksektir. Çelik özlü alüminyum iletkenlerde ise içindeki çeliğin kesitine bağlı olarak durum bakıra göre yaklaşık %50 oranındaki bir fazlalıkla çelik özlü alüminyum iletkenin lehinedir. Alüminyum ve çelik özlü alüminyum iletkenler dünyanın her yerinde havai hatlarda uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Ömür bakımından iyi bir imtihan vermişlerdir. Alüminyumun erime derecesinin düşük oluşu menfi bir özelliktir. Ancak iletken kesiti seçiminde erime sıcaklığı önemli bir parametredir ve buna göre alüminyum ve çelik özlü alüminyum için daha yüksek kesitli iletken seçilir. Hem erime derecesi hem de aynı elektrik iletimi için bakıra göre daha büyük kesitte alüminyum ve çelik özlü alüminyum iletken gerekliliği daha fazla yüzey ve daha kolay ısı emisyonu anlamına gelir ki bu da alüminyum ve çelik özlü alüminyum iletkenler için ayrı bir avantaja dönüşür.

Alüminyum ve çelik özlü alüminyum iletkenlerin belki de söylenebilecek tek ve en önemli dezavantajı korozyondur. Nerst skalası metallerin oksitlenme eğilimini gösterir. Bu skalaya göre alüminyumun standart oksitlenme ve redüklenme potansiyeli bakıra göre daha küçüktür. Bu da daha kolay korozyona uğrayacağını göstermektedir. Uygun alaşımlı alüminyum seçilerek ya da katodik koruma gibi uygun korozyon koruma metodları seçilerek bu korozyon tehlikesi önlenebilinir. Elektrik tesislerinde topraklamalar yönetmeliğine göre yüksek gerilim tesislerinde topraklama için; Mekanik dayanım ve korozyona karşı dayanıklılığın sağlanması gerekir. Bunun için en küçük iletken kesitleri bakır için 25 mm^2, alüminyum için 35 mm^2 ve çelik için 50 mm^2'dir. Görüldüğü gibi topraklama tesisleri için bakır iletken kullanılabildiği

gibi, alüminyum ve çelik özlü alüminyum iletken kullanılmaması için de kesit koşulunun sağlanmasından başka bir sakınca olmadığı ortaya konulmuştur.

Tablo 7.31.Örgülü Bakır İletkenler

Kesit mm^2	Kopma Yükü (kgf)	Birim Ağırlık (kg/km)	Fiyat (TL) (1 metre)	Korozyon (Oksitlenme Potansiyeli)
50	1740	443.5	9	
70	2320	605.2	12	
95	3055	841.7	17	+0.337
120	3750	1056	20	
150	4780	1320	25	

Tablo 7.32.Örgülü Alüminyum İletkenler

Kesit mm^2	Bakır Eşdeğeri (mm^2)	Kopma Yükü (kgf)	Birim Ağırlık (kg/km)	Fiyat (TL) (1 m)	Korozyon (Oksitlenme Potansiyeli)
84.91	53.40	1435	232.5	2	
107.3	67.53	1814	294	2.4	
151.8	95.47	2671	417.7	3.2	-1.66
170.6	107.2	2742	469	3.4	
201.3	126.7	3268	554	4	

Tablo 7.33.Örgülü Çelik Özlü Alüminyum İletkenler

Kesit mm^2	Bakır Eşdeğeri (mm^2)	Kopma Yükü (kgf)	Birim Ağırlık (kg/km)	Fiyat (TL) (1 m)
99.30 (85-14)	53.5	3035	343.9	2.4
142.48 (135-7)	84.9	3220	430.1	3.5
160.54 (152-8)	95.6	3628	484.6	4
176.90 (152-25)	95.7	5736	612.9	4.4
280.84 (242-39)	152	8798	972.8	6.8

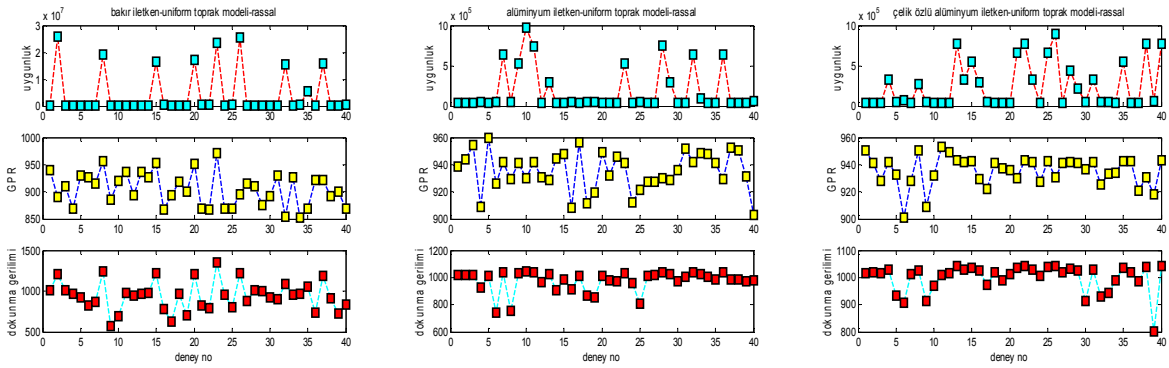
Tablo 7.34'de uniform toprak modeli uygulaması için simulasyon girişleri görülmektedir. Bu uygulamada bakır, alüminyum ve çelik özlü alüminyum iletken için yapılan topraklama ağı tasarımlarında hem GPR'nin hem de dokunma geriliminin müsaade edilebilir maksimum dokunma geriliminden düşük olması ve adım geriliminin de müsaade edilebilir maksimum adım geriliminden düşük olması şartı minimum maliyetle beraber araştırılmıştır. Tasarım sonuçları Tablo 7.35 ve Şekil 7.13'deki gibidir.

Tablo 7.34 . Uniform Toprak Modeli Uygulama Girişleri

Simulasyon Girişleri			
	Bakır	Al.	Çelik Öz.Al.
Deney	40		
N	100		
G	30		
ρ	100		
ρ_s	5000		
h_s	0.1		
l_r	3	5	5
L=W	100		
I_G	20000		
t_s	0.5		
$C_{iletken}$	25	7	10
$C_{çubuk}$	144	86	86

Tablo 7.35. Uniform Toprak Modeli Topraklama Ağı Tasarım Sonuçları

Simulasyon Sonuçları	Bakır	Alüminyum	Çelik özlü alüminyum
$S_{hesaplanan}$ (mm^2)	49	84.13	119.65
$S_{kullanılan}$ (mm^2)	120	191	221
$Göz_x$	12	5	2
$Göz_y$	12	5	2
D (m)	8.33	20	50
R_t (Ω)	0.4695	0.4798	0.4712
GPR (V)	939.06	959.54	942.37
h (m)	0.82	0.94	3.38
E_m (V)	1008.5	1014.4	1019.3
$E_{dokunma-50}$ (V)	1020.2	1020.2	1020.2
E_s (V)	537.48	317.56	79.78
$E_{adım-50}$ (V)	3588.7	3588.7	3588.7
L_C (m)	2600	1200	600
n_r	236	241	255
C (TL)	105827	33356	35535



Şekil 7.13. Uniform Toprak Modeli İle Tasarımda Bakır, Alüminyum ve Çelik Özlü Alüminyum İletken

Tasarım sonuçları, alüminyum ve çelik özlü alüminyum iletkenlerin kesitleri artsa bile topraklama ağı tasarımında yaklaşık 1/3 oranında bakır iletkenli topraklama ağlarına nazaran daha az maliyetli olacağını göstermiştir. Çelik özlü alüminyum iletkenli topraklama ağlarının maliyet yönünden alüminyum iletkenli topraklama ağlarına çok yakın olduğu ve ayrıca da, çeliğin sağlamış olduğu mukavemet avantajının olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Katodik korozyon koruması yapılması halinde bile alüminyum ve çelik özlü alüminyum iletkenli topraklama ağları, bakır iletkenli topraklama ağlarına nazaran en az yarı yarıya daha ekonomik olacaktır. Kaldı ki gerçek sistem uygulamaları üzerinde edinilen tecrübeler, bakır iletkenlerin de zaman içinde toprak altında korozyona uğradığını göstermiştir. Özellikle geçici olarak kurulacak olan, transformatör merkezlerinde çelik özlü alüminyum iletken kullanılması ekonomik olarak kazanç sağlayacaktır.

8. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Sezgisel algoritmalardan olan Genetik Algoritmalar ve Diferansiyel Gelişim Algoritmasının transformatör merkezlerinin topraklama sistemlerinin analizine ve tasarımına uygulandığı bu tezden elde edilen sonuçlar, aşağıdaki gibi sezgisel algoritmalar açısından ve transformatör merkezi topraklama sistemi açısından iki kolda ele alınabilir:

1-Sezgisel Algoritmalar Açısından Elde Edilen Sonuçlar:

Topraklama sistemi analizi ve tasarımı probleminde;

- Hem DGA hem de GA'nın başlangıç popülasyonu farklı kullanılan metodlarının tümü, deneyleri içerisinden optimum sonuca ya da optimum sonuca çok yakın sonuçlara ulaşabilmektedir.
- DGA, başlangıç popülasyonları olarak kullanılan Rassal, Halton, Hammersley, Faure, Sobol, Ortogonal, Düzenli, Lojistik Kaotik ve Uniform Dizili GA'dan daha iyi ve tutarlıdır.
- Hem DGA, hem de başlangıç popülasyonları farklı yöntemler kullanılan GA'nın, başlangıç popülasyonu ve generasyon sayısı düşük bile seçilse, deneyleri içerisinden kabul edilebilir sonuçlara ulaşabildikleri görülmüştür. Başlangıç popülasyonu ve generasyon sayısı daha da arttırılacağı zaman, deneyleri içerisinden elde edilecek optimum ya da optimuma yakın çözümlerin sayısı da artacaktır.
- Halton, Hammersley, Faure, Uniform, Lojistik kaotik, Sobol, Düzenli ve Ortogonal Dizilerinin GA'da başlangıç popülasyonu olarak kullanılabileceği ve kullanıldığında başarılı olunduğu görülmüştür.
- Başlangıç popülasyonlarından, Halton, Hammersley, Faure, ve Uniform Dizilerin performanslarının diğerlerine göre daha iyi olduğu ve bunlarla elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür.
- Lojistik Kaotik Dizilerde başlangıç değerine bağlı olarak, Düzenli Dizilerde öz kromozom sayısına bağlı olarak performanslarının değiştiği izlenmiştir. Düzenli Popülasyonun, öz kromozom dediğimiz gelişigüzel üretilen kromozom sayısı arttığında, kendi üreteceği kromozom sayısı ve dolayısıyla çeşitlilik arttığından başarısının ve güvenilirliğinin arttığı görülmüştür. Dolayısıyla öz popülasyon sayısı arttığında, Düzenli dizilerin de oldukça başarılı olduğu belirlenmiştir.
- Rassal başlangıç popülasyonu metodunda, rassallığa bağlı olarak diğer metodlardan daha iyi sonuçların da elde edildiği ve bu durumun her zaman oluşabileceği ihtimalinin olduğu, ancak genel olarak diğer başlangıç popülasyonu metodlarına göre daha az tutarlı olduğu görülmüştür. Ayrıca rassal başlangıç popülasyonunun DGA'dan daha iyi olduğu

uygulamaya rastlanmamıştır. Ancak rassal GA'nın da; popülasyon sayısı, generasyon sayısı ve deney sayısına bağlı olarak optimum ya da optimuma çok yakın değerler verdiği görülmüştür.

- Boyutu çok büyük olmayan problemlerde, DGA metodunun başarılı olacağı anlaşılmıştır.
- UOGDS ve F değerlerinin birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür.
- Aynı problemin farklı uygulamalarında Faure, Halton, Hammersley ve Uniform Dizilerin yanında Sobol Dizilerinin ve öz kromozom sayısı artırılmış Düzenli Dizilerle, başlangıç değeri uygun seçilmiş Lojistik Haritalı Kaotik Dizilerin de başarılı olduğu görülmüştür.
- Yakınsama hızı olarak en hızlı yöntemin DGA ve en yavaş yöntemin Sobol Dizili başlangıç popülasyonu olduğu söylenebilir.

