

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GENETİK ALGORİTMA KULLANARAK
TEL ANTEN TASARIMI**

**DESIGN OF WIRE ANTENNAS
USING GENETIC ALGORITHM**

SEMANUR KIRICI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ANKARA
OCAK, 2007**

**GENETİK ALGORİTMA KULLANARAK
TEL ANTEN TASARIMI**

**DESIGN OF WIRE ANTENNAS
USING GENETIC ALGORITHM**

SEMANUR KIRICI

Başkent Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
ELEKTRİK-ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2007

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma, jürimiz tarafından **ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan :
(Prof.Dr. Emin AKATA)

Üye (Danışman) :
(Prof.Dr. Adnan KÖKSAL)

Üye :
(Prof.Dr. Feza ARIKAN)

ONAY

Bu tez/...../..... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

...../...../.....

Prof.Dr. Emin AKATA
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

TEŞEKKÜR

Tez danıőmanım Sayın Prof. Dr. Adnan KÖKSAL'a, tez çalıőmam sırasında her türlü desteğini esirgemediği, karőılaőılan güçlüklerin aőılmasında her zaman yardımcı ve yol gösterici olduğu için,

Sayın Prof. Dr. Emin AKATA'ya, tez çalıőmam sırasında gerekli çalışma imkanlarını sağladığı ve gösterdiği anlayıő için,

Sayın Prof. Dr. Feza ARIKAN'a, tez çalıőmamı özen ve titizlikle değerlendiği ve yaptığı katkılar için,

aileme, maddi ve manevi her türlü desteği için,

en içten teőekkürlerimi sunarım.

ÖZ

GENETİK ALGORİTMA KULLANARAK TEL ANTEN TASARIMI

Semanur Kırıcı

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışmada Genetik algoritma ile çeşitli tel anten tasarımları yapılmıştır. Genetik algoritmalar Darwin'in doğal seçim ve evrim teorisi ilkelerine dayanan olasılıksal araştırma yöntemleridir. Bir problemin genetik algoritma ile çözümü problemi sanal olarak evrim sürecinden geçirerek yapılır. Genetik algoritma ile tel anten tasarımında tasarımcı istenen elektromanyetik özellikleri belirler, problemin sınırlarını çizer ve algoritma en uygun çözümü bulur.

Tasarımlar için MATLAB® ortamında genetik algoritma yazılımları geliştirilmiştir. Antenlerin performansını belirlemek için moment yöntemi ile anten analizi yapan SuperNEC adlı elektromanyetik benzetim programı kullanılmıştır. Genetik algoritma anten parametrelerini SuperNEC'e gönderir. SuperNEC her bir antenin benzetimini gerçekleştirir ve anten performanslarını belirleyen benzetim sonuçlarını bir dosyaya yerleştirir. Genetik algoritma bu dosya içerisinde gerekli parametre değerlerini alır ve değerlendirir. Bu çalışmada, geliştirilen genetik algoritma yazılımı ile bükük tel anten, karıştırıcı tel anten ve ultra-geniş bantlı yüklü tel anten tasarımları yapılmıştır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Genetik algoritma, tel anten, yüklü anten, elektriksel olarak küçük anten, karıştırıcı anten, geniş bantlı anten, moment yöntemi, SuperNEC.

Danışman: Prof. Dr. Adnan KÖKSAL, Hacettepe Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü.

ABSTRACT

DESIGN OF WIRE ANTENNAS USING GENETIC ALGORITHM

Semanur Kırıcı

Başkent University Institute of Science

Department of Electrical and Electronics Engineering

In this work, various wire antennas are designed using genetic algorithm. Genetic algorithms are probabilistic search methods based on the principles of Darwin's natural selection and evolution theory. Solving a problem with genetic algorithm requires the problem to be passed through evolutionary process virtually. To design a wire antenna with genetic algorithm, the designer determines the desired electromagnetic properties, defines the limits of the problem then the algorithm finds the optimum solution.

Genetic algorithm softwares are developed on MATLAB[®] environment for these designs. Electromagnetic simulation program called SuperNEC, which analyses antennas by the method of moments, is used to determine antenna performances. Genetic algorithm sends antenna parameters to SuperNEC. SuperNEC simulates each of these antennas and places the simulation results indicating the antenna performances in a file. Genetic algorithm reads the required parameter values and scores. In this work, crooked wire antenna, clutter wire antenna and ultra-wideband loaded wire antennas are designed with the genetic algorithm software developed in this thesis.

KEYWORDS: Genetic Algorithm, wire antenna, loaded antenna, electrically small antenna, clutter antenna, wide-band antenna, method of moment, SuperNEC.

Advisor: Prof. Dr. Adnan KÖKSAL, Hacettepe University, Electrical and Electronics Engineering Department.

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| TEŞEKKÜR..... | i |
| ÖZ..... | ii |
| ABSTRACT..... | iii |
| İÇİNDEKİLER LİSTESİ..... | iv |
| ŞEKİLLER LİSTESİ..... | v |
| ÇİZELGELER LİSTESİ..... | vii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ..... | viii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. MOMENT YÖNTEMİ VE SUPERNEC..... | 7 |
| 2.1. Problemlerin Formülasyonu ve Moment Yöntemi ile Çözümü..... | 7 |
| 2.1.1. Açılım fonksiyonları..... | 11 |
| 2.1.2. Test fonksiyonları..... | 12 |
| 2.2. Moment Yönteminin Tel Antenlere Uygulanması..... | 12 |
| 2.3. SuperNEC..... | 18 |
| 3. GENETİK ALGORİTMA..... | 22 |
| 3.1. Genetik Algoritma İle İlgili Bazı Terimler..... | 22 |
| 3.1.1. Genler ve kromozomlar..... | 22 |
| 3.1.2. Popülasyon ve nesil | 23 |
| 3.1.3. Ebeveyn..... | 23 |
| 3.1.4. Çocuk..... | 23 |
| 3.1.5. Uyumluluk..... | 24 |
| 3.2. Parametre Kodlama | 24 |
| 3.3. Seçim Yöntemleri..... | 24 |
| 3.3.1. Popülasyon küçültme..... | 25 |
| 3.3.2. Orantılı seçim..... | 25 |
| 3.3.3. Turnuva seçimi..... | 26 |
| 3.4. Çiftleştirme Yöntemleri..... | 26 |
| 3.5. Genetik Algoritma İşleçleri..... | 26 |
| 3.6. Genetik Algoritma Süreci..... | 28 |
| 4. GENETİK ALGORİTMA İLE TEL ANTEN TASARIM YÖNTEMİ..... | 30 |
| 4.1. Anten Parametreleri ve Tel Antenler..... | 31 |

| | |
|--|-----------|
| 5. GA İLE TASARLANMIŞ TEL ANTEN ÖRNEKLERİ..... | 35 |
| 5.1. Genetik Tasarımın Tel Antene Uygulanması | 35 |
| 5.2. Genetik Tasarımın Karıştırıcı Anten Yapısına Uygulanması..... | 51 |
| 5.3. Genetik Tasarımın Yüklü Tel Anten Yapısına Uygulanması | 67 |
| 6. SONUÇ..... | 76 |
| KAYNAKLAR LİSTESİ..... | 78 |
| SÖZLÜK..... | 81 |
| EK AÇIKLAMALAR..... | 82 |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Şekil 2.1 İletken tel üzerine eğik gelen düzgün düzlem dalga..... | 15 |
| (a) Geometri | |
| (b) Eşdeğer akım | |
| Şekil 2.2 Parçalı sinüzoidal alt bölge açılım işlevi..... | 16 |
| Şekil 3.1 (a) Çaprazlama..... | 27 |
| Şekil 3.1 (b) Mutasyon..... | 27 |
| Şekil 3.2 Genetik algoritma süreci..... | 29 |
| Şekil 4.1 Alan örüntüsü..... | 33 |
| Şekil 4.2 Anten ve iletim hattı modeli..... | 33 |
| Şekil 5.1 7 telden oluşan genetik anten..... | 38 |
| Şekil 5.2 Kromozom yapısı..... | 38 |
| Şekil 5.3 Genetik antenlerin boyuta göre Q değişimi..... | 39 |
| Şekil 5.4 Genetik antenlerin ve monopolün anten boyutuna göre VSWR değişimi..... | 40 |
| Şekil 5.5 (a) Örnek 1..... | 42 |
| Şekil 5.5 (b) Örnek 1'in frekansa göre VSWR değişimi..... | 42 |
| Şekil 5.6 (a) Örnek 1 empedansının frekansa göre değişimi..... | 43 |
| Şekil 5.6 (b) Örnek 1'in frekansa göre VSWR değişimi..... | 43 |
| Şekil 5.7 (a) Örnek 2..... | 44 |
| Şekil 5.7 (b) Örnek 2'nin frekansa göre VSWR değişimi..... | 44 |
| Şekil 5.8 (a) Örnek 2 empedansının frekansa göre değişimi..... | 45 |
| Şekil 5.8 (b) Örnek 2'nin frekansa göre VSWR değişimi..... | 45 |
| Şekil 5.9 (a) Örnek 3..... | 46 |
| Şekil 5.9 (b) Örnek 3'ün frekansa göre VSWR değişimi..... | 46 |
| Şekil 5.10 (a) Örnek 3 empedansının frekansa göre değişimi..... | 47 |
| Şekil 5.10 (b) Örnek 3'ün frekansa göre VSWR değişimi..... | 47 |
| Şekil 5.11 (a) Örnek 4..... | 48 |
| Şekil 5.11 (b) Örnek 4'ün frekansa göre VSWR değişimi..... | 48 |
| Şekil 5.12 (a) Örnek 4 empedansının frekansa göre değişimi..... | 49 |
| Şekil 5.12 (b) Örnek 4'ün frekansa göre VSWR değişimi..... | 49 |
| Şekil 5.13 Karıştırıcı tel anteni oluşturan yapı..... | 52 |
| Şekil 5.14 Örnek 5..... | 55 |

| | |
|--|----|
| Şekil 5.15 Örnek 5'in frekansa göre VSWR değişimi..... | 55 |
| Şekil 5.16 Örnek 5 için 3 boyutlu ışınım örüntüleri..... | 56 |
| (a) 900 MHz için ışınım örüntüsü | |
| (b) 1800 MHz için ışınım örüntüsü | |
| (c) 1900 MHz için ışınım örüntüsü | |
| Şekil 5.17 Örnek 5 için 900 MHz için 2 boyutlu ışınım örüntüleri..... | 57 |
| (a) $\theta=70^\circ$ düzlemi için ışınım örüntüsü | |
| (b) $\theta=80^\circ$ düzlemi için ışınım örüntüsü | |
| (c) $\theta=90^\circ$ düzlemi için ışınım örüntüsü | |
| Şekil 5.18 Örnek 5 için 1800 MHz'deki 2 boyutlu ışınım örüntüleri..... | 58 |
| (a) $\theta=70^\circ$ düzlemi için ışınım örüntüsü | |
| (b) $\theta=80^\circ$ düzlemi için ışınım örüntüsü | |
| (c) $\theta=90^\circ$ düzlemi için ışınım örüntüsü | |
| Şekil 5.19 Örnek 5 için 1800 MHz'deki 2 boyutlu ışınım örüntüleri..... | 59 |
| (a) $\theta=70^\circ$ düzlemi için ışınım örüntüsü | |
| (b) $\theta=80^\circ$ düzlemi için ışınım örüntüsü | |
| (c) $\theta=90^\circ$ düzlemi için ışınım örüntüsü | |
| Şekil 5.20 Örnek 6..... | 61 |
| Şekil 5.21 Örnek 6'nın frekansa göre VSWR değişimi..... | 61 |
| Şekil 5.22 Örnek 6 için 3 boyutlu ışınım örüntüleri..... | 62 |
| (a) 900 MHz için ışınım örüntüsü | |
| (b) 1800 MHz için ışınım örüntüsü | |
| (c) 1900 MHz için ışınım örüntüsü | |
| Şekil 5.23 Örnek 6 için 900 MHz'deki 2 boyutlu ışınım örüntüleri..... | 63 |
| (a) $\theta=70^\circ$ düzlemi için ışınım örüntüsü | |
| (b) $\theta=80^\circ$ düzlemi için ışınım örüntüsü | |
| (c) $\theta=90^\circ$ düzlemi için ışınım örüntüsü | |
| Şekil 5.24 Örnek 6 için 1800 MHz'deki 2 boyutlu ışınım örüntüleri..... | 64 |
| (a) $\theta=70^\circ$ düzlemi için ışınım örüntüsü | |
| (b) $\theta=80^\circ$ düzlemi için ışınım örüntüsü | |
| (c) $\theta=90^\circ$ düzlemi için ışınım örüntüsü | |