2-İletim Merkezi Topraklama Sistemi Açısından Elde Edilen Sonuçlar:

- Emniyet ve minimum maliyet için topraklama ağlarının tasarımında, bölgenin mevsimsel analizinin yapılmasının zorunlu olduğu sezgisel algoritmalar yardımıyla belirlenmiştir.
- İki katmanlı toprak modeli ile toprak ağı tasarımı yapılmış, emniyet şartı ve minimum maliyet için topraklama ağının hangi katmana yerleştirilmesi gerektiği sezgisel algoritmalar yardımıyla tespit edilmiştir.
- İki katmanlı toprak modelinin tüm yerleşim durumları için yapılan sezgisel algoritma uygulamalarında topraklama çubuklarının önemi belirlenmiştir. Topraklama çubukları topraklama ağlarında kullanılmalıdır.
- Ağ indüktansı ve darbe empedansına etki eden parametreler tespit edilmiştir. Minimum ağ indüktansı ve darbe empedansı için, topraklanacak alanın ya da ağın karesel geometrik şekilde olması ve transformatör merkezinin merkezden beslemeli olması daha uygundur.
- Hem uniform hem de iki katmanlı toprak modeli yapıları analiz edilmiş ve bu modellerle sezgisel algoritmalar kullanılarak topraklama ağı tasarımları başarıyla yapılmıştır.
- Topraklama ağı tasarımı probleminin çözümü için Matlab optimizasyon toolboxta bulunan bir fonksiyon RGA ile karşılaştırılmış, bu fonksiyonun bazen başlangıç değerlerine bağlı olarak yakınsamaya gidemediği ve bu yönüyle sezgisel algoritmaların üstünlüğü ifade edilmiştir. Topraklama ağı tasarımı probleminde DGA metodu RGA'dan daha iyi olduğundan karşılaştırma sadece GA ile yapılmıştır.

- Topraklama ağı tasarımına etki eden parametrelerden bahsedilmiş, uzun yıllar güvenle çalışabilecek bir topraklama ağı için tüm faktörlerin başlangıçta analiz edilmesi gerektiği ifade edilmiştir.
- Farklı cins iletkenlerin topraklama ağında kullanımda, avantaj ve dezavantajları GA yardımıyla yapılan tasarımlarla desteklenerek tartışılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Mürtezaoğlu, K., 1998, Yüksek Gerilim İstasyonlarında Topraklama Sistemi. Yüksek Lisans Tezi , İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü,72 syf.
2. Janeiro, M.F., Ramos, P.M., 2009, Impedance Measurements Using Genetic Algorithms and Multiharmonic Signals, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol.58, No.2, 383-388.
3. Yuen, Y.S., Chow, C.K., 2009, A Genetic Algorithm That Adaptively Mutates and Never Revisits, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.13, No.2, 454-472.
4. Amjaday, N., Nasiri-Rad, H., 2009, Economic Dispatch Using an Efficient Real-Coded Genetic Algorithm, IET Generation, Transmission & Distribution, Vol.3, No.3, 266-278.
5. Wang, N., Zhuang, J., Du, H., Wang, S., 2008, A Self Organization Genetic Algorithm with Cycle Mutation, 20th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence, 530-533.
6. Kamal, M.F.M., Rahman, T.K.A., Musirin, I., 2004, Application of Improved Genetic Algorithms for Loss Minimisation in Power System, National Power & Energy Conference(PeCon), Malaysia, 258-262.
7. Xiao, H., Tan, G., 2008, A Novel Simplex Hybrid Genetic Algorithm, IEEE The 9th International Conference for Young Computer Scientists, 1801-1806.
8. Liang, R.H., Ke, M.H., Chen, Y.T., 2009, Coevolutionary Algorithm Based on Lagrangian Method for Hydrothermal Generation Scheduling, IEEE Transactions on Power systems, Vol.24, No.2, 499-507.
9. Cao Y.J., Wu Q.H., 1997, Shimmin D.W.,Study Of Initial Population Evolutionary Programming, ECC97 Conferences.
10. Glasserman, P., Monte Carlo Methods in Financial Engineering, Applications of Mathematics Stochastic Modelling and Applied Probability, Springer, 568 pp., http://books.google.com.tr/
11. Lyuu, Y.D., Financial Engineering and Computation, Principles, Mathematics, Algorithms, 587 pp. , http://books.google.com.tr/
12. Leung, Y.W., Wang, Y., 2001, An Orthogonal Genetic Algorithm With Quantization for Global Numerical Optimization, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol 5, No.1, 41-53.

13. Karcı A., 2002, Genetik Algoritmalarda Iraksama Ve Yerel Çözümde Kalma Problemlerinin Giderilmesi, Doktora Tezi, F.Ü., Elazığ.
14. Leung, Y.W., Wang, Y., 2000, Multiobjective Programming Using Uniform Design and Genetic Algorithm, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part-C:Applications and Reviews, Vol.30, No.3, 293-304.
15. Liu, D., Cao, Y., 2006. A Chaotic Genetic Algorithm for Fuzzy Grid Job Scheduling, International Conference on Computational Intelligence and Security, 1, 320-323.
16. Qin, A.K., Huang, V.L., Suganthan, P.N., 2009, Differential Evolution Algorithm with Strategy Adaptation for Global Numerical Optimization, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.13, No.2, 398-417.
17. Feng, W.Z., Kuan, H.H., Bei, Y., Ying, Z., 2008, A Modified Differential Evolution Algorithm, with Self-Adaptive Control Parameters, IEEE Proceedings of 2008 3rd International Conference on Intelligent System and Knowledge Engineering, 524-527.
18. Pant, M., Thangaraj, R., Singh, V.P., 2008, Differential Evolution Algorithm for Solving Global Optimization Problems, IEEE International Conference on Advanced Computer Control, 388-392.
19. İnce, M.C., Gürsu, B., 2005, Eviricilerin Harmonik Eliminasyonunda Optimum Anahtarlama Açılarının Genetik Algoritmalar İle Elde Edilmesi, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt:17, Sayı:2, Syf.224-238.
20. Gürsu, B., İnce, M.C., 2005, Finding of The Optimum Triggering Angles for The Harmonic Elimination in AC-AC Converters by The Help of Evolutionary Algorithms, ELECO 2005, 4th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, Bursa.
21. Gürsu, B., İnce, M.C., 2003, Genetik Algoritmalar İle DC-AC Çeviricilerde Harmonik Eliminasyonu, Elektrik-Elektronik Bilgisayar Mühendisliği 10.Ulusal Kongresi, sayfa 144-147, İstanbul.
22. Gürsu, B., İnce, M.C., 2005, Evrimsel Algoritmalarda Farklı Başlangıç Populasyonu Oluşturma Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu BMYS 2005, Syf.361-370, Kocaeli.
23. Gürsu, B., İnce, M.C., 2008, Başlangıç Populasyonu Düzgün Dağılımlı Bir Genetik Algoritma,Galatasaray Üniversitesi, 28.YA/EM Kongresi, İstanbul.
24. Gürsu, B., İnce, M.C., 2004, Global Numerik Optimizasyon için Kuantalama ile Ortogonal Genetik Algoritma, Asyu-Inista, Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, Syf.231-234, 23-25 Haziran 2004, İstanbul.

25. Gürsu, B., İnce, M.C., 2009, Multiobjective Programming via Uniform Designed Genetic Algorithms, 5.International Advanced Technologys Symposium, IATS-2009, Karabük.
26. Gürsu, B., İnce, M.C., 2005, Rassal, Sözde Rassal, Ortogonal ve Yeni Bir Evrimsel Arama Algoritması İle AC-AC Çeviricilerde Optimum Ateşleme Açılarının Bulunarak Harmonik Eliminasyonunun Gerçekleştirilmesi, 4.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Syf. 319-325, Selçuk Üniversitesi Konya.
27. Gürsu, B., İnce, M.C., 2009, Limiting GPR in Two-Layer Soil Model via Genetic Algorithms, Journal of The Franklin Institute Engineering, Doi:10.1016/j.jfranklin.2009.07.003, 2009.
28. Gürsu, B., İnce, M.C., 2009, İletim Merkezlerinin Topraklama Ağlarının Tasarımında Lojistik Haritalı Genetik Algoritmalar Yardımıyla Don Etkisinin Belirlenmesi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2009, (kabul edildi).
29. Gürsu, B., İnce, M.C., 2009, İletim Merkezi Topraklama Ağı Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Önemli Hususlar, Kaynak Elektrik Dergisi Mart Sayısı.
30. Gürsu, B., İnce, M.C., 2008, İki Katmanlı Toprak Modelinde Genetik Algoritmalar İle Topraklama Çubuklu ve Çubuksuz Ağ Tasarımı, Yıldız Teknik Üniversitesi Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma 26, 247-266.
31. Gürsu, B., İnce, M.C., 2007, Genetik Algoritmalar İle Yüksek Gerilim İstasyonlarında Optimum Topraklama Ağı Tasarımı, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt:19, Sayı:4, 511-524.
32. Gürsu, B., İnce, M.C., 2009, Comparison of Genetic Algorithm and Matlab Optimization Toolbox in Multi-Dimensional Constrained Numerical Optimization:The Application of Grounding Grid Design, 5.International Advanced Technologys Symposium, IATS- 2009, Karabük.
33. Gürsu, B., İnce, M.C., 2009, Grid Inductance in Substation Grounding Grid Design Based on Genetic Algorithms, 5.International Advanced Technologys Symposium, IATS- 2009, Karabük.
34. Gürsu, B., İnce, M.C., 2008, Genetik Algoritmalar İle Adım ve Dokunma Gerilimi Kontrolünde Bakır, Alüminyum ve Çelik Özlü Alüminyum İletkenli Topraklama Ağı Karşılaştırması, ELECO 2008 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu,371-375, Bursa.
35. Gürsu, B., İnce, M.C., 2008, Uniform Toprak Modelinde Genetik Algoritmalara Dayalı Darbe Empedansı Etkili Topraklama Ağı Tasarımı, Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu-BMYS 2008, Syf. 415-422, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.

36. Gürsu, B., İnce, M.C., 2008, Heterojen Toprakta Genetik Algoritmalara Dayalı Ağ Tasarımı İçin Yeni Bir Cs Formülü, Galatasaray Üniversitesi, 28.YA/EM Kongresi, İstanbul.
37. http://www.biomimicryguild.com/guild_biomimicry.html.
38. Holland, J.H., 1975, Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press.
39. Goldberg, D.E., 1989, Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Kluwer Academic Publishers, Boston.
40. Şen, Z., 2004, Genetik Algoritmalar ve En İyileme Yöntemleri, Su Vakfı Yayınları, 142 syf., İstanbul.
41. Erol, O.K., 2001, Doğrusal Olmayan Sistemlerin Bulanık Modellenmesi ve Yeni Bir Genetik Arama Algoritması İle En İyi Kontrolör Tasarımı, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
42. Wang, H., Wu, Z., Liu, Y., Zeng, S., 2008, Particle Swarm Optimization with a Novel Multi-Parent Crossover Operator, IEEE Fourth International Conference on Natural Computation, 664-668.
43. http://www.bilgisayarkavramlari.com/2009/02/16/genetik-algoritmalar-genetic algorithms/
44. Engin, O., Fığlalı, A., 2002, Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma Yardımı İle Çözümünde Uygun Çaprazlama Operatörünün Belirlenmesi, Doğuş Üniversitesi Dergisi, 2002/6, 27-35.
45. Whitley, L.,D., Vose, M.D., 1995, Foundations of Genetic Algorithms·3, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., San Francisco, California, 336/163-184.
46. Gen, M., Cheng, R., 1997, Genetic Algorithms&Engineering Design, John Wiley & Sons,Inc., pp.411.
47. Adewuya, A.A., 1996, New Methods in Genetic Search with Real Valued Chromosomes, Master's Thesis, Massachusetts Institue of Technology.
48. Michalewicz, Z., 1999, Genetic Algorithms+Data Structures=Evolution Programs, Third, Revised and Extented Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
49. Karci, A., 2004, Imitation of Bee Reproduction as a Crossover Operator in Genetic Algorithms, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 3157, 1015-1016.
50. Karci, A., Sanaç P., 2004, Genetik Algoritmalarda Yeni Bir Çaprazlama Yöntemi : Bal Arısı Çaprazlama, YA/EM-2004, Adana.
51. Söke, A., Bingül, Z., 2004, Genetik Algoritmaların Farklı Çaprazlama Teknikleriyle İki Boyutlu Kesme Problemlerine Uygulanışı, Politeknik Dergisi, Cilt:7, Sayı:1, 1-11.

52. Kher, S., Ganesh, T.S., Ramesh, P., Somani, A.K., 2009, Gredy Dynamic Crossover Management in Hardware Accelerated Genetic Algorithm Implementations using FPGA, UKSim 2009:11th International Conference on Computer Modelling and Simulation, 47-52.
53. Coelho, L.D.S., Alotto, P., 2008, Multiobjective Electomagnetic Optimization Based on a Nondominated Sorting Genetic Approach with a Chaotic Crossover Operator, IEEE Transaction on Magnetics, Vol.44, No.6, 1078-1081.
54. Küçük, B., Keskintürk, T., 2006, Montaj Hattı Dengelemede Genetik Algoritma Operatörlerinin Etkinliklerinin Araştırılması, YA/EM 2006, Kocaeli, 390-393.
55. Bolat, B., Erol, O.K., İmrak, C.E., 2004, Genetic Algorithms in Engineering Applications and The Function of Operators, Journal of Engineering and Natural Sciences, Sigma 2004/4, 264-271.
56. Yang, J.M., Horng, J.Z., Kao, C.Y., 1999, Incorporation Family Competition into Gaussian and Cauchy Mutations to Training Neural Networks Using an Evolutionary Algorithm, IEEE Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation, 1994-2001.
57. Lan, K.T., Lan, C.H., 2008, Notes on the Distinction of Gaussian and Cauchy Mutations, IEEE Eighth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, 272-277.
58. Lee, C.Y., Yao, X., 2004, Evolutionary Programming Using Mutations Based on the Levy Probability Distribution, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.8, No.1, 1-13.
59. Chen, M.R., Lu, Y.Z., Yang, G., 2006, Population-Based Extramal Optimization with Adaptive Levy Mutation for Constrained Optimization, IEEE International Conference on Computational Intelligence and Security, 258-261.
60. Jagersküpper, J., 2005, On the Complexity of Overcoming Gaps with Isotropic Mutations and Elitist Selection, IEEE Congress on Evolutionary Computation, 206-213.
61. Wu, X., Cheng, B., Cao, J., Cao, B., 2008, Particle Swarm Optimization with Normal Cloud Mutation, IEEE Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, China, 2828-2832.
62. Zhao, X., 2008, Convergent Analysis on Evolutionary Algorithm with Non-uniform Mutation, IEEE Congress on Evolutionary Computation(CEC 2008), 940-944.
63. Jiang, Y., Wang, L., Chen, L., 2008, An Improved Dynamical Evolutionary Algorithm Based on Chaotic, Proceedings of the Seventh International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Kunming, 4085-4089.

64. Rawlins, G.J.E., 1991, Foundations of Genetic Algorithms, Morgan Kaufmann Publishers San Mateo, California, 341/252-261.
65. Gürsu, B., 2006, Rassal, Görünüşte Rassal ve Kuantalamalı Ortogonal Genetik Algoritmalar İle AC-AC Çeviricilerde Harmonik Eliminasyonu İçin Optimum Tetikleme Açılarının Bulunması, Fırat Üniversitesi, Doktora Semineri, 59 syf.
66. Chi, H., Jones, E.L., 2006, Computational Investigations of Quasirandom Sequences in Generating Test Cases for Specification-Based Tests, IEEE Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, 975-980.
67. Ökten, G., 2009, Generalized von Neumann-Kakutani transformation and random-start scrambled Halton sequences, Elsevier Journal of Complexity, 1-14.
68. Quang Uy, N., Hoai, N.X., McKay, R., Tuan, P.M., 2007, Initialising PSO with Randomised Low-Discrepancy Sequences:The Comparative Results, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2007), 1985-1992.
69. Sanchez, A., Lanzoni, C., 2003, On the use of Low-Discrepancy Sequences in Non-Holonomic Motion Planning, IEEE Proceedings of the 2003 International Conference on Robotics & Automation, 3764-3769.
70. Diwekar, U.,M., Kalagnanam, J.R., 1997, Efficient Sampling Technique for Optimization under Uncertainty, AIChE Journal, Vol.43, No.2, 440-47.
71. Preechakul, C., Kheawhom, S., 2009, Modified Genetic Algorithm with Sampling Techniques for Chemical Engineering Optimization, Elsevier Journal of Industrial and Engineering Chemistry 15, 110-118.
72. Jiang, X., Birge, J.R., 2004, Comparisons of Alternative Quasi-Monte Carlo Sequences for American Option Pricing, INFORMS Annual meeting, Denver, 1-17.
73. Krykova, I., 2003, Evaluating of Path-Dependent Securities with Low-Discrepancy Methods, A Thesis Submitted to the Faculty of the Worcester Polytechnic Institude in partial fulfillment of the Requirements for the professional degree of Master of Science in Financial Mathematics, 65 pp.
74. Joy, C., Boyle, P.P., Tan, K.S., 1996, Quasi-Monte Carlo Methods in Numerical Finance, Institute for Operations Research and the Management Services, 41-46.
75. Genest, A.G., 2009, Low Discrepancy Sequences, 12 pp, Premia 9.
76. Prakash., S., 2004, On the use of High Dimensional Quasi Random Sequences for Risk Measurement(Theoretical and Implemetation Issues), Masters of Advanced Studies in Finance, ETH Zurich/ University of Zurich, 55 pp.

77. Chen, Y.T., 2007, Convergence Comparison of GCRR and Ritchken Models, Master Thesis, National Taiwan University, 32 pp.
http://www.csie.ntu.edu.tw/~lyuu/sample_thesis.doc
78. http://mathworld.wolfram.com/PrimitivePolynomial.html
79. Jiriwibhakarn, S., Coonick, A.H., 2000, Fast Critical Clearing Time Estimation of a Large Power System using Neural Networks and Sobol Sequences, IEEE, 522-527.
80. Winiarski, M., Quasi-Monte Carlo Derivative & Valuation Reduction of Simulation Bias, http://www.f.kth.se/~f98-mwi/msctheses.pdf
81. http://www.stat.osu.edu/~comp_exp/jour.club/Sobol_sequences.pdf
82. Kaplan, S., 2008, Monte Carlo Methods for Option Pricing.
http://www3.iam.metu.edu.tr/iam/images/d/d6/Sibelkaplanterm.pdf
83. Zhang, Q., Leung, Y.W., 1999, An Orthogonal genetic algorithm for multi-media multicast routing,IEEE Transactions on .Evolutionary Comput.ation, vol.3, No.1, 53-62.
84. Feng, M.Y., Yi, X.Q., Li, G.H., Tang, S.X., He, J., 2008, An Orthogonal Genetic Algorithm for Job Shop Scheduling Problems with Objectives, IEEE Fourth International Conference on Natural Computation, 546-550.
85. Sabbir, U., Antoniou, A., 2006, Cascade-Form Multiplierless FIR Filter Design Using Orthogonal Genetic Algorithm, IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology, 932-937.
86. Stubberud, P.A., Jackson, M.E., 2008, A Hybrid Orthogonal Genetic Algorithm for Global Numerical Optimization, IEEE 19th International Conference on Systems Engineering, 282-287.
87. Sanaç, P., 2005, Çaprazlama ve Mutasyonun Ortogonal ve Sözde Rassal Başlangıç Popülasyonları Üzerindeki Etkileri, Fırat Üniv. Fen Bilimleri Enst., Yüksek LisansTezi.
88. Karcı, A., 2003, Düzenli Populasyonu (DP) Yönteminin Kaliteli Populasyon Üretme Yeteneğinin Olasılıksal Analizi, Politeknik Dergisi, Cilt:6, Sayı:1, 365-371.
89. Karcı, A., Arslan, A., 2002, Uniform Population in Genetic Algorithms, Journal of Electrical & Electronics, Vol.2, No.2, 495-504.
90. Leung, Y.W., Wang, Y., 2000. Multiobjective Programming Using Uniform Design and Genetic Algorithm, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part-C:Applications and Reviews, Vol.30, No.3, 293-304.
91. Li, C.Y., Chen, J.S., Chang, T.Y., 2006, A Chaos-Based Pseudo Random Number Generator Using Timing-Based Reseeding Method, IEEE ISCAS 2006, 3277-3280.
92. Zhu, Z.L., Fu, C., 2008, A Chaos-based High Quality PN Sequence Generator, IEEE, 1-4.

93. Determan, J., Foster, J.A., 1999, Using Chaos in Genetic Algorithms, IEEE CEC 99, 2094-2101.

94. Yan, X.F., Chen, D.Z., Hu, S.X., 2003, Chaos-Genetic Algorithms for Optimizing the Operating Conditions based on RBF-PLS Model, Elsevier Computers & Chemical Engineering 27, 1393-1404.

95. Zhang, J., Liu, X., Li, T., Zhang, N., Liu, N., Xu, C., 2007. A Genetic Algorithm Based on Immune and Chaos, IEEE Third International Conference on Naturel Computation(ICNC 2007), 5, 239-243.

96. Jiang, Y., Wang, L., Chen, L., 2008, An Improved Dynamical Evolutionary Algorithm Based on Chaotic, IEEE Proceedings of the Seventh International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 4085-4089.

97. Wu, T., Cheng, Y., Tan, J., Zhou, T., 2008, The Application of Chaos Genetic Algorithm in the PID Parameter Optimization, IEEE Proceedings of 2008 3rd International Conference on Intelligent System and Knowledge Engineering, 230-234.

98. Alataş, B., 2007, Kaotik Haritalı Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritmaları Geliştirme, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.

99. Xiang, F., Qiu, S.S., 2008, Analysis on Stability of Binary Chaotic Pseudorandom Sequence, IEEE Communications Letters, Vol.12, No.5, 337-339.

100. Gao, H., Feng, B, Zhu, L., 2005. Adaptive SAGA Based on Mutative Scale Chaos Optimization Strategy**,** ICNN&B '05. International Conference on Neural Networks and Brain, 517-520.

101. Gong, M., Jiao, L., Zhang, L., Ma, W., 2007. Improved Real-Valued Clonal Selection Algorithm Based on a Novel Mutation Method, International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, ISPACS 2007 , 662-665.

102. Liu, D., Cao, Y., 2006. A Chaotic Genetic Algorithm for Fuzzy Grid Job Scheduling, International Conference on Computational Intelligence and Security, 1, 320-323.

103. Storn, R., Price, K., 1995, Differential Evolution-A Simple and Efficient Adaptive Scheme for Global Optimization over Continuous Spaces, http://www.icsi.berkeley.edu/~storn/TR-95-012.pdf, 1-12.

104. Fan, Z., Liu, J., Sorensen, T., Wang, P., 2009, Improved Differential Evolution Based on Stochastic Ranking for Robust Layout Synthesis of MEMS Components, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.56, No.4, 937-648.

105. Qin, A.K., Huang, V.L., Suganthan, P.N., 2009, Differential Evolution Algorithm With Strategy Adaptation for Global Numerical Optimization, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.13, No.2, 398-417.