| | |
|--|----|
| Şekil 5.25 Örnek 6 için 1900 MHz'deki 2 boyutlu ışınım örüntüleri..... | 65 |
| (a) $\theta=70^\circ$ düzlemi için ışınım örüntüsü | |
| (b) $\theta=80^\circ$ düzlemi için ışınım örüntüsü | |
| (c) $\theta=90^\circ$ düzlemi için ışınım örüntüsü | |
| Şekil 5.26 Karıştırıcı genetik antenleri oluşturan çerçeveler..... | 66 |
| (a) Örnek 5'i oluşturan çerçeve yapıları | |
| (b) Örnek 6'yı oluşturan çerçeve yapıları | |
| Şekil 5.27 Örnek 7 | 70 |
| Şekil 5.28 Kromozom yapısı..... | 70 |
| Şekil 5.29 (a) Örnek 7'nin frekansa göre VSWR değişimi..... | 71 |
| (b) Örnek 7'nin yükler kaldırıldığında, frekansa göre VSWR değişimi..... | 71 |
| Şekil 5.30 Örnek 7'nin frekansa göre verimlilik değişimi..... | 72 |
| Şekil 5.31 Örnek 7 için 3 boyutlu ışınım örüntüleri..... | 73 |
| (a) 300 MHz için ışınım örüntüsü | |
| (b) 1GHz için ışınım örüntüsü | |
| Şekil 5.32 Örnek 7 için 3 boyutlu ışınım örüntüleri..... | 74 |
| (a) 3 GHz için ışınım örüntüsü | |
| (b) 6 GHz için ışınım örüntüsü | |

ÇİZELGELER LİSTESİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Çizelge 5.1 Genetik antenleri oluşturan tellerin koordinatları..... | 50 |
| (a) Örnek 1 | |
| (b) Örnek 2 | |
| (c) Örnek 3 | |
| (d) Örnek 4 | |
| Çizelge 5.2 GSM frekans bantları..... | 52 |
| Çizelge 5.3 (a) Örnek 7'nin tel koordinatları..... | 75 |
| Çizelge 5.3 (b) Örnek 7 üzerindeki yük değerleri ve konumları..... | 75 |

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|------------------------|---|
| D | :Yönlülük |
| e_0 | :Anten verimliliği |
| e_r | :Yansıma verimliliği |
| e_c | :İletkenlik verimliliği |
| e_d | :Dielektrik verimliliği |
| e_{cd} | :İletkenlik ve dielektrik verimliliği |
| ϵ | :Dielektrik sabiti |
| E | :Elektrik alan |
| f_0 | :Rezonans frekansı |
| Δf | :Bant genişliği |
| G | :Kazanç |
| I | :Akım |
| k | :Dalga sayısı |
| L | :Operatör |
| λ | :Dalga boyu |
| μ | :Manyetik geçirgenlik |
| P_{in} | :Giriş gücü |
| P_{rad} | :Yayılan güç |
| Q | :Kalite faktörü |
| Γ | :Yansıma katsayısı |
| U | :Işınım şiddeti |
| U_0 | :Ortalama ışınım şiddeti |
| $\langle f, g \rangle$ | :f ve g fonksiyonlarının iç çarpımı |
| ASCII | :Bilgi Alışverişi için Amerikan Standart Kodu |
| EFIE | :Elektrik Alan İntegral Eşitliği |
| GPS | :Küresel Yer Belirleme Sistemi |
| GSM | :Mobil İletişim için Küresel Sistem |
| HPBW | :Yarı Güç Hüzme Genişliği |
| IEEE | :Elektrik Elektronik Mühendisliği Enstitüsü |
| MF | :Maliyet Fonksiyonu |
| MFIE | :Manyetik Alan İntegral Eşitliği |

NEC :Nümerik Elektromanyetik Kod
UTD :Birleştirilmiş (Unified) Kırınım Teorisi
VSWR :Duran Dalga Oranı

1. GİRİŞ

Haberleşme, radar, uzaktan algılama gibi birçok alanda çeşitli tel antenler kullanılmaktadır. Bugüne kadar bu antenler genellikle tümevarımsal yöntemler kullanılarak tasarlanmaktaydı. Bu yöntemlerde anten üzerindeki akım dağılımını belirlemek için Maxwell denklemleri kullanılır ve bu akım dağılımları kullanılarak antenin elektromanyetik özellikleri belirlenir. Eğer anten yapısı elle hesaplamak için fazla karmaşıksa, antenin bir bilgisayar programı ile benzetimi yapılır ve elektromanyetik özellikleri yaklaşık olarak hesaplanır. Bu yöntemlerle tasarlanan antenler genellikle basit ve analizi kolay yapılardır. Tasarımcı ilk olarak istenen elektromanyetik özelliklere uygun olabilecek anten yapısını bulur. Daha sonra uygun anten boyutlarını ve diğer anten parametrelerini bulmak için, eğer varsa, yaklaşık veya kesin eşitlikleri yazmaya çalışır. Uygun parametreler belirlendikten sonra, bir anten analiz programı ile benzetimi yapılarak veya deneysel çalışmalarla antenin performansı ölçülür. Performans yeterince iyi değilse, tasarımcı performansı artırmak için hangi parametreleri nasıl değiştireceğine sezgi ve tecrübelerini kullanarak karar verir ve yeniden tasarım yapar. Bu şekilde gelişen bir tasarım süreci oldukça zaman almakta ve özellikle bilinmeyen parametre sayısı fazla olduğunda en iyi sonucu verememektedir. Aynı zamanda bu yöntemde tasarımcı, kullanılmakta olan farklı tasarımlar hakkında bilgi sahibi olmalı ve yeterli uzmanlık ve tecrübesi bulunmalıdır.

Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki gelişimin daha kısa zamanda daha karmaşık anten yapılarının analizine olanak sağlamasıyla birlikte çeşitli anten optimizasyon programları geliştirilmiştir. Bu programlarla birlikte anten tasarımı daha hızlı ve daha kolay hale gelmekle birlikte hala antenin genel yapısı önceden belirlenmekte ve bu belirli yapıyı oluşturan bir takım parametreler optimize edilmektedir. Aynı zamanda bu programların kullandığı optimizasyon tekniklerinin başarısı, çözüm kümesinin iyi tanımlanmasına bağlıdır. Bu yöntemlerde ön sezgi ve anten yapısıyla ilgili bir matematiksel mantık gerektiğinden, elde edilen tasarımlar basit, simetrik, anlaşılması ve analizi kolay yapılarla sınırlıdır. Bu tasarımlar, anten yapısına ya da eşdeğer devre şemasına bakıldığında anlamlı görünen tasarımlardır. Bununla birlikte sezgisel olarak tasarlanması mümkün

olmayan, karmaşık yapılar çok iyi sonuçlar verebilmektedir. Bu özelliklerdeki bir tasarım için kullanılacak bir yöntem olan genetik algoritma geniş, ön sezgi gerektirmeyen uzayları araştırmakta oldukça başarılıdır [1,2].

Genetik algoritma bir elektromanyetik benzetim programı ile birlikte kullanıldığında, ön sezgiye gerek olmadan, tamamen tümdengelimli bir yaklaşımla istenen özelliklerde anten tasarımları yapmak mümkündür [3-9]. Genetik algoritma ile anten tasarımında antenin istenen elektromanyetik özellikleri belirlenir ve bu özelliklere en yakın sonucu veren anten yapısı genetik algoritma tarafından oluşturulur. Genetik algoritma ile, diğer yöntemlerle tasarlanması mümkün olmayan çok çeşitli yapılar tasarlanabilmektedir. Bu yapılar genellikle alışlagelmiş anten tasarımlarından farklı, asimetrik, karmaşık yapılardır.

Genetik algoritmanın tel anten tasarımına uygulanmasıyla ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan birinde Boag, Michielssen ve Mittra [4] geliştirdikleri genetik algoritma ile yüklü tel anten tasarımları yapmışlardır. Bu antenler, üzerinde paralel RLC devresinden oluşan yükler bulunan monopollerdir. Bu tasarımlarda, antenlerin boyu sabit tutulurken, anten üzerine yerleştirilen yüklerin değerleri, konumları ve uyumlama devresinin eleman değerleri optimize edilmiştir. Tasarımların amacı geniş bantlı antenler elde etmektir. Maliyet fonksiyonu belirli bir frekans aralığındaki duran dalga oranı, kazanç ve verimlilik gibi anten parametrelerini içermektedir. Sonuçta, geniş bant aralıklarında oldukça iyi performansla sahip antenler elde edilmiştir.

Altshuler ve Derek tarafından yapılan bir çalışmada katlı dipolle yüklenmiş bir monopolün genetik algoritma ile optimizasyonu yapılmıştır [9]. Anteni oluşturan tellerin boyutunun alabileceği değerler sınırlıdır. Genetik algoritma ile tellerin boyutu optimize edilmektedir. Antenlerin analizi NEC [10] ile yapılmaktadır. Antenin bulunduğu toprak düzlemi üzerindeki yarı kürede, belirli bir frekansta, eşit güç yayılımı hedeflenmiştir. Maliyet fonksiyonu yalnızca belirli noktalardaki kazanç değerlerini içermektedir. Optimizasyon sonucunda elde edilen antenin yarı küredeki kazanç değişimi 1.25 dB'nin altındadır.

Başka bir çalışmada Altshuler ve Derek, genetik algoritma ile geniş bantlı Yagi anten ve yüksek kazançlı Yagi anten tasarımları yapmışlardır [8]. Bu tasarımlarda Yagi anteni oluşturan elemanların boyutu optimize edilmiştir. Antenlerin analizi NEC ile yapılmıştır. Bu anten tasarımları için maliyet fonksiyonu belirli frekanslardaki duran dalga oranı ve belirli noktalardaki kazanç değerlerini içermektedir.

Yakın zamanki çalışmalarında Altshuler, genetik algoritma ile, belirli bir hacmin dışına çıkmayacak şekilde birbirine seri olarak birleştirilmiş belirli sayıda telden oluşan anten tasarımları yapmıştır [5-7]. Bu yapıdaki antenler “bükük tel genetik anten (crooked wire genetic antenna)” olarak adlandırılmıştır. Bu tasarımların benzetimi NEC ile yapılmıştır. Bu çalışmalardan ilki GPS ve IRIDIUM sistemleri için kullanılabilecek bir araç antenidir [7]. Anten 10 cm x 10 cm x 15 cm boyutlarında bir hacmin içine sığmakta ve 5 telden oluşmaktadır. Genetik algoritma ile tellerin başlangıç ve bitiş koordinatları optimize edilmektedir. Optimizasyonun amacı belirli frekanslarda düşük duran dalga oranına ve ufuk çizgisinin 5° üzerinde sağ el istikametli dairesel polarizasyona sahip antenler elde etmektir. Sonuçta elde edilen antenin tasarım frekanslarında duran dalga oranı 2.2'nin altında, 170°'lik bir alandaki kazanç değişimi ise 12 dB'nin altındadır.