106. Sum-Im, T., Taylor, G.A., Irving, M.R., Song, Y.H., 2009, Differential Evolution Algorithm for Static and Multistage Transmission Expansion Planning, IET Generation, Transmission&Distribution, Vol.3, Iss.4, 365-384.
107. Schmidt, H., Thierauf, G., 2005, A Combined Heuristic Optimization Technique, Advances in Engineering Software 36, 11-19.
108. Mallipeddi, R., Suganthan, P.N., 2008, Empirical Study on the Effect of Population Size on Differential Evolution Algorithm, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2008), 3663-3670.
109. Karaboğa, D., Ökdem, S., 2004, A Simple and Global Optimization Algorithm for Engineering Problems:Differential Evolution Algorithm, Turk.Journal Electrical Engineering, Vol.12, No.1, 53-60.
110. Zhang, W.G., Chen, H.P., Lu, D., Shao, H., 2008, A Novel Differential Evolution Algorithm for a Single Batch-Processing Machine with Non-Identical Job Sizes, IEEE Fourth International Conference on Natural Computation, 447-451.
111. Coelho, L.D.S., 2009, Reliability-Redundancy Optimization by Means of a Chaotic Differential Evolution Algorithm Approach, Chaos, Solitons and Fractals 41, 594-602.
112. Zhenyu, G., Zhifeng, B., Binggang, C., 2007, Chaotic Immune Differential Evolution Algorithm, IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 2244-2249.
113. Maulik, U., Saha, I., 2009, Modified Differential Evolution Based Fuzzy Clustering for pixel Classification in Remote Sensing Imagery, Elsevier Pattern Recognition 42, 2135-2149.
114. Rahnamayan S., Tizhoosh H.R., Salama M.A., 2008, Opposition-Based Differential Evolution, IEEE Transaction on Evolutionary Computation, Vol.12, No.1, 64-79.
115. MEB MEGEP, 2007, Transformatör Merkezleri, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Elektrik-Elektronik Teknolojisi, Ankara, 137 sayfa.
116. Bayram, M., 2000, Elektrik Tesislerinde Topraklama, Birsen Yayınevi, İstanbul, 223 sayfa.
117. Bayram, M., 1995, Elektrik Tesislerinde Güvenlik, Beta Basım Yayın Dağıtım, 153 sayfa.
118. IEEE Std.80-2000, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.
119. Hocaoğlu, M., Hocaoğlu, A.T., 2000, Güç Frekansındaki Geçici Olayların Topraklama Sistemleri Emniyet Analizine Etkileri, 1.Çevre ve Teknoloji Sempozyumu, İstanbul.
120. Özbay, S., 2007, Kısa Devre Analizinin Uluslararası Standartlar ve Simulasyon İle Çözümlenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

121. Doğruer, V., 2007, Elektrik Güç Sistemlerinde Matlab Simulink İle Kısa Devre Arıza Analizi ve Bir Örnek Olarak Van Enerji Nakil Hattının İncelenmesi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Van.
122. Koç, S., 2008, Enerji İletim Hatları İçin Matlab/Gui Tabanlı Bir Arıza Analiz Programı Geliştirme, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
123. Lee, C.H., Chang, C.N., 2005, Computation of Current-Division Factors and Assesment of Earth-Grid Safety at 161/69 kV Indoor-Type and Outdoor-Type Substations, IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 152, No.6, 837-848.
124. Endrenyi, J., 1967, Analysis of Transmission Tower Potentials During Ground Faults, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.Pas-86, No.10, 1274-1283.
125. Öksüz, H., 2008, Gaz İzoleli Sistemlerde Topraklama Analizi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 166 syf.
126. Özcan, A.T., 2005, Dağıtım Şebekelerinde Yıldırım Aşırı Gerilimlere Karşı Koruma, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Malatya.
127. Dalziel, C.F., 1946, Dangerous Electric Currents, Vol.65, AIEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 579-585.
128. Çimen, H., 1988, Enerji İletim Hatlarında Topraklama ve Topraklama Empedansı, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
129. IEEE Std.80-1986, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.
130. Laurent, P.G., Elektrik Merkezlerinin Topraklamasında Genel İlkeler, Elektrik Mühendisliği 241.
131. Kostic, M.B., Radakovic, Z.R., Radovanovic, N.S., Tomasevic-Canovic, M.R., 1999, Improved of Electrical Properties of Grounding Loops by Using Bentonite and Waste Drilling Mud, IEE Proc.-Gener.Transm.Distrib., Vol.146, No.1, 1-6.
132. Puttarach, A., Chakpitak, N., Kasirawat, T., Pongsriwat, C., 2007, Substation Grounding Grid Analysis with the Variation of Soil Layer Depth Method, IEEE PowerTech, 1881-1886.
133. Ma, J., Dawalibi, F.P., 1998, Study of Influence of Buried Metallic Structures on Soil Resistivity Measurements, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, No.2, 356-365.
134. IEEE Std.81-1983, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.
135. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2004, Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği, 25639 sayılı Resmi Gazete.
136. Schwarz, S.J., 1954, Analytical Expressions for the Resistance of Grounding Systems, AIEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.73, No.13, 1011-1016.

137. Sullivan, J.A., 2002, Evaluation of Mesh and Touch Voltage at Substations, IEE Proc.-Gener.Transm. Distrib. Vol.149, No.2, 201-209.

138. Lee, C.H., Lin, S.D., 2005, Safety Assesment of AC Earthing Systems in a DC Traction-Supply Substation, IEE Proc. Electr. Power Appl. Vol.152, No.4, 885-893.

139. Sullivan, J.A., 1998, Alternative Earthing Calculations for Grids and Rods, IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol.145, No.3, 271-280.

140. Chow, Y.L., Salama, M.M.A., 1994, A Simplified Method for Calculating the Substation Grounding Grid Resistance, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.9, No.2, 736-742.

141. Güemes-Alonso, J.A., Hernando-Fernandez, F.E., Rodriguez-Bona, F., Ruiz-Moll, J.M., A Practical Approach for Determinig the Ground Resistance of Grounding Grids, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.21, No.3, 1261-1266.

142. Thapar, B., Gerez, B., Balakrishnan, A., Blank, D.A., 1991, Simplified Equations for Mesh and Step Voltages in an AC Substation, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.6, No.2, 601-607.

143. Ghoneim, S., Hirsch, H., Elmorshedy, A., Amer, R., 2006, Improved Design of Square Grounding Grids, IEEE International Conference on Power System Technology.

144. Thasananutariya, T., Spuntupong, K., Chatratana, S., 2004, Design of Grounding System for GIS Indoor Substation, TENCON 2004,IEEE Region 10 Conference,Vol.3, 413-416.

145. Covitti A., Delvecchio G., Fusco A., Lerario F., Neri F., 2005, Two Cascade Genetic Algorithms to Optimize Unequally Spaced Grounding Grids With Rods, IEEE Eurocon, 1533-1536.

146. Otero A.F., Cidras J., Garrido C., 1998, Genetic Algorithm Based Method for Grounding Grid Design, IEEE International Conference on Evolutionary Computation Proceedings, 120-123.

147. Costa M.C., Filho M.L.P., Marechal Y., Coulomb J.C., Cardoso J.R., 2003, Optimization of Grounding Grids by Response Surfaces and Genetic Algorithms, IEEE Transaction on Magnetics, Vol.39, No.3, 1301-1304.

148. Neri F., 2004, A New Evolutionary Method for Designing Grounding Grids by Touch Voltage Control", IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Vol.2, 1501-1505.

149. Lee, C.H., Chang, C.N., 2005, Comparison of 161/69-kV Grounding Grid Design Between Indoor-Type and Outdoor-Type Substations, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.20, No.2, 1385-1393.

150. IEEE Std.81-1983, IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System, An American National Standart, 1983.

151. Calixto, P., 2002, Soil Resistivity Measurement :Two-Layer Model, Proposed Revisions to IEEE Standard 80-2000 and IEEE Standard 81-1983, IEEE Power Engineering Review, 66-68.

152. Dawalibi, F., Blattner, C.J., 1984, Earth Resistivity Measurement Interpretation Techniques, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.Pas.103, No.2, 374-382.

153. Salama M.M.A., Elsherbiny M.M., Chow Y.L., 1995, A Formula for Resistance of Substation Grounding Grid in Two-Layer Soil, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.10, No.3, 1255-1262.

154. Chow Y.L., Elsherbiny M.M., Salama M.M.A., 1996, Resistance Formulas of Grounding Systems in Two-Layer Earth, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.11, No.3, 1330-1336.

155. Nahman J.M., Djordjevic V.B., 1996, Resistance to Ground of Combined Grid-Multiple Rods Electrodes, IEEE Transactions on Power Delivery,Vol.11,No.3,1337-1342.

156. Elsherbiny M., 1995, Simple Formulas for Calculating the Grounding Resistance of Rodbed Buried in Non-Uniform Soil, IEEE Proceedings of the 37th Midwest Symposium on Circuits and Systems, Vol. 2, 1281-1284.

157. Cao, X., Wu, G., Zhou, W, Li, R., 2008, New Method for Calculating Ground Resistance of Grounding Grids Buried in Horizon Two-Layer Soil, 2008 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application, Chongqing, China, 241-244.

158. Chang C., Lee C.H., 2006, Computation of Ground Resistances and Assesment of Ground Grid Safety at 161/23.9 kV Indoor-Type Substation, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.21, No.3, 1250-1260.

159. Villas, J.E.T., Casagrange, J.A.A., Mukhedkar, D., Costa, V.S., 1988, The Ground Grid Design of The Barra do Peixe Substation Using a Two-Layer Soil Model, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.3, No.4, 1636-1641.

160. Uzunlar, F.B., 2009, Three Dimensional Grounding Grid Design, M.Sc. Thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Enstitüsü.

161. Gouda, O.E., Amer, G.M., El Saided, T.M., 2006, Optimum Design of Grounding System in Uniform and Non-Uniform Soils Using ANN, International Journal of Soft Computing 1(3), 175-180.

162. Hocaoğlu, M.H., Hocaoğlu, A.T., 2000, Yüksek Gerilim Tesisleri Topraklama Standartlarının Karşılaştırılması, Kaynak Elektrik Uluslararası Enerji-Elektrik-Elektronik ve Otomasyon Dergisi, sayı: 134, 131-142.

163. He, J., Zeng, R., Gao, Y., Tu, Y., Sun, W., Zou, J., Guan, Z., 2003, Seasonal Influences on Safety of Substation Grounding System, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.18, No.3, 788-795.

164. He, J., Gao, Y., Zeng, R., Sun, W., Zou, J., Guan, Z., 2005, Optimal Design of Grounding System Considering the Influence of Seasonal Frozen Soil Layer, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.20, No.1, 107-115.

165. Gustafson, R.J., Pursley, R., Albertson, V.D., 1990, Seasonal Grounding Resistance Variations on Distribution Systems, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No.2, 1013-1018.

166. http://www.dmi.gov.tr/veridegerlendirme/

167. Erlat, E., Türkeş, M., 2008, Türkiye' de Don Olaylı Gün Sayılarındaki Değişiklikler ve Arktik Salınım ile Bağlantısı, 4.Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, İstanbul.

168. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği, 24500 sayılı Resmi Gazete, 2001.

169. Tommasini R., Pertusio R., 2003, Simplified Formulas for the Ground Resistance of the Human Body for Two-Stratus Soil, IEEE Bologna Powertech Conference, June 23-26, Italy.

170. Seedher, R.H.,Arora K.J., 2003. A comparative Study of expressions for reduction factor for ground resistance of foot, IEEE Transactions on Power Delivery,Vol.18,No.3, 849-851.

171. Sverak, J.G., 1998. Progress in step and touch voltage equations of ANSI/IEEE Std.80-Historical Perspective, IEEE Transactions on Power Delivery,Vol.13,No.3, 762-767.

172. Dawalibi, F.P., Ma, J., Southey, R.D., 1994, Behaviour of Grounding Systems in Multilayer Soils:A Parametric Analysis, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.9, No.1, 334-342.

173. Gupta, B.R., Singh, V.K., 1992, Inductance of Rectangular Grids, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.7, No.3, 1218-1222.

174. Çelikyay, M., 1995, Enerji Sistemlerinde Topraklama Ağlarının Bilgisayar Destekli Analizi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.

175. Darman, A., 2006, Sonlu Farklar Yöntemi İle Topraklama Ağlarındaki Potansiyel Dağılımın Hesaplanması, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

176. Şentürk, E., 2004, Geçici Rejimlerde Topraklama Sistemlerinin Performans Analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
177. Verma.R., Quebec, M., Mukhedkar, 1980, Impulse Impedance of Buried Ground Wire, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.Pas-99, No.5, 2003-2007.
178. Gupta, B.R., Singh, V.K., 1992, Impulse Impedance of Rectangular Grounding Grids, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.7, No.1, 214-218.
179. Gupta, B.R., Thapar, B., 1980, Impulse Impedance of Grounding Grids, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-99, No.6, 2357-2362.
180. Verma, R., Quebec, M., Mukhedkar, D., Fundamental Considerations and Impulse :Impedance of Grounding Grids, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-100, No.3, 1023-1030.
181. Handoko, S.D., Kwoh, C.K., Ong, Y.S., Lim, M.H., 2008, A Study on Constrained MA Using GA and SQP: Analytical vs.Finite-Difference Gradients, IEEE Congress on Evolutionary Computation, 4031-4038.
182. Skinner, B.T., Nguyen, H.T., Liu, D.K., 2007, Hybrid Optimisation Method Using PGA and SQP Algorithm, IEEE Symposium on Foundations of Computational Intelligence, 73-80.
183. Carpio, R.C., Coelho, L.S., 2006, OPtimization and Modeling in the Co-Processing of Wastes in Cement Industry Comprising Cost, Qualty and Environmental Impact Using SQP, Genetic Algorithm and Differantial Evolution, IEEE Congress on Evolutionary Computation, 1463-1468.
184. Hu, X., Huang, Z., Wang, Z., Hybridization of the Multi-Objective Evolutionary Algorithms and the Gradient-based Algorithms, 2003 IEEE, 870-877.
185. Duran, A.M., 2006, Yükselen Bakır Fiyatları Karşısında Alüminyum İletkenli Kablo Kullanımı, Kaynak Elektrik Dergisi, syf.86-92.
186. Alperöz, N., Alüminyum İletkenli Havai ve Yer altı Kablolarının Teknik ve Ekonomik Bakımından İncelenmesi, Elektrik Mühendisliği-334/335, syf.151-153.
187. Li, Y., Ma, J. And Dawalibi, F.P., 2006, Power Grounding Safety:Copper Grounding Systems vs. Steel Grounding Systems, International Conference on Power System Technology, Page(s).1-6.

ÖZGEÇMİŞ	
1-Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Barış GÜRSU
Doğum Tarihi	11.04.1975
Doğum Yeri	Elazığ
Ev Adresi	Kültür Mah.Set Sok.No:3 ELAZIĞ
İş Adresi	TEİAŞ 13.İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü Elazığ
İş Telefonu	424 247 26 04
Cep Telefonu	536 253 69 09
e-posta	gursubaris@hotmail.com
2-Eğitim Durumu	
1982-1987 İlkokul	Elazığ Vali Tevfik Gür İlkokulu
1987-1990 Ortaokul	Elazığ Ortaokulu
1990-1993 Lise	Elazığ Mehmet Akif Ersoy Lisesi
1994-1998 Üniversite	Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
1999-2002 Yüksek Lisans	Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
2002-2009 Doktora	Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
3-Çalışma Durumu	
1998-2001 Mühendis	Ankara TEAŞ Büyük Güç Trafoları Onarım ve Taşıma İşletme Müd.
2001-2005 Mühendis	TEAŞ Keban Şebeke İşletme Grup Müd. Test Grup Başmüh.
2005-…… Başmühendis	TEİAŞ Elazığ 13.İletim Tesis ve İşletme Grup Müd. Röle Grup Başmüh.
4-Bilimsel Çalışmalar	
1 adet uluslar arası SCI Fen indeks hakemli dergi makalesi vardır.	
5 adet ulusal hakemli dergi makalesi vardır.	
5 adet uluslar arası sempozyum bildirisi vardır.	
8 adet ulusal sempozyum bildirisi vardır.	
5-Ailevi Durumu	Evli ve iki çocuk babası
6-Yabancı Dili	İngilizce, Almanca
7- Özel İlgi Alanları	
Kişisel Gelişim, Futbol, Atletizm, Satranç	
Tiyatro, Sinema, Masa Tenisi, Harput Musikisi.	

EKLER

EK - 1 : RASSAL POPÜLASYON

```
for i=1:popsay
kromozom(i,1)=floor(rand(1,1)*(aralik2-aralik1)+aralik1);%Toplam çubuk sayısı
kromozom(i,2)=floor(rand(1,1)*(aralik4-aralik3)+aralik3);%x    yönündeki    bir
satırdaki göz sayısı
kromozom(i,3)=floor(rand(1,1)*(aralik4-aralik3)+aralik3);%y    yönündeki    bir
sütundaki göz sayısı
kromozom(i,4)=floor(rand(1,1)*(aralik6-aralik5)+aralik5);%ağ gömülme derinliği
end
```

EK - 2 : HALTON DİZİLİ POPÜLASYON

```
k=0;
m=1;
for i=2:500
   for j=1:i
      if(mod(i,j)==0)
         k=k+1;
      end
   end
   if(k==2)
      asal(m)=i;
      m=m+1;
   end
    k=0;
end
 for i=1:popsay
   for j=1:4
      a=1;
      b=1;
      xx=1;
      kalan(i,a)=mod(i,asal(j));
      bolum(i,a)=(i-kalan(i,a))/asal(j);
      while(xx==1)
         if(bolum(i,a)>=asal(j))
            a=a+1;
            kalan(i,a)=mod(bolum(i,a-1),asal(j));
            bolum(i,a)=(bolum(i,a-1)-kalan(i,a))/asal(j);
         end
         if(bolum(i,a)<asal(j))
            kr(i,b)=bolum(i,a);
            b=b+1;
            xx=0;
            aa=a;
            for k=1:aa
               kr(i,b)=kalan(i,a);
               a=a-1;
               b=b+1;
            end
         end
      end
      d=1;
      top=0;
```

```
b=b-1;
      bb=b;
      for x=bb:-1:1
         top=(kr(i,b)*power(asal(j),(-d)))+top;
         b=b-1;
         d=d+1;
      end
      kromozo(i,j)=top;
   end
end
 for i=1:popsay
kromozom(i,1)=floor(kromozo(i,1)*(aralik2-aralik1)+aralik1);%Toplam çubuk
sayısı
kromozom(i,2)=floor(kromozo(i,2)*(aralik4-aralik3)+aralik3);%x yönündeki bir
satırdaki göz sayısı
kromozom(i,3)=floor(kromozo(i,3)*(aralik4-aralik3)+aralik3);%y yönündeki bir
sütundaki göz sayısı
kromozom(i,4)=floor(kromozo(i,4)*(aralik6-aralik5)+aralik5);%ağ gömülme
derinliği
end
```

EK – 3 : HAMMERSLEY DİZİLİ POPÜLASYON

```
k=0;
m=1;
for i=2:500
   for j=1:i
      if(mod(i,j)==0)
         k=k+1;
      end
   end
   if(k==2)
      asal(m)=i;
      m=m+1;
   end
    k=0;
end
 for i=1:popsay
   for j=1:4
      a=1;
      b=1;
      xx=1;
      kalan(i,a)=mod(i,asal(j));
      bolum(i,a)=(i-kalan(i,a))/asal(j);
      while(xx==1)
         if(bolum(i,a)>=asal(j))
            a=a+1;
            kalan(i,a)=mod(bolum(i,a-1),asal(j));
            bolum(i,a)=(bolum(i,a-1)-kalan(i,a))/asal(j);
         end
         if(bolum(i,a)<asal(j))
            kr(i,b)=bolum(i,a);
            b=b+1;
            xx=0;
            aa=a;
            for k=1:aa
               kr(i,b)=kalan(i,a);
               a=a-1;
               b=b+1;
            end
         end
```

```
end
      d=1;
      top=0;
      b=b-1;
      bb=b;
      for x=bb:-1:1
         top=(kr(i,b)*power(asal(j),(-d)))+top;
         b=b-1;
         d=d+1;
      end
      kromoz(i,j)=top;
   end
end

l=1;
j=1;
while(l==1)
   for i=1:popsay
      kromozo(i,j+1)=kromoz(i,j);
   end
   j=j+1;
   if(j==4+1)
      l=2;
   end
end
 for i=1:popsay
   kromozo(i,1)=i/popsay;
end
for i=1:popsay
kromozom(i,1)=floor(kromozo(i,1)*(aralik2-aralik1)+aralik1);%Toplam çubuk
sayısı
kromozom(i,2)=floor(kromozo(i,2)*(aralik4-aralik3)+aralik3);%x yönündeki bir
satırdaki göz sayısı
kromozom(i,3)=floor(kromozo(i,3)*(aralik4-aralik3)+aralik3);%y yönündeki bir
sütundaki göz sayısı
kromozom(i,4)=floor(kromozo(i,4)*(aralik6-aralik5)+aralik5);%ağ gömülme
derinliği
end
```

EK – 4 : FAURE DİZİLİ POPÜLASYON

```
taban=5;d=taban;z=1;
for i=1:popsay
    a=dec2base(i,d,d);
    top=0;
    m=d;
    for k=1:d
        if (a(k)+1)==49
            a(k)=0;b(m)=0;
        end
        if (a(k)+1)==50
            a(k)=1;b(m)=1;
        end
        if (a(k)+1)==51
            a(k)=2;b(m)=2;
        end
        if (a(k)+1)==52
            a(k)=3;b(m)=3;
        end
        if (a(k)+1)==53
            a(k)=4;b(m)=4;
```

```
end
        top=top+(a(k)*(power(d,(-m))));
        m=m-1;
    end
        f(i,1)=top;a=0;
corput(1,1)=1;
corput(1,2)=1;
corput(1,3)=1;
corput(1,4)=1;
corput(1,5)=1;
corput(2,1)=0;
corput(2,2)=1;
corput(2,3)=2;
corput(2,4)=3;
corput(2,5)=4;
corput(3,1)=0;
corput(3,2)=0;
corput(3,3)=1;
corput(3,4)=3;
corput(3,5)=1;
corput(4,1)=0;
corput(4,2)=0;
corput(4,3)=0;
corput(4,4)=1;
corput(4,5)=4;
corput(5,1)=0;
corput(5,2)=0;
corput(5,3)=0;
corput(5,4)=0;
corput(5,5)=1;
k=1;vop=0;z=1;sop=0;
while (z<6)
for v=1:d
        vop=vop+(corput(z,v)*b(k));
        k=k+1;
end
    if k==6
        k=1;
    end
    gor=mod(vop,d);
s(i,z)=gor;
z=z+1;vop=0;
end
z=1;fop=0;
for w=1:d
    fop=fop+s(i,z)*power(d,(-w));
z=z+1;
end
f(i,2)=fop;
zz=1;rop=0;y=1;
while (zz<6)
for vv=1:d
        rop=rop+(corput(zz,vv)*s(i,y));
y=y+1;
end
    if y==6
        y=1;
    end
    mor=mod(rop,d);
wh(i,zz)=mor;
```

```
zz=zz+1;rop=0;
end
ez=1;afop=0;
for aw=1:d
    afop=afop+wh(i,ez)*power(d,(-aw));
ez=ez+1;
end
f(i,3)=afop;
zzz=1;zrop=0;zy=1;
while (zzz<6)
for zvv=1:d
        zrop=zrop+(corput(zzz,zvv)*s(i,zy));
zy=zy+1;
end
    if zy==6
        zy=1;
    end
zmor=mod(zrop,d);
zwh(i,zzz)=zmor;
zzz=zzz+1;zrop=0;
end

zez=1;zafop=0;
for zaw=1:d
    zafop=zafop+zwh(i,zez)*power(d,(-zaw));
zez=zez+1;
end
f(i,4)=zafop;
end
for i=1:popsay
kromozom(i,1)=floor(f(i,1)*(aralik2-aralik1)+aralik1);%Toplam çubuk sayısı
kromozom(i,2)=floor(f(i,2)*(aralik4-aralik3)+aralik3);%x yönündeki bir
satırdaki göz sayısı
kromozom(i,3)=floor(f(i,3)*(aralik4-aralik3)+aralik3);%y yönündeki bir
sütundaki göz sayısı
kromozom(i,4)=floor(f(i,4)*(aralik6-aralik5)+aralik5);%ağ gömülme derinliği
end
```