Altshuler'in bükük tel genetik anten tasarımlarından ikincisi, elektriksel olarak küçük kendinden rezonant tel antenlerdir [6]. Bu çalışmada 400 MHz civarında rezonansa giren ve düşük duran dalga oranına sahip çeşitli boyutlarda anten tasarımları hedeflenmiştir. Bir önceki çalışmada olduğu gibi anteni oluşturan tellerin başlangıç ve bitiş koordinatları optimize edilmiştir. Bir kenarı 0.03λ ile 0.1λ arasında değişen küp hacmi içerisine sığan, 2-10 telden oluşan anten tasarımları yapılmıştır. Sonuçta tasarım yapılan tüm boyutlarda 400 MHz yakınında rezonansa giren antenler elde edilmiştir. Antenin içerisine sığabileceği küpün kenar boyu 0.03λ ile 0.1λ arasında iken, antenin bant genişliğinin bir ölçüsü olan kalite faktörü Q'nun değeri 590 ile 15.8 arasında değişmiştir.

Altshuler'in bükük tel yapısındaki tasarımlarından bir diğeri, geniş bantlı, empedans yüklü genetik antenlerdir [5]. Bu çalışmada genetik algoritma ile tellerin

başlangıç ve bitiş koordinatlarının yanı sıra, teller üzerine yerleştirilen yüklerin değeri ve konumu da optimize edilmektedir. Optimizasyonun amacı geniş bir bant aralığında düşük duran dalga oranı elde etmektir. Anten üzerine yerleştirilen yükler paralel direnç ve bobinden oluşmaktadır. Tasarım frekansları 300 MHz – 6000 MHz arasında seçilmiştir ve sonuçta elde edilen antenin bu frekans aralığındaki VSWR değeri 4.5'in altında çıkmıştır.

Bu tez çalışmasında çeşitli tel antenler tasarlamak üzere genetik algoritma yazılımları geliştirilmiştir. MATLAB ortamında geliştirilen genetik algoritma SuperNEC [11] adlı elektromanyetik benzetim programı ile birlikte çalışmaktadır. Genetik algoritma anten parametrelerini ifade eden kromozom değerlerini SuperNEC'e gönderir. SuperNEC bu antenlerin benzetimini yapar ve elde edilen benzetim sonuçları ile maliyet fonksiyonu hesaplanır.

İkinci bölümde Moment yöntemi [12-15] ve SuperNEC anlatılmaktadır. Nümerik bir yöntem olan moment yöntemi, teller üzerindeki akım dağılımlarını yaklaşık olarak bulmak için kullanılmaktadır. Moment yönteminde, teller üzerindeki akım dağılımını ifade eden denklem matris denklemi haline getirilir ve elde edilen matris denklemi bilinen yöntemlerle çözülür. Moment yönteminin tel antenlere uygulanmasıyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır [16-18]. SuperNEC, anten analizi için moment yöntemini kullanmaktadır. Bu programda bulunan MATLAB tabanlı grafiksel arayüz, analizi yapılacak yapıları düzenlemek ve benzetim sonuçlarını görmek için kullanılır. Grafiksel arayüz ile yapılan tüm işlemler MATLAB komut satırından da yapılabilir. Bu özelliğiyle SuperNEC, genetik algoritma gibi veri alışverişi gerektiren optimizasyon problemleri için oldukça kullanışlı bir programdır.

Üçüncü bölümde genetik algoritma anlatılmaktadır. Bu bölümde genetik algoritma ile ilgili terimler, kromozomların kodlanması, seçim yöntemleri, çiftleştirme yöntemleri ve genetik algoritma işlemlerinden bahsedildikten sonra genetik algoritma süreci anlatılmaktadır. Genel olarak bir genetik algoritma süreci şu aşamalardan oluşur,

1. Parametrelerin genlerle kodlanması.
2. Genlerin dizilmesiyle kromozomların oluşturulması.
3. Belirli özelliklerdeki kromozomlar arasından rasgele seçilen bireylerle başlangıç popülasyonunun oluşturulması.
4. Popülasyondaki bireyler için maliyet fonksiyonunun hesaplanması.
5. Maliyet değerine göre değerlendirilen kromozomların bir kısmının çiftleştirilmek üzere seçilmesi.
6. Seçilen bireylerin çiftleştirilmesi ve mutasyona uğratılması sonucunda oluşan kromozomlarla yeni neslin oluşturulması.

Dördüncü bölümde genetik algoritma ile tel anten tasarım yöntemi anlatılmaktadır. Bu yöntemde genler, tel koordinatları, boyutları, yük değerleri, konumları gibi anten parametrelerini ifade eder. Genlerden oluşan kromozomların her biri bir anteni ifade eder. Antenlerin performansını belirlemek üzere bir maliyet fonksiyonu belirlenir. Maliyet fonksiyonu kazanç, duran dalga oranı, verimlilik gibi anten parametrelerini içerir. Bu bölümde ayrıca maliyet fonksiyonunun hesaplanmasında kullanılabilecek bazı anten parametrelerinden bahsedilmektedir.

Beşinci bölümde, geliştirilen genetik algoritma yazılımları ile tasarlanmış anten yapıları anlatılmaktadır. Antenler sonsuz toprak düzlemi üzerinde modellenmiştir. Tasarlanan ilk anten yapıları elektriksel olarak küçük, kendinden rezonant tel antenlerdir [6]. Bu antenler, birbirine seri olarak bağlanmış tellerden oluşmaktadır. Bu örnekte tellerin başlangıç ve bitiş koordinatlarının optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyonun amacı belirli bir frekansta düşük duran dalga oranı elde etmektir.

İkinci anten yapısı birbirine dik iki adet kare çerçeve üzerine yerleştirilen tellerden oluşmaktadır. Bu örnekte belirli konumlarda tel bulunup bulunmama

durumunun optimizasyonu yapılmıştır. Bu anten, 3 bantlı cep telefonu frekanslarını bastırmak üzere tasarlanmıştır. Antenin bulunduğu yarı uzayın alt kesimlerinde tüm yönlü yayılım ve cep telefonu frekanslarında düşük duran dalga oranı hedeflenmiştir.

Tasarlanan üçüncü anten yapısı birbirine seri olarak birleştirilmiş tellerden ve bu teller üzerine yerleştirilmiş paralel direnç kapasitör ve bobinden oluşmaktadır. Bu antende, yüklerin bulunduğu yerler, değerleri ve anteni oluşturan tellerin başlangıç ve bitiş koordinatları optimize edilmektedir. Optimizasyonun amacı geniş bir frekans aralığında düşük duran dalga oranına sahip antenler elde etmektir [5].

Altıncı bölümde tez çalışması sonucunda elde edilen tasarımların genel yapısı ve benzetim sonuçlarından kısaca bahsedilmektedir.

2. MOMENT YÖNTEMİ VE SUPERNEC

Cisimler üzerinde indüklenen akım yoğunlukları, integral denklemleriyle ifade edilen, elektromanyetik yayılma ve saçılma problemlerinin çözümüyle bulunur. Bu denklemlerin çözümünde çeşitli analitik ve nümerik yöntemler kullanılır. Problemin çözümü için gerekli analitik çözümleri oluşturmak oldukça zaman ve yoğun çaba gerektirirken, gelişen bilgisayar teknolojisi, nümerik yöntemlerle çok daha kısa sürede ve çok daha az çaba sarf ederek çözüme ulaşmaya olanak sağlamıştır. Aynı zamanda bu denklemler analitik olarak yalnızca simetrik veya basit geometrili cisimler için çözümlenebilmekteyken, nümerik yöntemlerle gelişigüzel cisimlerden yayılma ve saçılma problemleri de çözümlenebilmektedir. Nümerik yöntemlerden biri de moment yöntemidir [12-15]. Bir problemin moment yöntemiyle çözümü, denklemin bir matris denklemi haline getirilmesi ve elde edilen matris denkleminin bilinen yöntemlerle çözülmesiyle yapılır. Bu yöntemde öncelikle problem için uygun denklem yazılır. İkinci olarak bilinmeyen fonksiyon, bilinen fonksiyonların bilinmeyen katsayılarla çarpımının toplamı olarak ifade edilir. Son olarak bu eşitlikler test edilerek problemi yaklaşık olarak ifade eden bir matris denklemi oluşturulur.

Moment yöntemi farklı problemlere uygulandığında, probleme uygun iç çarpımların tanımlanması, uygun açılım ve test fonksiyonlarının seçilmesi gibi detaylar değişmektedir [16,18,19].

Bu bölümde moment yöntemi ve yöntemin tel antenlere uygulanmasından bahsedilecektir. Daha sonra moment yöntemi ile anten analizi yapan SuperNEC adlı elektromanyetik benzetim programı tanıtılacaktır.

2.1. Problemlerin Formülasyonu ve Moment Yöntemi ile Çözümü

Rasgele olmayan bir problem Eşitlik (2.1)'deki gibi ifade edilebilir.

$$L(f)=g \tag{2.1}$$

Bu eşitlikte L , diferansiyel, integral gibi bilinen doğrusal bir operatörü, g bilinen bir uyarım fonksiyonunu, f ise sonucu göstermektedir. Problemin moment yöntemiyle çözümü için öncelikle, L operatörü, tanım kümesi ve değer kümesi tanımlanmalıdır. Tanım kümesi, L operatörünün üzerinde işlem yaptığı f fonksiyonları kümesi, değer kümesi ise işlem sonucunda elde edilen g fonksiyonları kümesidir. Amaç, g ve L tanımlandıktan sonra, f 'yi bulmaktır.

Çözüm için öncelikle, aşağıdaki koşulları sağlayan bir iç çarpım tanımlanmalıdır.

$$\langle f, g \rangle = \langle g, f \rangle$$

$$\langle \alpha f + \beta g, h \rangle = \alpha \langle f, h \rangle + \beta \langle g, h \rangle$$

(2.2)

$$\langle f^*, f \rangle = 0 \Rightarrow f = 0$$

$$\langle f^*, f \rangle > 0 \Rightarrow f \neq 0$$

Eşitlik 2.2'de α ve β sayıl değerlerdir ve "*" karmaşık eşleniği belirtmektedir.

Problemin çözümü büyük ölçüde L operatörünün özelliklerine bağlıdır. f gerçekte olduğunda $L(f)$ 'de gerçekte oluyorsa L operatörü gerçektir. L operatörünün hangi koşullar altında kesin artı, yarı kesin artı veya kesin eksi operatör olduğu ise Eşitlik (2.3)'te belirtilmiştir.

$$\langle f^*, Lf \rangle > 0 \Rightarrow L \text{ kesin artı}$$

$$\langle f^*, Lf \rangle \geq 0 \Rightarrow L \text{ yarı kesin artı}$$

(2.3)

$$\langle f^*, Lf \rangle < 0 \Rightarrow L \text{ kesin eksi}$$

Rasgele olmayan bir problemde sonuç birebir ve tektir. Eşitlik (2.1)'deki g fonksiyonu için tek bir f fonksiyonu vardır. Bu durumda,

$$f = L^{-1}(g) \quad (2.4)$$

şeklinde ifade edilen bir ters operatör (L^{-1}) bulunmaktadır.

L operatörünün doğrusal bir operatör olması nümerik bir çözümü mümkün kılmaktadır. Eşitlik (2.1)'deki gibi ifade edilebilen ve analitik yöntemlerle çözülemeyen problemler doğrusal denklemlere dönüştürülerek moment yöntemiyle [12-15] çözülebilir. Bu yöntemde, bilinmeyen sonuç fonksiyonu f , N terimin doğrusal toplamı olarak yazılır ve Eşitlik (2.5)'teki gibi ifade edilir.

$$f = \sum_{n=1}^N \alpha_n f_n \quad (2.5)$$

Bu eşitlikte α_n bilinmeyen katsayıları, f_n ise bilinen, temel ya da açılım fonksiyonlarını göstermektedir. f_n fonksiyonları, L operatörünün tanım kümesi içerisinde yer almalıdır. Eşitlik (2.5), Eşitlik (2.1)'e yerleştirilir ve L operatörünün doğrusallığı kullanılırsa,

$$\sum_{n=1}^N \alpha_n L(f_n) = g \quad (2.6)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlik, N bilinmeyenli bir denklemi ifade etmektedir. Bu denklemin çözülebilmesi için N tane doğrusal bağımsız denkleme ihtiyaç vardır.

Problem için uygun iç çarpımın tanımlanmasının ardından, ağırlık veya test fonksiyonları diye adlandırılan, w_1, w_2, w_3, \dots fonksiyonlarından oluşan küme

tanımlanır. Test fonksiyonları L operatörünün değer kümesi içerisinde yer almalıdır. Test fonksiyonlarının, Eşitlik (2.6) ile iç çarpımının sonucunda,

$$\sum_{n=1}^N \alpha_n \langle w_m, L(f_n) \rangle = \langle w_m, g \rangle \quad (2.7)$$

denklem kümesi elde edilir. Bu denklem kümesinde, her bir iç çarpım, N bilinmeyenli $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N)$ bir denklem oluşturmaktadır. N tane test fonksiyonu (w_1, w_2, \dots, w_N) kullanıldığından, denklem kümesi N bilinmeyenli N tane denklemden oluşur. Burada amaç, α_n katsayılarını bulmaktır.

Eşitlik (2.7)'deki denklem kümesi, Eşitlik (2.8)'deki gibi bir matris denkleminde ifade edilebilir.

$$[I_{mn}] [\alpha_n] = [g_m] \quad (2.8)$$

$$[I_{mn}] = \begin{bmatrix} \langle w_1, L(f_1) \rangle & \langle w_1, L(f_2) \rangle & \cdots & \langle w_1, L(f_N) \rangle \\ \langle w_2, L(f_1) \rangle & & & \\ \vdots & & & \vdots \\ \langle w_N, L(f_1) \rangle & & \cdots & \langle w_N, L(f_N) \rangle \end{bmatrix} \quad (2.8a)$$

$$[\alpha_n] = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_N \end{bmatrix} \quad (2.8b)$$

$$[g_m] = \begin{bmatrix} \langle w_1, g \rangle \\ \langle w_2, g \rangle \\ \vdots \\ \langle w_N, g \rangle \end{bmatrix} \quad (2.8c)$$

$[I]$ matrisi tekil olmayan bir matris ise tersi vardır. Bu durumda α_n değerleri (2.9)'da verilen denklemlerle bulunabilir.

$$[\alpha_n] = [I_{mn}]^{-1} [g_m] \quad (2.9)$$

Elde edilen α_n değerleri eşitlik (2.5)'te yerine konduğunda f değeri bulunur.

2.1.1. Açılım Fonksiyonları

Moment yönteminde önemli adımlardan biri, uygun açılım fonksiyonlarını (f_n) belirlemektir. Açılım fonksiyonları, beklenen f fonksiyonunu yaklaşık olarak ifade etmeli ve doğrusal bağımsız olmalıdır. Aynı zamanda hesaplamaların mümkün olduğu kadar kolay olduğu fonksiyonlar seçilmesinde fayda vardır [19].

Açılım fonksiyonları genel olarak, alt bölge (sub-domain) açılım fonksiyonları ve tüm bölge (entire-domain) açılım fonksiyonları olarak sınıflandırılabilir. Alt bölge açılım fonksiyonları f fonksiyonunun tanım kümesinin yalnızca bir bölümünde tanımlıdır. Tüm bölge açılım fonksiyonları ise, f fonksiyonunun tanım kümesinin tamamında tanımlıdır.

Alt bölge açılım fonksiyonları, tüm bölge açılım fonksiyonlarının aksine, ifade edilecek f fonksiyonu hakkında bir ön bilgi gerekmeden kullanılabilir. En çok kullanılan alt bölge açılım fonksiyonları parçalı sabit (darbe) fonksiyonu ve parçalı doğrusal (üçgen) fonksiyonudur.

2.1.2. Test Fonksiyonları

Moment yönteminde önemli adımlardan bir diğeri, uygun test fonksiyonlarını (w_m) belirlemektir. Eşitlik (2.7)'deki N tane eşitliğin doğrusal bağımsız olabilmesi için, seçilen test fonksiyonlarının da doğrusal bağımsız olması gerekmektedir [13,14,19]. Açılım fonksiyonları gibi, iç çarpımlar için gereken hesaplamaların kolay olmasını sağlayacak test fonksiyonlarının seçimi de önemlidir.

Açılım ve test fonksiyonlarının seçiminde benzer faktörlerin etkin olması nedeniyle, açılım ve test için benzer fonksiyonlar kullanılmaktadır. En çok kullanılan yöntemlerden biri olan Galerkin yönteminde [13,14,16] açılım ve test fonksiyonları eşit alınır ($w_m=f_n$). Bu yöntemde matris elemanlarının hesaplanması diğer yöntemlere göre zordur. İkinci bir yöntemde ise test için dürtü fonksiyonları kullanılır. Bu yöntem, Eşitlik (2.6)'nın ilgili bölgedeki belirli noktalarda sağlanmasına karşılık gelir ve nokta uyumlama diye adlandırılır. Bu yöntemde noktaların nereye yerleştirildiği oldukça önemlidir. Eşit aralıklarla yerleştirilmiş noktalar genellikle iyi sonuçlar vermektedir. Noktaların yerleştirilmesinde, kullanılan açılım fonksiyonları önemlidir. Örneğin açılım fonksiyonu olarak alt bölgesel fonksiyonlar kullanılıyorsa, noktaların her bir bölgenin ortasına yerleştirilmesi en iyi sonucu vermektedir.

2.2. Moment Yönteminin Tel Antenlere Uygulanması

Zamanda harmonik elektromanyetik problemleri için bilinen iki integral eşitliği, elektrik alan integral eşitliği (EFIE) ve manyetik alan integral eşitliği (MFIE) dir. Elektrik alan integral eşitliği, teğet elektrik alan sınır koşulunu kullanırken, manyetik alan integral eşitliği, teğet manyetik alan sınır koşulunu kullanmaktadır. Elektrik alan integral eşitliği açık ve kapalı yüzeyler için geçerliken, manyetik alan integral eşitliği yalnız kapalı yüzeyler için geçerlidir. Bu integral eşitlikleri ışınım ve saçılım problemleri için kullanılabilir. Işınım problemlerinde (özellikle tel antenlerde) en çok kullanılan iki eşitlik, Pocklington integral eşitliği ve Hallén integral eşitliğidir [20] .

Eşitlik (2.10) ve Eşitlik (2.11)'de sırasıyla, Pocklington ve Hallén integral eşitlikleri verilmiştir. Şekil 2.1'de bu eşitliklerle ilgili geometri ve eşdeğer akım gösterilmiştir. Bu eşitliklerde tel yarıçapının dalga boyuna göre çok küçük olduğu varsayılmıştır. $I_z(z')$, Şekil 2.1'de gösterilen, tel yüzeyindeki eşdeğer yüzey kaynak akımını ifade etmektedir. R, kaynak üzerindeki herhangi bir noktadan gözlem noktasına olan uzaklıktır. $k=2\pi/\lambda$ dalga sayısıdır. Eşitlik 2.11'deki B_1 ve C_1 sabitlerdir. Telin giriş kutuplarına uygulanan gerilim V_i ile ifade edilirse, $C_1= V_i/2$ 'dir. B_1 sabitinin değeri ise telin bitiş noktalarında akımın 0'a eşit olmasını gerektiren sınır koşulu ile bulunur.

$$\int_{-l/2}^{+l/2} I_z(z') \left[\left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} + k^2 \right) G_0(z, z') \right] dz' = -j\omega \epsilon E_z^i (r = a) \quad (2.10a)$$

$$G_0(z, z') = \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} \quad (2.10b)$$

$$\int_{-l/2}^{+l/2} I_z(z') \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} dz' = -j \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} \left[B_1 \cos(kz) + C_1 \sin(k|z|) \right] \quad (2.11)$$

Eşdeğer akım $I_z(z')$ tel yüzeyinde ($r=a$), gözlem noktası ise tel ekseninde olduğunda,

$$R \cong \sqrt{a^2 + (z - z')^2} \quad (2.12)$$

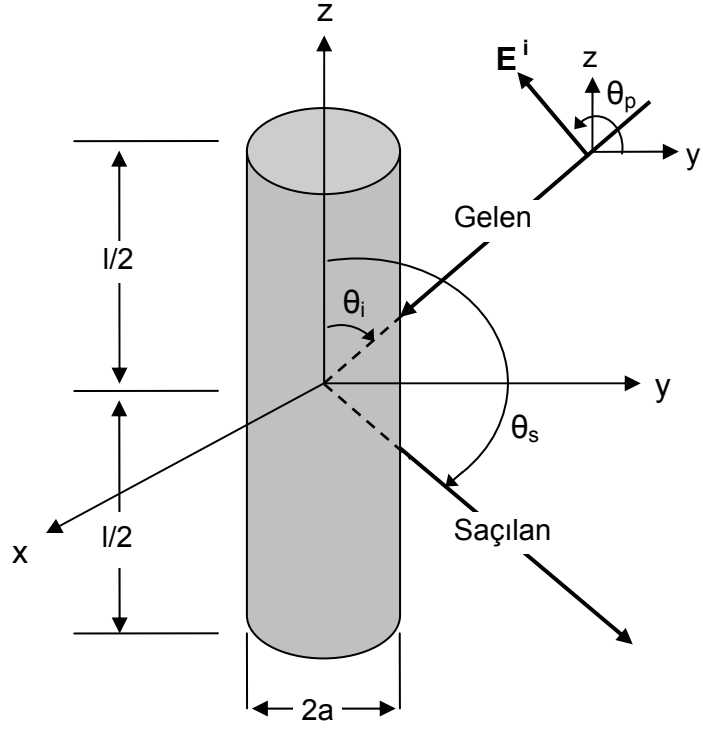
eşitliği elde edilir.

Eğer bir tel antenin kaynak gerilimi ve akım dağılımı biliniyorsa bu antenin giriş empedansı ve ışınma örüntüsü elde edilebilir. Pocklington ve Hallén integral eşitlikleri moment yöntemiyle çözüldüğünde teller üzerindeki akım dağılımı bulunabilir.

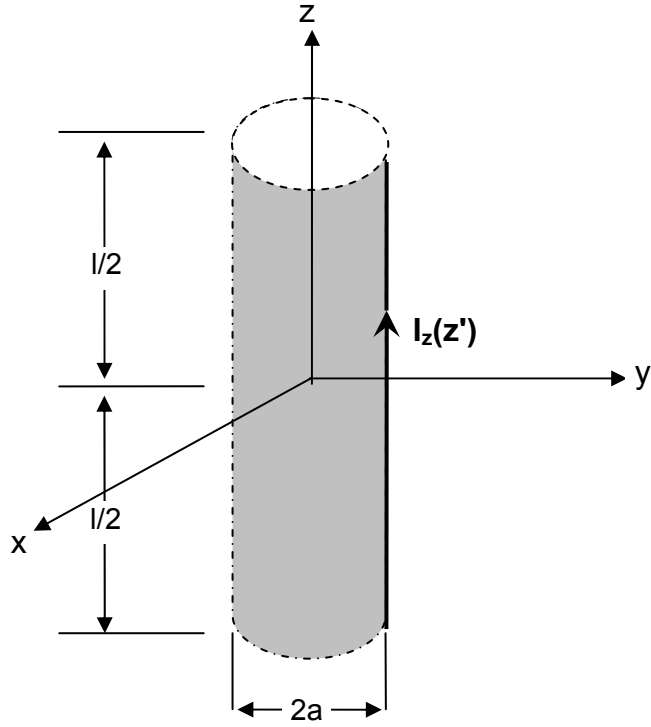
İntegral eşitliklerinin moment yöntemi ile çözümünde ilk olarak bilinmeyen $I_z(z')$ akımı, Eşitlik 2.13'te gösterildiği gibi, bilinen $i_n(z')$ açılım fonksiyonlarının doğrusal toplamı olarak ifade edilmelidir.

$$I_z(z') = \sum_{n=1}^N I_n i_n(z') \quad (2.13)$$

İnce tel yapıların moment yöntemi ile çözümünde en çok kullanılan açılım fonksiyonlarından biri sinüzoidal açılım fonksiyonlarıdır. Bu bölümde parçalı sinüzoidal alt bölge açılım fonksiyonu ve nokta uyumlama yöntemi ile düz bir tel anten için Pocklington integrali çözümü anlatılacaktır. Farklı tel anten yapıları için çözüm genelleştirilebilir.