EK – 5 : SOBOL DİZİLİ POPÜLASYON

```
m(1)=1;v(1)=1;top=0;t=2;
for i=2:popsay
    a=2*(m(i-1));
    b=m(i-1);
    x=dec2bin(a,15);
    y=dec2bin(b,15);
    for k=1:15
        if (x(k)+1)==49
            g(k)=0;
        end
        if (x(k)+1)==50
            g(k)=1;
        end
        if (y(k)+1)==49
            h(k)=0;
        end
        if (y(k)+1)==50
            h(k)=1;
        end
```

```
end
    cc=xor(g,h);
    r=14;
    for k=1:15
        top=top+(cc(k)*power(2,r));
        r=r-1;
    end
    m(t)=top;
    v(t)=m(t);top=0;t=t+1;
end
h=15;
xs(1)=0;  z=1;
for i=1:popsay
    ah=dec2bin(i-1,15);
    for k=1:15
        if (ah(k)+1)==49
            ga(k)=0;
        end
        if (ah(k)+1)==50
            ga(k)=1;
        end
    end
    for k=1:15
        if (ah(k)+1)==49
            mam(k)=0;
        end
        if (ah(k)+1)==50
            mam(k)=1;
        end
        s=mam(k);
        mam(k)=ga(h);
        mam(h)=s;
        h=h-1;
        if h==0
            h=15;
        end
    end
    rt=1;
    while(rt<15)
        if (mam(rt))==0
            cez=rt;
            rt=16;
        end
        rt=rt+1;
    end
rr(i)=cez;
 if i==1
     xx=dec2bin(xs(i),1);
      for k=1:1
         if xx(k)+1==49
             yx(i,k)=0;
         end
         if xx(k)+1==50
             yx(i,k)=1;
         end
      end
end
for fo=1:popsay
   ro=fo;
     for k=1:z
```

```
cvb=dec2bin(v(z),z);
          if cvb(k)+1==49
             bvc(ro,k)=0;
         end
         if cvb(k)+1==50
             bvc(ro,k)=1;
         end
       end
  z=z+1;
 end
 z=1;
for u=1:cez
 bu(u)=bvc(cez,u);
  end
  eee=size(bu,2);
  ddd=size(yx,2);
   if eee>ddd
      ala=ddd+1;
      for ral=ala:eee
  yx(ral)=0;
      end
  end
  if eee<ddd
      dala=eee+1;
      for dal=dala:ddd
          bu(dal)=0;
      end
  end
    n=xor(yx,bu);
for ho=1:40
    bu(ho)=0;
end
yx=n;
topp=0;
f=1;
if eee>ddd
    ciz=eee;
end
if eee<ddd
    ciz=ddd;
else
    ciz=eee;
end
for yu=1:ciz
topp=topp+(n(f)*power(2,-yu));
f=f+1;
end
xs(i+1)=topp;
end
for i=1:popsay
    for j=1:1
        kromozom(i,j)=xs(1,i);
    end
end
mm(1)=1;mm(2)=3;
vv(1)=1;vv(2)=3;
top=0;t=3;
for i=3:popsay
    a=2*(mm(i-1));
    b=4*(mm(i-2));
```

```
c=mm(i-2);
    xx=dec2bin(a,15);
    yy=dec2bin(b,15);
    zz=dec2bin(c,15);
    for k=1:15
        if (xx(k)+1)==49
            g(k)=0;
        end
        if (xx(k)+1)==50
            g(k)=1;
        end
        if (yy(k)+1)==49
            h(k)=0;
        end
        if (yy(k)+1)==50
            h(k)=1;
        end
        if (zz(k)+1)==49
            d(k)=0;
        end
        if (zz(k)+1)==50
            d(k)=1;
        end
    end
    hcc=xor(g,h);
    cc=xor(hcc,d);
    r=14;
    for k=1:15
        top=top+(cc(k)*power(2,r));
        r=r-1;
    end
    mm(t)=top;
    vv(t)=mm(t);top=0;t=t+1;
end
h=15;
xss(1)=0;  z=1;
for i=1:popsay
    ah=dec2bin(i-1,15);
    for k=1:15
        if (ah(k)+1)==49
            ga(k)=0;
        end
        if (ah(k)+1)==50
            ga(k)=1;
        end
    end
    for k=1:15
        if (ah(k)+1)==49
            mam(k)=0;
        end
        if (ah(k)+1)==50
            mam(k)=1;
        end
        s=mam(k);
        mam(k)=ga(h);
        mam(h)=s;
        h=h-1;
        if h==0
            h=15;
        end
```

```
end
    rt=1;
    while(rt<15)
        if (mam(rt))==0
            cez=rt;
            rt=16;
        end
        rt=rt+1;
    end
rr(i)=cez;
 if i==1
     xxx=dec2bin(xss(i),1);
      for k=1:1
         if xxx(k)+1==49
             yxx(i,k)=0;
         end
         if xxx(k)+1==50
             yxx(i,k)=1;
         end
      end
end
for fo=1:popsay
   ro=fo;
     for k=1:z
              cvb=dec2bin(vv(z),z);
           if cvb(k)+1==49
              bvc(ro,k)=0;
         end
         if cvb(k)+1==50
             bvc(ro,k)=1;
         end
     end
  z=z+1;
 end
 z=1;
  for u=1:cez
 bu(u)=bvc(cez,u);
  end
  eee=size(bu,2);
  ddd=size(yxx,2);
  if eee>ddd
      ala=ddd+1;
      for ral=ala:eee
  yx(ral)=0;
      end
  end
  if eee<ddd
      dala=eee+1;
      for dal=dala:ddd
          bu(dal)=0;
      end
  end
    n=xor(yxx,bu);
for ho=1:40
    bu(ho)=0;
end
yxx=n;
topp=0;
f=1;
if eee>ddd
```

```
ciz=eee;
end
if eee<ddd
    ciz=ddd;
else
    ciz=eee;
end
for yu=1:ciz
topp=topp+(n(f)*power(2,-yu));
f=f+1;
end
xss(i+1)=topp;
end
for i=1:popsay
    for j=2:2
        kromozom(i,j)=xss(1,i);
    end
end
m(1)=1;m(2)=3;m(3)=7;
v(1)=1;v(2)=3;v(3)=7;
top=0;t=4;
for i=4:popsay
    a=4*(m(i-2));
    b=8*(m(i-3));
    c=m(i-3);
    x=dec2bin(a,15);
    y=dec2bin(b,15);
    z=dec2bin(c,15);
    for k=1:15
        if (x(k)+1)==49
            g(k)=0;
        end
        if (x(k)+1)==50
            g(k)=1;
        end
        if (y(k)+1)==49
            h(k)=0;
        end
        if (y(k)+1)==50
            h(k)=1;
        end
        if (z(k)+1)==49
            d(k)=0;
        end
        if (z(k)+1)==50
            d(k)=1;
        end
    end
    hcc=xor(g,h);
    cc=xor(hcc,d);
    r=14;
    for k=1:15
        top=top+(cc(k)*power(2,r));
        r=r-1;
    end
    m(t)=top;
    v(t)=m(t);top=0;t=t+1;
end
h=15;
xs(1)=0;  z=1;
```

```
for i=1:popsay
    ah=dec2bin(i-1,15);
    for k=1:15
        if (ah(k)+1)==49
            ga(k)=0;
        end
        if (ah(k)+1)==50
            ga(k)=1;
        end
    end
    for k=1:15
        if (ah(k)+1)==49
            mam(k)=0;
        end
        if (ah(k)+1)==50
            mam(k)=1;
        end
        s=mam(k);
        mam(k)=ga(h);
        mam(h)=s;
        h=h-1;
        if h==0
            h=15;
        end
    end
    rt=1;
    while(rt<15)
        if (mam(rt))==0
            cez=rt;
            rt=16;
        end
        rt=rt+1;
    end
rr(i)=cez;
if i==1
     xx=dec2bin(xs(i),1);
      for k=1:1
         if xx(k)+1==49
             yx(i,k)=0;
         end
         if xx(k)+1==50
             yx(i,k)=1;
         end
      end
end
for fo=1:popsay
   ro=fo;
     for k=1:z
              cvb=dec2bin(v(z),z);
         if cvb(k)+1==49
             bvc(ro,k)=0;
         end
         if cvb(k)+1==50
             bvc(ro,k)=1;
         end
     end
  z=z+1;
 end
 z=1;
  for u=1:cez
```

```
bu(u)=bvc(cez,u);
  end
  eee=size(bu,2);
  ddd=size(yx,2);
  if eee>ddd
      ala=ddd+1;
      for ral=ala:eee
  yx(ral)=0;
      end
  end
  if eee<ddd
      dala=eee+1;
      for dal=dala:ddd
          bu(dal)=0;
      end
  end
    n=xor(yx,bu);
for ho=1:40
    bu(ho)=0;
end
yx=n;
topp=0;
f=1;
if eee>ddd
    ciz=eee;
end
if eee<ddd
    ciz=ddd;
else
    ciz=eee;
end
for yu=1:ciz
topp=topp+(n(f)*power(2,-yu));
f=f+1;
end
xs(i+1)=topp;
end
for i=1:popsay
    for j=3:3
        kromozom(i,j)=xs(1,i);
    end
end
pm(1)=1;pm(2)=1;pm(3)=5;
pv(1)=1;pv(2)=1;pv(3)=5;
top=0;t=4;
for i=4:popsay
    a=2*(pm(i-1));
    b=8*(pm(i-3));
    c=pm(i-3);
    px=dec2bin(a,15);
    py=dec2bin(b,15);
    pz=dec2bin(c,15);
    for k=1:15
        if (px(k)+1)==49
            g(k)=0;
        end
        if (px(k)+1)==50
            g(k)=1;
        end
        if (py(k)+1)==49
```

```
h(k)=0;
        end
        if (py(k)+1)==50
            h(k)=1;
        end
        if (pz(k)+1)==49
            d(k)=0;
        end
        if (pz(k)+1)==50
            d(k)=1;
        end
    end
    hcc=xor(g,h);
    cc=xor(hcc,d);
    r=14;
    for k=1:15
        top=top+(cc(k)*power(2,r));
        r=r-1;
    end
    pm(t)=top;
    pv(t)=pm(t);top=0;t=t+1;
end
h=15;
hxs(1)=0;  z=1;
for i=1:popsay
    ah=dec2bin(i-1,15);
    for k=1:15
        if (ah(k)+1)==49
            ga(k)=0;
        end
        if (ah(k)+1)==50
            ga(k)=1;
        end
    end
    for k=1:15
        if (ah(k)+1)==49
            mam(k)=0;
        end
        if (ah(k)+1)==50
            mam(k)=1;
        end
        s=mam(k);
        mam(k)=ga(h);
        mam(h)=s;
        h=h-1;
        if h==0
            h=15;
        end
    end
    rt=1;
    while(rt<15)
        if (mam(rt))==0
            cez=rt;
            rt=16;
        end
        rt=rt+1;
    end
rr(i)=cez;
if i==1
     pxx=dec2bin(hxs(i),1);
```

```
for k=1:1
         if pxx(k)+1==49
             pyx(i,k)=0;
         end
         if pxx(k)+1==50
             pyx(i,k)=1;
         end
       end
end
for fo=1:popsay
   ro=fo;
     for k=1:z
              cvb=dec2bin(pv(z),z);
         if cvb(k)+1==49
             bvc(ro,k)=0;
         end
         if cvb(k)+1==50
             bvc(ro,k)=1;
         end
     end
  z=z+1;
 end
 z=1;
  for u=1:cez
 bu(u)=bvc(cez,u);
  end
  eee=size(bu,2);
  ddd=size(pyx,2);
  if eee>ddd
      ala=ddd+1;
      for ral=ala:eee
  pyx(ral)=0;
      end
  end
  if eee<ddd
      dala=eee+1;
      for dal=dala:ddd
          bu(dal)=0;
      end
  end
    pn=xor(pyx,bu);
for ho=1:40
    bu(ho)=0;
end
pyx=pn;
topp=0;
pf=1;
if eee>ddd
    ciz=eee;
end
if eee<ddd
    ciz=ddd;
else
    ciz=eee;
end
for pyu=1:ciz
topp=topp+(pn(pf)*power(2,-pyu));
pf=pf+1;
end
hxs(i+1)=topp;
```

```
end
for i=1:popsay
    for j=4:4
        kromozom(i,j)=hxs(1,i);
    end
end

for i=1:popsay
kromozom(i,1)=floor(kromozom(i,1)*(aralik2-aralik1)+aralik1);%Toplam çubuk
sayısı
kromozom(i,2)=floor(kromozom(i,2)*(aralik4-aralik3)+aralik3);%x yönündeki bir
satırdaki göz sayısı
kromozom(i,3)=floor(kromozom(i,3)*(aralik4-aralik3)+aralik3);%y yönündeki bir
sütundaki göz sayısı
kromozom(i,4)=floor(kromozom(i,4)*(aralik6-aralik5)+aralik5);%ağ gömülme
derinliği
end
```