(a)



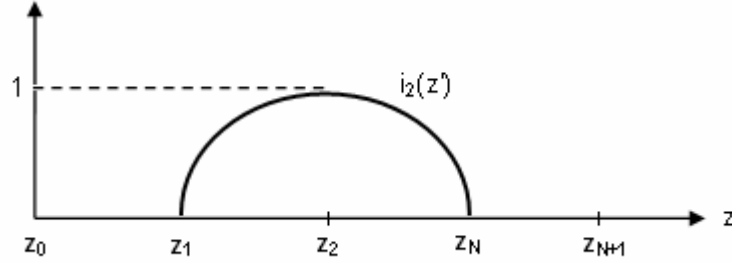
(b)

Şekil 2.1 İletken tel üzerine eğik gelen düzgün düzlem dalga

(a) Geometri

(b) Eşdeğer akım

Şekil 2.2'de gösterilen parçalı sinüzoidal açılım fonksiyonu ifadesi eşitlik 2.14'te belirtilmiştir.



Şekil 2.2. Parçalı sinüzoidal alt bölge açılım fonksiyonu

$$i_n(z') = \begin{cases} \frac{\sin k(\Delta - |z' - z_n|)}{\sin k\Delta}, & z' \in (z_{n-1}, z_{n+1}) \\ 0, & z' \notin (z_{n-1}, z_{n+1}) \end{cases} \quad (2.14)$$

Eşitlik 2.14, Eşitlik 2.10'da kullanılırsa,

$$\sum_{n=1}^N I_n \int_{z_{n-1}}^{z_{n+1}} \frac{\sin k(\Delta - |z' - z_n|)}{\sin k\Delta} \left[\left(\frac{\partial^2}{\partial z'^2} + k^2 \right) G(z, z') \right] dz' \quad (2.15)$$

$$= -j\omega \varepsilon E_z^i(r = a)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitliğin sol tarafının analitik çözümü eşitlik 2.16'yı verir.

$$\sum_{n=1}^N I_n \left\{ \frac{k}{\sin k\Delta} [G_{0,n-1}(z) + G_{0,n+1}(z) - 2\cos k\Delta G_{0,n}(z)] \right\} \quad (2.16a)$$

$$= -j\omega \varepsilon E_z^i(r = a)$$

$$G_{0,n}(z) = \frac{e^{-jkR_n}}{4\pi R_n} \quad (2.16b)$$

$$R_n = \sqrt{a^2 + (z - z_n)^2} \quad (2.16c)$$

Eşitlik 2.16'nın nokta uyumlama yöntemi ile test edilmesi sonucunda,

$$[Z_{mn}] \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_N \end{bmatrix} = -j\omega\epsilon \begin{bmatrix} E_z^i(z_1) \\ E_z^i(z_2) \\ \vdots \\ E_z^i(z_N) \end{bmatrix} \quad (2.17a)$$

$$Z_{mn} = \frac{k}{\sin k\Delta} [G_{0,n-1}(z_m) + G_{0,n+1}(z_m) - 2\cos k\Delta G_{0,n}(z_m)] \quad (2.17b)$$

denklem sistemi elde edilir.

Eşitlik 2.17'deki denklem setinin çözümü için $E_z^i(z_m)$ değerleri tanımlanmalıdır. Şekil 2.1'deki tel, simetrik olarak bir gerilim kaynağı ile beslendiğinde dipol anten elde edilir. Bu durumda, kaynağın modellenmesinde kullanılan iki yöntem, delta aralık uyarımı ve eşdeğer manyetik halka akımıdır. Delta aralık uyarımı en basit ve en çok kullanılan modelleme yöntemidir. Bu yöntemde kaynak geriliminin, telin giriş kutuplarında sabit V_s değerine eşit olduğu, telin diğer kısımlarında sıfır olduğu varsayılır. Kaynak telin i numaralı parçasına uygulandığında, gelen elektrik alan $E_z^i(r=a)$ ifadesi Eşitlik 2.18'de belirtilmiştir.

$$E_z^i(z_m) = \begin{cases} \frac{V_s}{\Delta} & m = i \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.18)$$

Eşitlik 2.17'deki denklem sisteminin çözülmesiyle elde edilen akım dağılımı kullanılarak antenin giriş empedansı ve ışıma örüntüsü gibi elektromanyetik özellikleri belirlenebilir.

Daha önce belirtildiği gibi, moment yöntemi uygulanırken çeşitli açılım ve test fonksiyonları kullanılabilir. Kullanılan açılım ve test fonksiyonlarına göre, çözümün yakınsama hızı ve doğruluğu değişmektedir [16].

2.3. SuperNEC

SuperNEC [11], moment yöntemi ve UTD bileşimi bir anten analiz ve elektromanyetik benzetim programıdır. Program, geniş frekans aralıklarında anten benzetimleri yapmaya olanak sağlamaktadır.

SuperNEC, FORTRAN programı olan NEC-2'nin nesneye dayalı sürümüdür. C++ programı olan SuperNEC, NEC-2'ye göre daha hızlıdır ve değiştirilmesi daha kolaydır. Aynı zamanda SuperNEC'te MATLAB tabanlı grafiksel kullanıcı arayüzü bulunmaktadır. Bu arayüz, ASCII ile yazılan giriş ve çıkış dosyaları gerektiren NEC-2'ye göre kullanım kolaylığı sağlamaktadır.

NEC [10], yapılar üzerindeki akım dağılımını bulurken Bölüm 2.1 ve Bölüm 2.2'de anlatılan moment yöntemini kullanır. Bu yöntemde teller parçalara bölünerek, yüzeyler ise tel ızgaralarla modellenir. Tel parçalarının boyu $\lambda/10$ 'dan küçük olmalıdır. SuperNEC, moment yöntemiyle birlikte, bir elektromanyetik yüksek frekans yaklaşımı olan UTD'nin kullanımına olanak sağlamaktadır. Analizi yapılacak yapının boyu dalga boyuna göre büyük olduğunda UTD yöntemi kullanılabilir. SuperNEC bünyesinde bulunan UTD yapıları plaka ve silindirlerdir. Problemi oluşturan, elektriksel olarak küçük yapılar moment yöntemiyle, büyük yapılar UTD teorisiyle çözümlenerek bu iki yöntem bir arada kullanılabilir. Bu iki yöntemin birleştirilmesi, geniş frekans bantlarında analiz olanağı sağlamaktadır.

SuperNEC, MATLAB tarafından desteklenen tüm işletim sistemlerinde çalışmaktadır. SuperNEC'in grafiksel kullanıcı arayüzü MATLAB tabanlıdır. Programın en verimli şekilde çalışabilmesi için MATLAB 5.2 veya daha yeni sürümlerinden biri yüklenmelidir. SuperNEC ile MATLAB çalışma alanı arasında veri alışverişi yapılabildiğinden, kullanıcı, veriler üzerinde MATLAB fonksiyonlarını kullanarak işlem yapabilmektedir.

SuperNEC, yapıların elektromanyetik özelliklerini belirlerken elektromanyetik alan integral eşitliği olan Pocklington eşitliğini kullanır. Elektromanyetik integral eşitliği ile tel ve yüzeylerin her ikisi de modellenenbilir. İntegral eşitliğinin nümerik çözümü moment yöntemiyle yapılır. Moment yönteminde kullanılan iç çarpım Eşitlik 2.19'da belirtilmiştir.

$$\langle f, g \rangle = \int_s f(r) g(r) dA' \quad (2.19)$$

Kullanılan açılım fonksiyonları üç terimden oluşmaktadır; sabit, kosinüs ve sinüs. Teller düz tel parçaları ile modellenmekte ve her bir tel parçası üzerindeki akım bu açılım fonksiyonları ile ifade edilmektedir. j numaralı tel parçası üzerindeki akım eşitlik 2.20'de ifade edilmiştir.

$$I_j(s) = A_j + B_j \sin k(s - s_j) + C_j \cos k(s - s_j), \quad |s - s_j| < \frac{\Delta_j}{2} \quad (2.20)$$

Bu eşitlikte s, tel ekseninin uzunluk parametresidir. Δ_j , j numaralı tel parçasının boyu, s_j ise j numaralı tel parçasının ortasındaki s değeridir. Her bir tel parçasının başlangıç ve bitiş noktalarındaki sınır koşulları kullanıldığında Eşitlik 2.20'deki üç bilinmeyen (A_j , B_j , C_j) bir bilinmeyene indirgenir. Eşitliğin çözümünde akım ve yükün tel parçalarının başlangıç ve bitiş noktalarındaki davranışı göz önüne alınır. Eşitlik 2.21'de akım ve yükün bağıntısını ifade eden süreklilik denklemi gösterilmiştir.

$$\frac{\partial I}{\partial s} = -j\omega q \quad (2.21)$$

Tel parçalarının başlangıç ve bitiş noktalarındaki akım ve yükün sürekliliği kullanıldığında Eşitlik 2.20, bir bilinmeyenli bir denklem haline dönüşür ve bu bilinmeyen değeri matris eşitliği ile bulunur. SuperNEC, test fonksiyonu olarak ise dürtü fonksiyonlarını kullanmaktadır.

SuperNEC ile en doğru sonucu elde etmek için dikkat edilmesi gereken konulardan biri, modeli oluşturan tel parçalarının uygun bir şekilde belirlenmesidir. Tel parçalarının boyu 0.1λ 'dan küçük ve 0.001λ 'dan büyük olmalıdır. Elektrik alan eşitliğinde kullanılan yöntem, tel yarıçapı olan a 'nın dalga boyuna göre büyüklüğünü sınırlamaktadır. SuperNEC iki yaklaşım kullanmaktadır; ince tel yaklaşımı ve genişletilmiş ince tel yaklaşımı. İnce tel yaklaşımında tel parçalarının yüzeyindeki akım, tel yüzeyindeki eşdeğer yüzey kaynak akımıyla modellenir. Genişletilmiş ince tel yaklaşımında ise tel parçalarının yüzeyinde düzgün dağılmış bir akım yoğunluğu olduğu varsayılır. Her iki yaklaşımda da yalnızca tel eksen yönünde akım olduğu varsayılır. $2\pi a/\lambda$ değeri 1'den çok küçük olmadığı müddetçe bu iki yaklaşım da geçerlidir.

Nümerik çözümün doğruluğu aynı zamanda Δ/a değerine bağlıdır. Düşük Δ/a değerleri, tel bitiş noktaları, gerilim kaynağı ve yüklerin bulunduğu bölgelerin yakınlarında hesaplanan akım değerlerinde salınımlara neden olmaktadır. Genişletilmiş ince tel yaklaşımında, kullanılabilir Δ/a limiti ince tel yaklaşımına göre daha düşüktür. Elektrik alan değerinin hata oranının %1'in altında olması için Δ/a değeri ince tel yaklaşımında 8'den büyük, genişletilmiş ince tel yaklaşımında ise 2'den büyük olmalıdır.

SuperNEC'te bulunan MATLAB tabanlı grafiksel arayüz analizi yapılacak yapıları düzenlemek ve benzetim sonuçlarını görmek için kullanılır. Giriş arayüzünün en önemli özelliklerinden biri önceden tanımlanmış yapıların bulunmasıdır. Kullanıcı, giriş arayüzünde tanımlı bu yapıları yeni baştan

oluşturmak yerine, yapıyı oluşturan elemanların özelliklerini belirler. SuperNEC ıkış arayüzü ise ışıma örüntüsü, akım dağılıımı, anten parametrelerinin frekansa göre değişimi gibi birçok 2 ve 3 boyutlu grafik içermektedir.

3. GENETİK ALGORİTMA

Gerçek dünyada evrim, doğal seçim süreciyle sağlanır. Çevreleriyle daha uyumlu (sağlıklı) bireyler uzun süre yaşamakta ve üremekteyken, çevreleriyle daha az uyumlu (sağlıksız) bireyler üreyemeden ölmekte veya daha zayıf bireyler üretmektedirler. Sanal yaşam benzetimleri ve genetik algoritma uygulamalarıyla, içerisine sözde organizmalar yerleştirilmiş sanal bir dünya oluşturup, bu organizmalara ulaşacakları bir amaç belirleyerek evrim süreci gerçekleştirilebilir.

Genetik algoritmalar Darwin'in doğal seçim ve evrim teorisi ilkelerine dayanan olasılıksal araştırma yöntemleridir. Genetik algoritmalar, güçlü buluşsal yapıları ile karmaşık, birbiriyle bağlantılı problemlerin çözümünde oldukça başarılıdır. Bir problemin genetik algoritma ile çözümü problemi sanal olarak evrim sürecinden geçirerek yapılır. Genetik algoritmalar ile, oluşturulan sanal dünyada bulunan sözde organizmaların üreme, çaprazlama ve mutasyon gibi işlemlere tabi tutulması sonucunda yeni nesiller oluşturulur ve bu organizmaların karakteristik özellikleri yeni nesillere aktarılır.

3.1. Genetik Algoritma İle İlgili Bazı Terimler

Genetik algoritmaların anlaşılabilmesi önce genetik algoritmalarla ilgili terimlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu bölümde bu terimlerden bazılarını değinilecektir.

3.1.1. Genler ve kromozomlar

Doğal evrim sürecinde olduğu gibi genler genetik algoritmaların en temel yapı taşıdır. Genler her bir optimizasyon parametresinin kodlanmış gösterimi olarak tanımlanabilir. Genetik algoritmada genlerin belirli bir düzende sıraya dizilmesiyle kromozomlar oluşturulur. Genler optimizasyon parametrelerini ifade ederken, kromozomlar her bir bireyi başka bir deyişle her bir olası çözümü ifade eder. Kromozomlar ikili veya gerçek sayı dizileri ile kodlanabilir. İkili kodlanmış

kromozomlarda her bir gen, optimizasyonu yapılacak parametrenin özelliklerine bağılı olarak 1 ya da daha fazla bittin oluşabilir.

3.1.2. Popülasyon ve nesil

Popülasyon, genetik algoritmanın en uygun çözümü araştırmak üzere kullandığı, kromozomlardan oluşan küme olarak tanımlanabilir. Nesil, genetik algoritma dürümleri ile oluşturulan kümedir. Seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi işlemlerin sonunda yeni nesil oluşturulur ve eski neslin yerine konur. Üretim aşamasında sağlıklı bireylerin genlerinin çok sayıda kopyası sonraki nesillere aktarılmakta ve bu durum popülasyonun genelini en iyi çözüme götürmektedir. Algoritmayı sonlandırmak için kullanılan yöntemlerden biri, belirli sayıda nesil oluşturulduğunda algoritmayı sonlandırmaktır. Başka bir yöntem en iyi bireyin maliyet değerleri belirli bir eşik değerine ulaştığında algoritmayı sonlandırmaktır. Bunların dışında çeşitli algoritma sonlandırma yöntemleri de bulunmaktadır.

3.1.3. Ebeveyn

Popülasyon oluşturulduktan sonra, bir kromozomun seçilme olasılığının, o kromozomun maliyet değerine bağılı olduğu olasılıksal bir yöntemle kromozom çiftleri seçilir ve bu çiftler ebeveyn olarak adlandırılır.

3.1.4. Çocuk

Çocuklar, ebeveynlerin çaprazlama ve mutasyona tabi tutulması sonucunda oluşturulur. Çaprazlama rasgele bir çaprazlama noktası seçilmesi ve ebeveynlerin genetik bilgilerinin birleştirilmesiyle yapılır. Çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden Bölüm 3.4'te ayrıntılı olarak bahsedilecektir.

3.1.5. Uyumluluk

Algoritmanın başında, optimizasyonun amacına göre bir uyumluluk (maliyet/sağlık) fonksiyonu belirlenir ve popülasyondaki her bir kromozom için hesaplanan uyumluluk fonksiyonu değeri, kromozomların hedeflenen çözüme ne kadar yakın olduğunu gösterir. Optimizasyonun amacının en büyütme olduğu durumda uyumluluk değeri ne kadar yüksekse kromozom o kadar sağlıklıdır. Optimizasyonun amacının en küçültme olduğu durumda ise uyumluluk değerinin düşük olması kromozomun aranan çözüme ne kadar yakın olduğunu (sağlıklı) gösterir.

3.2. Parametre Kodlama

Genetik algoritmalar diğer algoritmalarından farklı olarak parametreler üzerinde değil, parametrelerin sembolü olan kromozomlar üzerinde işlem yaparlar. Kodlama, gerçek değerlere sahip parametrelerin, belirli uzunluktaki dizilerden oluşan kromozomlarla ifade edilmesidir. Parametrelerin kromozomları oluşturan genlerle ifade edilmesi, algoritmanın parametreden bağımsız bir şekilde işlem yapmasını sağlar.

Optimizasyonu yapılacak problemin özelliğine göre çeşitli kodlama şekilleri kullanılabilir. Üzerinde işlem yapılması en kolay ve en kısa alfabeyle sahip olan ikili kodlamada, her bir parametre belirli uzunluktaki ikili diziden oluşur. İkili kodlanmış parametrelerin yan yana dizilmesiyle '1' ve '0'lerden meydana gelen kromozomlar oluşturulur. Parametrelerin '1' ve '0'larla kodlanmış hali gen adını alır.

3.3. Seçim Yöntemleri

Bir nesilde bulunan kromozomlardan hangilerinin (birbirleriyle çiftleştirilerek ya da değiştirilmeden aktararak) bir sonraki nesilde yer alacağını kullanılan seçim yöntemi belirler. Seçim, kromozomların uygunluk değerleri göz önüne alınarak yapılır. Seçim yöntemleri gerekirci ya da olasılıksal yöntemler olarak

sınıflandırılabilir. Bu bölümde en çok kullanılan seçim yöntemlerinden bahsedilecektir.

3.3.1. Popülasyon küçültme

Gerekirci yöntemlerin en basiti olan bu yöntemde sağlıklı kromozomlar yaşamını sürdürürken sağlıksız olanlar yok edilir. Kromozomlar uyumluluk değerine göre sıralandıktan sonra sağlıklı bireylerin bir kısmı seçilir ve diğer kromozomlar popülasyondan çıkartılır. Seçilen kromozomlar değiştirilmeden bir sonraki nesle aktarılır. Seçilen kromozomların çiftleştirilmesiyle üretilen çocuklarla yeni neslin oluşumu tamamlanır. Böylelikle bir önceki neslin sağlıklı bireylerinden ve bu bireylerin çocuklarından oluşan yeni bir nesil oluşturulmuş olur. Bu yeni nesildeki kromozom sayısı bir önceki nesildeki kromozom sayısıyla aynıdır.

3.3.2. Orantılı seçim

Olasılıksal seçim yöntemlerinden biri olan orantılı seçim, rulet seçimi diye de adlandırılır. Bu yöntemde bir kromozomun seçilme olasılığı, kromozomun uyumluluk değeriyle orantılıdır. Eşitlik (3.1)'de seçim olasılığı ifade edilmiştir. Bu eşitlikte $f(\text{ebeveyn}_i)$, i numaralı ebeveynin uyumluluk değerini ifade etmektedir.

$$P_{\text{seçim}} = \frac{f(\text{ebeveyn}_i)}{\sum_i f(\text{ebeveyn}_i)} \quad (3.1)$$

Bu yöntemde, popülasyon küçültmede olduğu gibi, sağlıklı bireylerin gelecek nesillere katkısı daha fazlayken, sağlıksız bireylerin katkısı daha azdır. Popülasyon küçültme ve orantılı seçim arasındaki fark, orantılı seçimde sağlıksız bireylerin ve çocuklarının da gelecek nesillere aktarılma olasılığının bulunmasıdır.

3.3.3. Turnuva seçimi

Bu yöntemde öncelikle popülasyondan belirli sayıda kromozom rasgele seçilir. Seçilen kromozomlar uyumluluk değerlerine göre kendi aralarında sıralanır. Bu kromozomlardan en sağlıklı olanı seçilirken diğer kromozomlar tekrar popülasyona yerleştirilir ve yeterli sayıda kromozom seçilene kadar bu işlem tekrarlanır.

3.4. Çiftleştirme Yöntemleri

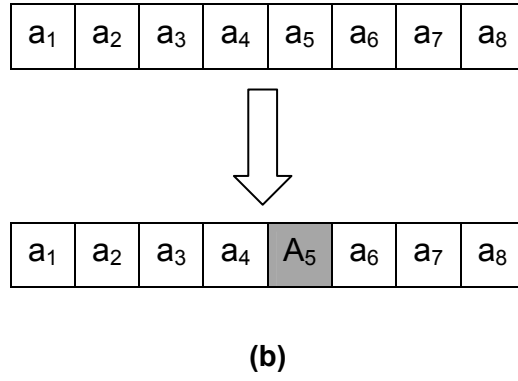
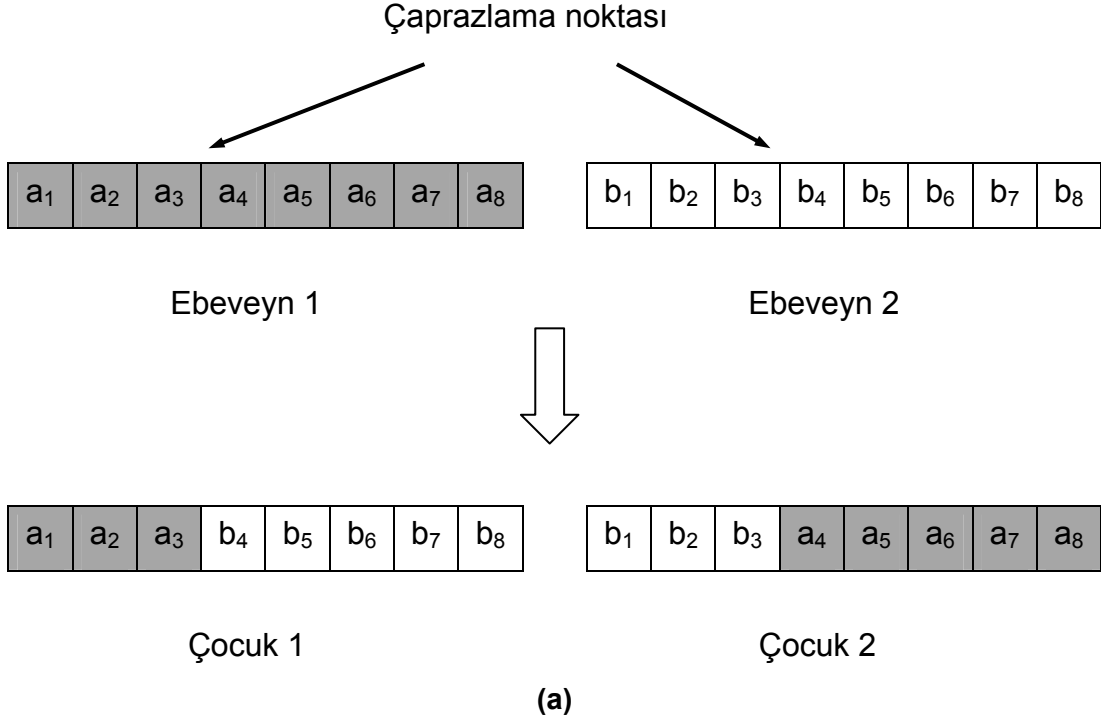
Seçim yöntemi ile hangi kromozomların bir sonraki nesilde ebeveyn olacağı belirlenirken, çiftleştirme yöntemi ile bu ebeveynlerden hangi ikisinin çiftleştirileceği belirlenir. Çiftleştirilecek ebeveynler rasgele seçilebileceği gibi belirli kurallara göre de seçilebilir. Çiftleştirme yöntemlerinden biri en sağlıklı kromozomla en sağlıksız kromozomun çiftleştirilmesidir. Başka bir yöntemde, uyumluluk değerine göre sıralanan kromozomlardan en sağlıklı ikisi çiftleştirilir ve daha sonra bir sonraki sağlıklı iki kromozom çiftleştirilir.