EK – 6 : ORTOGONAL DİZİLİ POPÜLASYON

```
for j=1:4
      uyguncozumuzayl(j)=aralik1;
      uyguncozumuzayu(j)=aralik2;
      usls(j)=uyguncozumuzayu(j)-uyguncozumuzayl(j);
end
useksils=max(usls);
q=4;
for i=1:altuzay
    for j=1:4
      uyguncozumuzayl(1)=aralik1+((i-1)*(useksils/altuzay));
      uyguncozumuzayu(1)=aralik2-((altuzay-i)*(useksils/altuzay));
      l(i,j)=uyguncozumuzayl(j);
      u(i,j)=uyguncozumuzayu(j);
   end
end
a=1;
for k=1:altuzay
   for i=1:4
      for j=1:q
         if(j==1)
            alfa(a,j)=l(k,i);
         elseif(2<=j<=(q-1))
            alfa(a,j)=l(k,i)+((j-1)*(u(k,i)-l(k,i)))/(q-1);
         elseif(j==q)
            alfa(a,j)=u(k,i);
         end
      end
      a=a+1;
   end
end
temelkolon=log(1+(4*q)-4)/log(q);
temelkolonsays=temelkolon+0.5;
J=round(temelkolonsays);
n=(q^J-1)/(q-1);
yeniboyut=n-4;
a=1;
k=0;
for i=1:J
   for j=1:q^J
      birkromozom(j,i)=alfa(i,a);
```

```
if(i>1)
         a=a+1;
      end
      if(a==(q+1))
         a=1;
      end
      k=k+1;
      if(k==q)
         a=a+1;
         k=0;
      end
   end
   a=1;
   k=q+1;
end
x=1;
y=1;
for S=1:altuzay
   for k=1:J
      j=(((q^(k-1))-1)/(q-1))+1;
      for i=1:q^J
         d=round(((i-1)/(q^(J-k)))-0.5);
         if(d<0)
            d=0;
         end
         orto(i,j)=mod(d,q);
         ata=orto(i,j);
         birkromozom(x,k)=alfa(y,ata+1);
         x=x+1;
      end
      x=((S-1)*q^J)+1;
      y=y+1;
   end
   x=(S*q^J)+1;
   y=(4*S)+1;
end
x=1;
y=J+1;
kk=J+1;
for SS=1:altuzay
   for k=2:J
   j=((q^(k-1)-1)/(q-1)+1);
   for S=1:(j-1)
      for t=1:(q-1)
         for i=1:(q^J)
            sutun=(j+((S-1)*(q-1))+t);
            orto(i,sutun)=mod((orto(i,S)*t)+orto(i,j),q);
            birkromozom(x,kk)=alfa(y,orto(i,sutun)+1);
            x=x+1;
         end
         y=y+1;
         if y>(4*altuzay)
            y=(4*altuzay);
         end
         x=((SS-1)*q^J)+1;
         kk=kk+1;
      end
   end
end
   x=(SS*q^J)+1;
```

```
y=(4*(SS+1));
   kk=J+1;
end
for k=sutun:-1:(sutun-(n-4)+1)
   for i=1:(altuzay*q^J)
      birkromozom(i,k)=0;
   end
end
mmmm=1;
for i=1:(altuzay*q^J)
    for j=1:4
        bbirkromozom(mmmm,j)=birkromozom(i,j);
        mmmm=mmmm+1;
    end
end
for j=1:4
      uyguncozumuzayl(j)=aralik3;
      uyguncozumuzayu(j)=aralik4;
      usls(j)=uyguncozumuzayu(j)-uyguncozumuzayl(j);
end
useksils=max(usls);
q=4;
for i=1:altuzay
    for j=1:4
      uyguncozumuzayl(1)=aralik3+((i-1)*(useksils/altuzay));
      uyguncozumuzayu(1)=aralik4-((altuzay-i)*(useksils/altuzay));
      l(i,j)=uyguncozumuzayl(j);
      u(i,j)=uyguncozumuzayu(j);
   end
end
a=1;
for k=1:altuzay
   for i=1:4
      for j=1:q
         if(j==1)
            alfa(a,j)=l(k,i);
         elseif(2<=j<=(q-1))
            alfa(a,j)=l(k,i)+((j-1)*(u(k,i)-l(k,i)))/(q-1);
         elseif(j==q)
            alfa(a,j)=u(k,i);
         end
      end
      a=a+1;
   end
end
temelkolon=log(1+(4*q)-4)/log(q);
temelkolonsays=temelkolon+0.5;
J=round(temelkolonsays);
n=(q^J-1)/(q-1);
yeniboyut=n-4;
a=1;
k=0;
for i=1:J
   for j=1:q^J
      ikikromozom(j,i)=alfa(i,a);
      if(i>1)
         a=a+1;
      end
      if(a==(q+1))
         a=1;
```

```
end
      k=k+1;
      if(k==q)
         a=a+1;
         k=0;
      end
   end
   a=1;
   k=q+1;
end
x=1;
y=1;
for S=1:altuzay
   for k=1:J
      j=(((q^(k-1))-1)/(q-1))+1;
      for i=1:q^J
         d=round(((i-1)/(q^(J-k)))-0.5);
         if(d<0)
            d=0;
         end
         orto(i,j)=mod(d,q);
         ata=orto(i,j);
         ikikromozom(x,k)=alfa(y,ata+1);
         x=x+1;
      end
      x=((S-1)*q^J)+1;
      y=y+1;
   end
   x=(S*q^J)+1;
   y=(4*S)+1;
end
x=1;
y=J+1;
kk=J+1;
for SS=1:altuzay
   for k=2:J
   j=((q^(k-1)-1)/(q-1)+1);
   for S=1:(j-1)
      for t=1:(q-1)
         for i=1:(q^J)
            sutun=(j+((S-1)*(q-1))+t);
            orto(i,sutun)=mod((orto(i,S)*t)+orto(i,j),q);
            ikikromozom(x,kk)=alfa(y,orto(i,sutun)+1);
            x=x+1;
         end
         y=y+1;
         if y>(4*altuzay)
            y=(4*altuzay);
         end
         x=((SS-1)*q^J)+1;
         kk=kk+1;
      end
   end
end
   x=(SS*q^J)+1;
   y=(4*(SS+1));
   kk=J+1;
end
for k=sutun:-1:(sutun-(n-4)+1)
   for i=1:(altuzay*q^J)
```

```
ikikromozom(i,k)=0;
   end
end
mmm=1;
for i=1:(altuzay*q^J)
    for j=1:4
        iikikromozom(mmm,j)=ikikromozom(i,j);
        mmm=mmm+1;
    end
end
for j=1:4
      uyguncozumuzayl(j)=aralik3;
      uyguncozumuzayu(j)=aralik4;
      usls(j)=uyguncozumuzayu(j)-uyguncozumuzayl(j);
end
useksils=max(usls);
q=4;
for i=1:altuzay
    for j=1:4
      uyguncozumuzayl(1)=aralik3+((i-1)*(useksils/altuzay));
      uyguncozumuzayu(1)=aralik4-((altuzay-i)*(useksils/altuzay));
      l(i,j)=uyguncozumuzayl(j);
      u(i,j)=uyguncozumuzayu(j);
   end
end
a=1;
for k=1:altuzay
   for i=1:4
      for j=1:q
         if(j==1)
            alfa(a,j)=l(k,i);
         elseif(2<=j<=(q-1))
            alfa(a,j)=l(k,i)+((j-1)*(u(k,i)-l(k,i)))/(q-1);
         elseif(j==q)
            alfa(a,j)=u(k,i);
         end
      end
      a=a+1;
   end
end
temelkolon=log(1+(4*q)-4)/log(q);
temelkolonsays=temelkolon+0.5;
J=round(temelkolonsays);
n=(q^J-1)/(q-1);
yeniboyut=n-4;
a=1;
k=0;
for i=1:J
   for j=1:q^J
      uckromozom(j,i)=alfa(i,a);
      if(i>1)
         a=a+1;
      end
      if(a==(q+1))
         a=1;
      end
      k=k+1;
      if(k==q)
         a=a+1;
         k=0;
```

```
end
   end
   a=1;
   k=q+1;
end
x=1;
y=1;
for S=1:altuzay
   for k=1:J
      j=(((q^(k-1))-1)/(q-1))+1;
      for i=1:q^J
         d=round(((i-1)/(q^(J-k)))-0.5);
         if(d<0)
            d=0;
         end
         orto(i,j)=mod(d,q);
         ata=orto(i,j);
         uckromozom(x,k)=alfa(y,ata+1);
         x=x+1;
      end
      x=((S-1)*q^J)+1;
      y=y+1;
   end
   x=(S*q^J)+1;
   y=(4*S)+1;
end
x=1;
y=J+1;
kk=J+1;
for SS=1:altuzay
   for k=2:J
   j=((q^(k-1)-1)/(q-1)+1);
   for S=1:(j-1)
      for t=1:(q-1)
         for i=1:(q^J)
            sutun=(j+((S-1)*(q-1))+t);
            orto(i,sutun)=mod((orto(i,S)*t)+orto(i,j),q);
            uckromozom(x,kk)=alfa(y,orto(i,sutun)+1);
            x=x+1;
         end
         y=y+1;
         if y>(4*altuzay)
            y=(4*altuzay);
         end
         x=((SS-1)*q^J)+1;
         kk=kk+1;
      end
   end
end
   x=(SS*q^J)+1;
   y=(4*(SS+1));
   kk=J+1;
end
for k=sutun:-1:(sutun-(n-4)+1)
   for i=1:(altuzay*q^J)
      uckromozom(i,k)=0;
   end
end
mm=1;
for i=1:(altuzay*q^J)
```

```
for j=1:4
        uuckromozom(mm,j)=uckromozom(i,j);
        mm=mm+1;
    end
end
for j=1:4
      uyguncozumuzayl(j)=aralik5;
      uyguncozumuzayu(j)=aralik6;
      usls(j)=uyguncozumuzayu(j)-uyguncozumuzayl(j);
end
useksils=max(usls);
q=4;
for i=1:altuzay
    for j=1:4
      uyguncozumuzayl(1)=aralik5+((i-1)*(useksils/altuzay));
      uyguncozumuzayu(1)=aralik6-((altuzay-i)*(useksils/altuzay));
      l(i,j)=uyguncozumuzayl(j);
      u(i,j)=uyguncozumuzayu(j);
   end
end
a=1;
for k=1:altuzay
   for i=1:4
      for j=1:q
         if(j==1)
            alfa(a,j)=l(k,i);
         elseif(2<=j<=(q-1))
            alfa(a,j)=l(k,i)+((j-1)*(u(k,i)-l(k,i)))/(q-1);
         elseif(j==q)
            alfa(a,j)=u(k,i);
         end
      end
      a=a+1;
   end
end
temelkolon=log(1+(4*q)-4)/log(q);
temelkolonsays=temelkolon+0.5;
J=round(temelkolonsays);
n=(q^J-1)/(q-1);
yeniboyut=n-4;
a=1;
k=0;
for i=1:J
   for j=1:q^J
      dortkromozom(j,i)=alfa(i,a);
      if(i>1)
         a=a+1;
      end
      if(a==(q+1))
         a=1;
      end
      k=k+1;
      if(k==q)
         a=a+1;
         k=0;
      end
   end
   a=1;
   k=q+1;
end
```

```
x=1;
y=1;
for S=1:altuzay
   for k=1:J
      j=(((q^(k-1))-1)/(q-1))+1;
      for i=1:q^J
         d=round(((i-1)/(q^(J-k)))-0.5);
         if(d<0)
            d=0;
         end
         orto(i,j)=mod(d,q);
         ata=orto(i,j);
         dortkromozom(x,k)=alfa(y,ata+1);
         x=x+1;
      end
      x=((S-1)*q^J)+1;
      y=y+1;
   end
   x=(S*q^J)+1;
   y=(4*S)+1;
end
x=1;
y=J+1;
kk=J+1;
for SS=1:altuzay
   for k=2:J
   j=((q^(k-1)-1)/(q-1)+1);
   for S=1:(j-1)
      for t=1:(q-1)
         for i=1:(q^J)
            sutun=(j+((S-1)*(q-1))+t);
            orto(i,sutun)=mod((orto(i,S)*t)+orto(i,j),q);
            dortkromozom(x,kk)=alfa(y,orto(i,sutun)+1);
            x=x+1;
         end
         y=y+1;
         if y>(4*altuzay)
            y=(4*altuzay);
         end
         x=((SS-1)*q^J)+1;
         kk=kk+1;
      end
   end
end
   x=(SS*q^J)+1;
   y=(4*(SS+1));
   kk=J+1;
end
for k=sutun:-1:(sutun-(n-4)+1)
   for i=1:(altuzay*q^J)
      dortkromozom(i,k)=0;
   end
end
m=1;
for i=1:(altuzay*q^J)
    for j=1:4
        ddortkromozom(m,j)=dortkromozom(i,j);
        m=m+1;
    end
end
```