3.5. Genetik Algoritma İşleçleri

Ebeveyn olarak bir çift kromozom seçildikten sonra, genetik algoritma işleçleri olan çaprazlama ve mutasyon ile bu kromozomların genleri yeniden düzenlenir ve bir çift çocuk oluşturulur.

Çaprazlama işleci çeşitli şekillerde uygulanabilir. Şekil 3.1 (a)'da en basit çaprazlama yöntemi olan tek nokta çaprazlama gösterilmiştir. Bu örnekte a_i ve b_i sırasıyla, ebeveyn 1 ve ebeveyn 2'nin i numaralı genlerini ifade etmektedir. Tek nokta çaprazlama yönteminde öncelikle bir çaprazlama noktası seçilir. Ebeveyn 1'in, seçilen bu noktadan önce yer alan kısmı çocuk 1'e aktarılırken bu noktadan sonraki kısmı çocuk 2'ye aktarılır. Aynı şekilde ebeveyn 2'nin bu noktadan önce ve sonra yer alan kısımları sırasıyla çocuk 2'ye ve çocuk 1'e aktarılır. Çaprazlamanın

amacı, genlerin konumlarını yeniden düzenleyerek daha sağlıklı bireyler oluşturmaktır.



Şekil 3.1 (a) Çaprazlama
(b) Mutasyon

Mutasyon, bir kromozomun rasgele bir kısmının seçilmesi ve değiştirilmesi işlemidir. Popülasyondaki bir kromozomun mutasyona uğrama olasılığı $p_{mutasyon}$ değeriyle ifade edilir ve genellikle $0.001 \leq p_{mutasyon} \leq 0.01$ aralığında alınır [2]. Mutasyon, genetik algoritmanın araştırma uzayında bulunmayan kromozomların araştırılmasını sağlamaktadır. Şekil 3.1 (b)'de mutasyon işlemi gösterilmiştir. Kromozomlar ikili kodlardan oluşuyorsa, mutasyon, kromozomdaki rasgele bir bitin seçilerek tersine çevrilmesiyle yapılır.

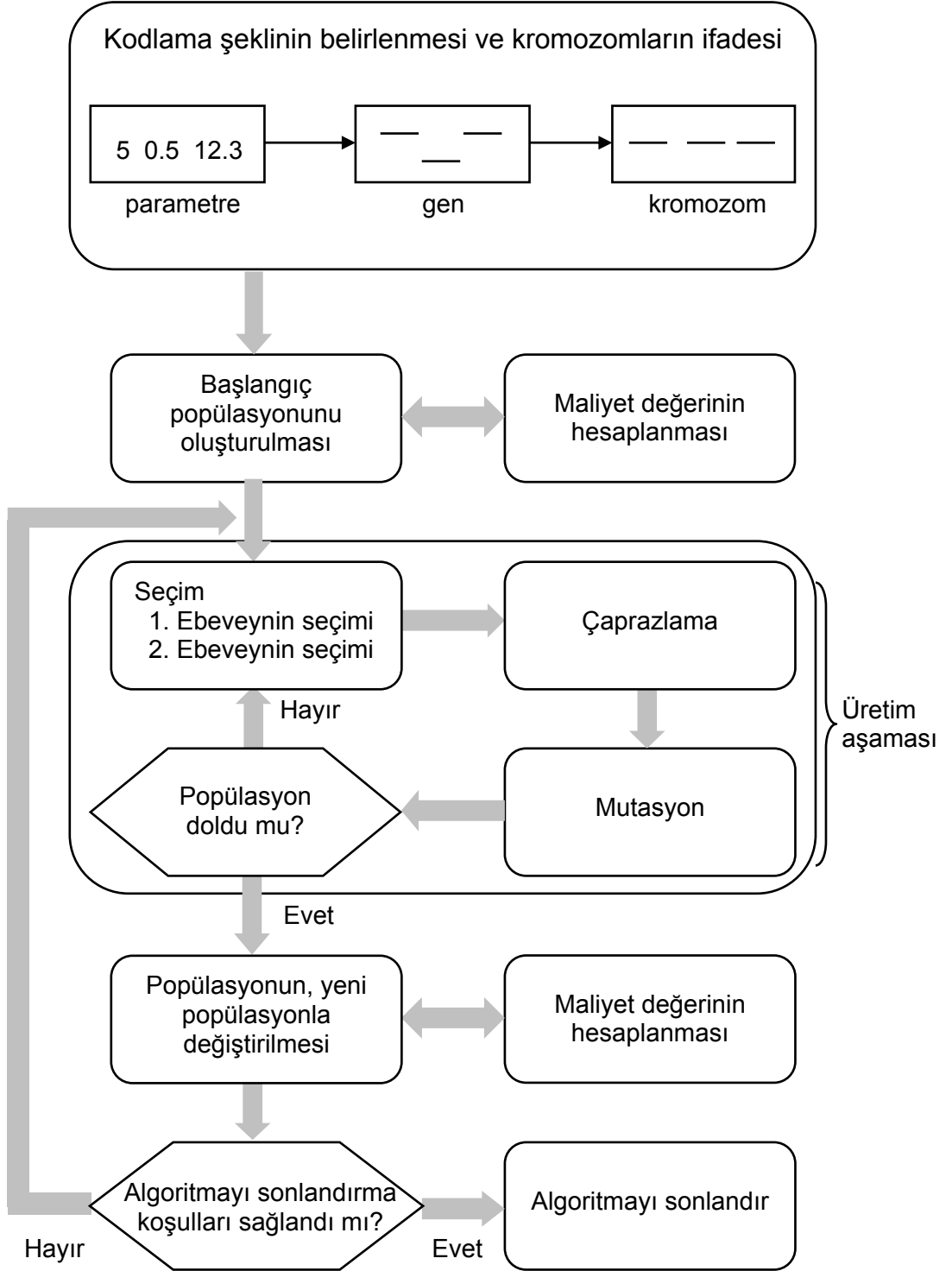
3.6. Genetik Algoritma Süreci

Şekil 3.2'de genel hatlarıyla bir genetik algoritma süreci gösterilmiştir. Genetik algoritma süreci üç aşamadan oluşur. Bunlar; başlangıç aşaması, üretim aşaması ve nesil yenileme aşamasıdır.

Başlangıç aşamasında popülasyon, optimizasyonu yapılacak parametrelerin kodlanmış gösterimi olan, rasgele oluşturulmuş, belirli sayıda kromozomla doldurulur. Bu kromozomların her biri farklı bir çözümü, diğer bir deyişle farklı bir bireyi ifade eder. Maliyet fonksiyonu belirlendikten sonra, oluşturulan popülasyondaki her bir kromozomun maliyet değeri hesaplanır ve üretim aşamasına geçilir.

Üretim aşamasında o anki nesilden yeni bir nesil oluşturulur. Öncelikle popülasyondan ebeveyn olarak bir çift kromozom seçilir. Ebeveynlerin çaprazlama ve mutasyona tabi tutulması sonucunda bir çift çocuk oluşturulur ve bu çocuklar yeni nesle yerleştirilir. Seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden oluşan süreç, yeni nesil için yeterli sayıda üye oluşturulana kadar devam eder.

Nesil yenileme aşamasında, oluşturulan yeni nesil eski neslin yerine konur. Yeni nesildeki her bir kromozomun maliyet değeri hesaplanır. Algoritmayı sonlandırma koşulları sağlanana kadar üretim ve nesil yenileme aşamaları tekrarlanır. Koşullar sağlandığında ise algoritma sonlandırılır.



Şekil 3.2 Genetik algoritma süreci

4. GENETİK ALGORİTMA İLE TEL ANTEN TASARIM YÖNTEMİ

Son yıllarda bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ve antenlerin kısa sürede analizine olanak sağlayan yazılımların ortaya çıkmasıyla birlikte çok sayıda bilgisayar destekli anten tasarım yöntemi geliştirilmiştir. Genetik algoritma ile tel anten tasarımı bu yöntemlerden biridir. Genetik algoritma ile anten tasarımında diğer bilgisayar destekli tasarım yöntemlerinden farklı olarak, tasarımcının istenen özelliklere uygun olabilecek tasarımla ilgili öngörüsüne ihtiyaç yoktur ve başlangıçta tasarımla ilgili verilmesi gereken bilgi oldukça azdır. Aynı zamanda diğer yöntemler, sonucu basit, simetrik, analizi ve anlaşılması kolay yapılarla sınırlarken genetik algoritma ile çok çeşitli tasarımlar elde edilebilmektedir.

Genetik algoritmanın tel anten tasarımına uygulanmasıyla ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda elektriksel olarak küçük antenler, yüklü monopoller, geniş bantlı antenler gibi çeşitli anten tasarımları yapılmıştır [3-9]. Genetik algoritma ile anten tasarımı, algoritmanın bir elektromanyetik benzetim programı ile birlikte çalışmasıyla mümkün olmaktadır.

Genetik algoritma ile tel anten tasarımında ilk olarak optimize edilecek parametrelere göre bir maliyet fonksiyonu belirlenir. Maliyet değeri antenin istenen elektromanyetik özelliklere ne kadar yakın olduğunu, başka bir deyişle kromozomun ne kadar sağlıklı olduğunu gösterir. Maliyet fonksiyonu, duran dalga oranı, kazanç, verimlilik gibi anten parametrelerini içerir. Maliyet fonksiyonunun belirlenmesinin ardından probleme uygun tel anten yapılarını ifade eden kromozomların oluşturduğu araştırma uzayı belirlenir. Bu kromozomlar anteni oluşturan tellerin başlangıç ve bitiş koordinatları ya da tel boyutları gibi parametre değerlerini belirten genlerden oluşur. Kromozomların yapısı probleme göre değişir.

Algoritma, araştırma uzayından rasgele seçilen antenlerden oluşan başlangıç popülasyonunun yaratılmasıyla başlar. Oluşturulan bu popülasyondaki her bir antenin maliyet değerleri hesaplanarak performansı belirlenir. Genetik algoritma ile anten tasarımında her bir antenin, bir anten analiz programı ile

benzetimi yapılır ve elde edilen benzetim sonuçları maliyet değerinin hesaplanmasında kullanılır. Maliyet değerine göre değerlendirilen antenlerden maliyet değeri düşük olanlar seçilip çiftleştirilirken, maliyet değeri yüksek olanlar popülasyondan çıkarılır. Böylelikle bir önceki neslin sağlıklı bireylerinden ve bunların çiftleştirilmesiyle meydana gelen çocuklardan yeni bir nesil oluşturulur. Bu yeni neslin üyeleri belirli bir oranda mutasyona tabi tutulduktan sonra eski nesil üyelerinin yerine konur. Bu işlem, algoritmayı sonlandırma koşulları sağlanıncaya kadar devam eder. Oluşturulan nesil sayısı arttıkça popülasyondaki kromozomların kalitesi artar ve nihayet optimize edilmiş sonuç elde edilir.