EK – 7 : DÜZENLİ DİZİLİ POPÜLASYON

```
for i=1:popsay
ata(i,1)=floor(rand(1,1)*(aralik2-aralik1)+10);%Toplam çubuk sayısı
ata(i,2)=floor(rand(1,1)*(aralik4-aralik3))+aralik3;%x yönündeki bir satırdaki
göz sayısı
ata(i,3)=floor(rand(1,1)*(aralik4-aralik3))+aralik3;%y yönündeki bir sütundaki
göz sayısı
ata(i,4)=(rand(1,1)*(aralik6-aralik5))+aralik5;%ag derinligi
end
i=1;
for j=1:popsay
    for k=1:16
        if k>=9
            kromozom(i,1)=aralik2-ata(j,1);
        end
        if k<9
            kromozom(i,1)=ata(j,1);
        end
        i=i+1;
    end
end
i=1;
for j=1:popsay
    for k=1:16
        if k>=1 & k<=4
            kromozom(i,2)=ata(j,2);
        end
        if k>=9 & k<=12
            kromozom(i,2)=ata(j,2);
        end
        if k>=5 & k<=8
            kromozom(i,2)=aralik4-ata(j,2);
        end
        if k>=13 & k<=16
            kromozom(i,2)=aralik4-ata(j,2);
        end
        i=i+1;
    end
end
i=1;
for j=1:popsay
    for k=1:16
        if k>=1 & k<=2
            kromozom(i,3)=ata(j,3);
        end
        if k>=5 & k<=6
            kromozom(i,3)=ata(j,3);
        end
        if k>=9 & k<=10
            kromozom(i,3)=ata(j,3);
        end
        if k>=13 & k<=14
            kromozom(i,3)=ata(j,3);
        end
        if k>=3 & k<=4
            kromozom(i,3)=aralik4-ata(j,3);
        end
        if k>=7 & k<=8
            kromozom(i,3)=aralik4-ata(j,3);
```

```
end
        if k>=11 & k<=12
            kromozom(i,3)=aralik4-ata(j,3);
        end
        if k>=15 & k<=16
            kromozom(i,3)=aralik4-ata(j,3);
        end
        i=i+1;
    end
end
i=1;
for j=1:popsay
    for k=1:16
        test=mod(k,2);
        if test==0
            kromozom(i,4)=aralik6-ata(j,4);
        else
            kromozom(i,4)=ata(j,4);
        end
        i=i+1;
    end
end
for i=1:16*popsay
    for j=1:4
        ata(i,j)=kromozom(i,j);
    end
end
```

EK – 8 : LOJİSTİK HARİTALI KAOTİK POPÜLASYON

```
x(1)=0.31;
lamda=4;
for i=1:popsay
      x(i+1)=lamda*x(i)*(1-x(i));
       ata(i,1)=floor(rand(1,1)*(aralik2-aralik1)+10);%Toplam çubuk sayısı
       ata(i,2)=floor(rand(1,1)*(aralik4-aralik3))+aralik3;%x yönündeki bir
       satırdaki göz sayısı
       ata(i,3)=floor(rand(1,1)*(aralik4-aralik3))+aralik3;%y yönündeki bir
       sütundaki göz sayısı
       ata(i,4)=(rand(1,1)*(aralik6-aralik5))+aralik5;%ag derinligi
end
```

EK – 9 : UNİFORM DİZİLİ POPÜLASYON

```
if seviye==4
    sigma=2;
end
if seviye==7
    sigma=3;
end
if seviye==11
    sigma=7;
end
if seviye==13
   sigma=6;
end
if seviye==17
   sigma=10;
```

```
end
if seviye==19
   sigma=14;
end
if seviye==23
    sigma=17;
end
if seviye==29
    sigma=16;
end
            for i=1:seviye
                for j=1:4
                    komuta(i,j)=mod(i*(sigma^(j-1)),seviye)+1;
                end
            end
l(1)=10;
l(2)=2;
l(3)=2;
l(4)=0.5;
u(1)=255;
u(2)=255;
u(3)=255;
u(4)=5;
for i=1:4
    a(i)=l(i);
end
for i=1:4
    z(i)=u(i);
end

for i=2:4
    z(i)=((l(i)+u(i))/2);
end
for i=1:4
    delta(i)=z(i)-a(i);
end
for i=1:4
    nn(i)=(u(i)-l(i))/delta(i);
end
n(1)=2;
n(2)=2;
n(3)=2;
n(4)=1;
ll(1,1)=10;
ll(1,2)=2;
ll(1,3)=2;
ll(1,4)=0.5;
uu(1,1)=132.5;
uu(1,2)=128.5;
uu(1,3)=128.5;
uu(1,4)=5;
ll(2,1)=132.5;
ll(2,2)=2;
ll(2,3)=2;
ll(2,4)=0.5;
uu(2,1)=255;
uu(2,2)=128.5;
uu(2,3)=128.5;
uu(2,4)=5;
ll(3,1)=10;
```

```
ll(3,2)=128.5;
ll(3,3)=2;
ll(3,4)=0.5;
uu(3,1)=132.5;
uu(3,2)=255;
uu(3,3)=128.5;
uu(3,4)=5;
ll(4,1)=10;
ll(4,2)=2;
ll(4,3)=128.5;
ll(4,4)=0.5;
uu(4,1)=132.5;
uu(4,2)=128.5;
uu(4,3)=255;
uu(4,4)=5;
ll(5,1)=132.5;
ll(5,2)=128.5;
ll(5,3)=2;
ll(5,4)=0.5;
uu(5,1)=255;
uu(5,2)=247;
uu(5,3)=128.5;
uu(5,4)=5;
ll(6,1)=132.5;
ll(6,2)=2;
ll(6,3)=128.5;
ll(6,4)=0.5;
uu(6,1)=255;
uu(6,2)=128.5;
uu(6,3)=255;
uu(6,4)=5;
ll(7,1)=10;
ll(7,2)=128.5;
ll(7,3)=128.5;
ll(7,4)=0.5;
uu(7,1)=132.5;
uu(7,2)=255;
uu(7,3)=255;
uu(7,4)=5;
ll(8,1)=132.5;
ll(8,2)=128.5;
ll(8,3)=128.5;
ll(8,4)=0.5;
uu(8,1)=255;
uu(8,2)=255;
uu(8,3)=255;
uu(8,4)=5;
a=1;
for k=1:8
   for i=1:4
      for j=1:seviye
         if(j==1)
            alfa(a,j)=ll(k,i);
         elseif(2<=j<=(seviye-1))
            alfa(a,j)=ll(k,i)+((j-1)*(uu(k,i)-ll(k,i)))/(seviye-1);
         elseif(j==seviye)
            alfa(a,j)=uu(k,i);
         end
      end
      a=a+1;
```

```
end
end
mm=1;kk=1;ff=1;
for i=1:seviye
                for j=1:4
                    komuta(i,j)=mod(i*(sigma^(j-1)),seviye)+1;

                end
end
for i=1:4
    for j=1:seviye
        tyuy=komuta(j,i);
                    kromozom(mm,kk)=alfa(kk,tyuy);
                    mm=mm+1;
                    if mm==8
                        kk=kk+1;
                        mm=1;
                    end
    end
end
                    mm=seviye+1;
                    kk=1;kkk=5;
                    for i=1:4
    for j=1:seviye
        tyuy=komuta(j,i);
                    kromozom(mm,kk)=alfa(kkk,tyuy);
                    mm=mm+1;
                    if mm==((2*seviye)+1)
                        kk=kk+1;kkk=kkk+1;
                        mm=seviye+1;
                    end
    end
end
     mm=((2*seviye)+1);
                    kk=1;kkk=9;
                    for i=1:4
    for j=1:seviye
        tyuy=komuta(j,i);
                    kromozom(mm,kk)=alfa(kkk,tyuy);
                    mm=mm+1;
                    if mm==((3*seviye)+1)
                        kk=kk+1;kkk=kkk+1;
                        mm=((2*seviye)+1);
                    end
    end
                    end
                    mm=((3*seviye)+1);
                    kk=1;kkk=13;
                    for i=1:4
    for j=1:seviye
        tyuy=komuta(j,i);
                    kromozom(mm,kk)=alfa(kkk,tyuy);
                    mm=mm+1;
                    if mm==((4*seviye)+1)
                        kk=kk+1;kkk=kkk+1;
                        mm=((3*seviye)+1);
                    end
    end
                    end
                    mm=((4*seviye)+1);
```

```
kk=1;kkk=17;
                    for i=1:4
    for j=1:seviye
        tyuy=komuta(j,i);
                    kromozom(mm,kk)=alfa(kkk,tyuy);
                    mm=mm+1;
                    if mm==((5*seviye)+1)
                        kk=kk+1;kkk=kkk+1;
                        mm=((4*seviye)+1);
                    end
    end
                    end
                    mm=((5*seviye)+1);
                    kk=1;kkk=21;
                    for i=1:4
    for j=1:seviye
        tyuy=komuta(j,i);
                    kromozom(mm,kk)=alfa(kkk,tyuy);
                    mm=mm+1;
                    if mm==((6*seviye)+1)
                        kk=kk+1;kkk=kkk+1;
                        mm=((5*seviye)+1);
                    end
    end
                    end
                    mm=((6*seviye)+1);
                    kk=1;kkk=25;
                    for i=1:4
    for j=1:seviye
        tyuy=komuta(j,i);
                    kromozom(mm,kk)=alfa(kkk,tyuy);
                    mm=mm+1;
                    if mm==((7*seviye)+1)
                        kk=kk+1;kkk=kkk+1;
                        mm=((6*seviye)+1);
                    end
    end
                    end
                    mm=((7*seviye)+1);
                    kk=1;kkk=29;
                    for i=1:4
    for j=1:seviye
        tyuy=komuta(j,i);
                    kromozom(mm,kk)=alfa(kkk,tyuy);
                    mm=mm+1;
                    if mm==((8*seviye)+1)
                        kk=kk+1;kkk=kkk+1;
                        mm=((7*seviye)+1);
                    end
    end
end
```