Bu çalışmada anten analiz programı olarak Bölüm 2'de tanıtılan SuperNEC kullanılmıştır. Bu program, parametreleri kendisine girdi olarak gönderilen her bir antenin benzetimini gerçekleştirir ve anten performansını belirleyen benzetim sonuçlarını bir dosyaya kaydeder. Geliştirilen genetik algoritma programı, bu dosya içerisinde maliyet fonksiyonunun hesaplanmasında gerekli olan parametre değerlerini alır ve değerlendirir.

Tel anten tasarımında, problem ne kadar büyükse, genetik algoritmanın diğer araştırma yöntemlerine göre başarısı o kadar daha yüksek olmaktadır. Aynı zamanda genetik algoritma, iyi fakat en iyi olmayan sonuç bölgesinde, başka bir deyişle yerel en küçük/en büyük değerlerin bulunduğu bölgede sıkışıp kalmaya karşı oldukça dayanıklıdır.

4.1. Anten Parametreleri ve Tel Antenler

Bir anten, bir ya da daha çok telden oluşuyorsa tel anten olarak adlandırılır. Tel antenler binalar, arabalar, gemiler gibi birçok yapının üzerinde karşımıza çıkmaktadır. Tel antenler çeşitli şekillerde beslenebilir. Örneğin araba antenleri telin tabanına yerleştirilmiş bir koaksiyel kablo ile beslenirken TV antenleri dengeli iki hatla beslenir.

Genetik algoritma ile anten tasarımının daha iyi anlaşılabilmesi için, tel antenlerle ilgili bazı kavramların bilinmesi gerekir [12]. Bu bölümde tel antenlerin performansını belirlemede kullanılan parametrelerin bir kısmından kısaca bahsedilecektir. Burada bahsedilen parametreler, geliştirilen genetik algorithmada maliyet fonksiyonunu hesaplarken kullanılan anten parametrelerdir. Bu parametrelerin haricinde anten performansını belirleyen, polarizasyon, huzme genişliği, anten ışıma verimliliği gibi birçok anten parametresi bulunmaktadır.

Anten Verimliliği e_0 , anten tarafından yayılan gücün kaybolan güce oranı olarak tanımlanabilir. Bu kayıplar iletim hattı ile anten girişi arasındaki uygunsuz eşleme nedeniyle meydana gelen yansımalar, iletkenlik ve dielektrik kayıplarından kaynaklanmaktadır. Eşitlik 4.1'de anten verimliliği ifade edilmiştir. Bu eşitlikte e_r yansıma verimliliğini, e_c iletkenlik verimliliğini, e_d ise dielektrik verimliliğini ifade etmektedir.

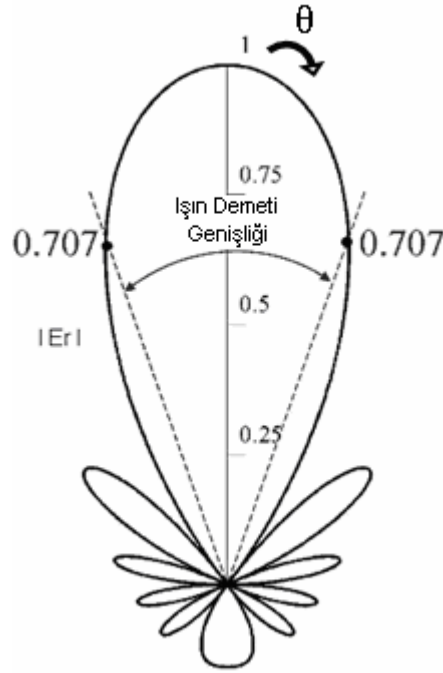
$$e_0 = e_r e_c e_d \quad (4.1)$$

Yönlülük, antenin belirli bir yöndeki ışıma şiddetinin tüm yönlerde yayılan ortalama ışıma şiddetine oranıdır. *Kazanç* yönlülükle yakından ilgili bir parametre olmakla birlikte, antenin verimliliğini de hesaba katmaktadır. Kazanç, antenin belirli bir yöndeki ışıma şiddetinin, anten girişine uygulanan güç tüm yönlerde eşit bir şekilde yayılması durumunda elde edilecek ışıma şiddetine oranıdır. Kazanç, yönlülükle, yayılan gücün anten girişine uygulanan güce oranının çarpılmasıyla elde edilir. Kayıp olmadığı durumda kazanç ve yönlülük değerleri eşit olmaktadır. Eşitlik 4.2 ve Eşitlik 4.3'te sırasıyla yönlülük ve kazanç formülleri gösterilmiştir. Bu eşitliklerde U ışıma şiddetini, U_0 ortalama ışıma şiddetini, P_{in} anten giriş gücünü, e_{cd} ise iletken ve dielektrik kayıpların oluşturduğu verimliliği ifade etmektedir.

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (4.2)$$

$$G = \frac{4\pi U}{P_{in}} = e_{cd} D \quad (4.3)$$

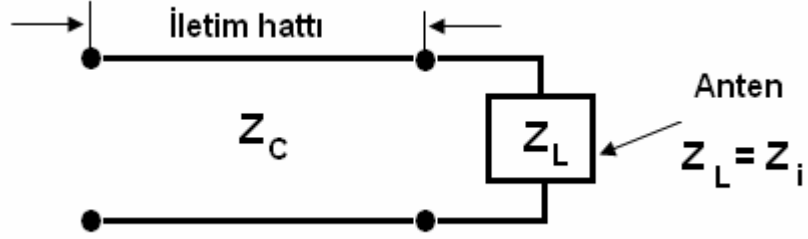
Işıma örüntüsü, antenin ışım özelliklerinin koordinatlara göre değişiminin grafiksel gösterimidir. Işıma örüntüsü genellikle uzak alanda belirlenir. Işıma özellikleri güç akı yoğunluğu, ışım şiddeti, alan şiddeti, yönlülük faz ve kutuplanma gibi özelliklerdir. En çok kullanılan ışım örüntüsü alan örüntüsü ve güç örüntüsüdür. Sabit bir yarıçaplı yüzeydeki elektrik alanın uzamsal değişimi alan örüntüsü, güç yoğunluğunun uzamsal değişimi ise güç örüntüsü olarak adlandırılır. Şekil 4.1'de bir alan örüntüsü örneği gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Alan örüntüsü

Duran dalga oranı ya da VSWR antenle antenin bağlı olduğu hattı uygunsuz eşlemenin bir ölçüsüdür. Bu bağlantıda uyumsuzluk olduğunda duran dalga oluşur ve antene/antenden güç akışını engeller. Duran dalga oranı ne kadar yüksekse uyumsuzluk o kadar fazladır. Şekil 4.2'de anten ve bağlı olduğu iletim hattının eşdeğer devresi gösterilmiştir. Eşitlik 4.4 ve Eşitlik 4.5'te sırasıyla yansımaya katsayısı (Γ) ve duran dalga oranı formülleri belirtilmiştir. Bu eşitliklerde Z_L ve Z_i

anten giriş empedansını, Z_C ise iletim hattının karakteristik empedansını ifade etmektedir.



Şekil 4.2 Anten ve iletim hattı modeli

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_C}{Z_L + Z_C} = \frac{Z_i - Z_C}{Z_i + Z_C} \quad (4.4)$$

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (4.5)$$

Bant genişliği, antenin bir takım özelliklerinin belirli standartlara uyduğu, kullanılabilir frekans aralığıdır. Bant genişliği genellikle kullanılabilir frekans aralığının merkez frekansına oranının yüzdesi ile ifade edilir.

5. GA İLE TASARLANMIŞ TEL ANTEN ÖRNEKLERİ

Bu bölümde genetik algoritma ile tasarlanmış üç farklı anten yapısından bahsedilecektir. Geliştirilen genetik algoritma SuperNEC adlı anten analiz programı ile birlikte çalışmaktadır. Genetik algoritma sürecinde, oluşturulan her bir nesildeki her bir antenin SuperNEC'le benzetimi yapılmaktadır.

Bu çalışmada geliştirilen genetik algorithmada genler ikili kodlarla ifade edilmiştir ve seçim yöntemi olarak popülasyon küçültme kullanılmıştır. Çiftleştirme işlemi ise uyumluluk değerine göre sıralanan kromozomlardan en sağlıklı ikisinin çiftleştirilmesi ve daha sonra bir sonraki sağlıklı iki kromozomun çiftleştirilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Çaprazlama yöntemi olarak tek nokta çaprazlama kullanılmıştır. Antenler sonsuz toprak düzlemi üzerinde modellenmiştir. Elde edilen antenleri oluşturan tellerin ve yüklerin konumları ilgili bölümlerde belirtilmiştir.

5.1. Genetik Tasarımın Tel Antene Uygulanması

Son yıllarda, her türlü elektronik cihazda minyatürleştirmenin gittikçe önem kazanmasıyla birlikte, elektriksel olarak küçük antenler üzerindeki çalışmalar da artmıştır [21,22]. Wheeler [23,24] küçük bir anteni, en büyük boyutu, radyan uzunluğu olan $1/2\pi$ dalga boyundan küçük anten olarak tanımlamıştır. Küçük ve rezonant bir antenin performansını en iyi belirten parametre, kalite faktörü Q'dur [21,22]. Eşitlik (5.1)'de kesirli bant genişliği ve kalite faktörü arasındaki bağıntı ifade edilmiştir.

$$\text{kesirli bant genişliği} = \frac{\Delta f}{f_0} = \frac{1}{Q} \quad (5.1)$$

Eşitlik (5.1)'de Δf bant genişliği, f_0 ise rezonans frekansıdır. Bant genişliği, anten tarafından rezonans frekansında yayılan gücün yarıya indiği iki frekans arasındaki farktır. Kalite faktörünün düşük olması bant genişliğinin yüksek olması anlamına gelir. Küçük anten tasarımında en büyük sorun, anten boyutu azaldıkça

yayımlı direncinin düşmesi ve yayılım reaktansının yükselmesidir. Genetik algoritma ile kapasitif ve indüktif reaktansları birbirini yok eden, böylece rezonansa giren antenler tasarlamak mümkündür [6].

GA ile tasarlanan ilk örnek, elektriksel olarak küçük, kendinden rezonant tel antenlerdir [6]. Bu antenler, birbirine seri olarak bağlanmış, belirli sayıda telden oluşmaktadır. Antenler sonsuz toprak düzlemi üzerinde modellenmiştir. İlk tel için başlangıç koordinatı (0,0,0) olarak belirlenmiştir ve diğer tellerin koordinatları, belirli bir küp hacminin dışına çıkmayacak şekilde genetik algoritma tarafından belirlenmektedir [5-7]. Optimizasyonun amacı 400 MHz civarında rezonansa giren, düşük VSWR değerine sahip, mümkün olduğunca geniş bantlı küçük tel antenler tasarlamaktır. Bu amaçla maliyet fonksiyonu, 400 MHz ve yakınındaki iki frekanstaki VSWR değerlerinin toplamı olarak belirlenmiştir. Anten boyutu küçüldükçe bant genişliğinin azalması beklendiğinden anten boyutu azaldıkça duran dalga oranının hesaplandığı frekans aralığı daraltılmıştır. Örneğin kenar boyu 0.1λ olan bir küp hacmine sığan anten tasarımları için duran dalga oranının hesaplandığı frekans değerleri 395 MHz, 400 MHz ve 405 MHz iken, kenar boyu 0.041λ olan bir küp hacmine sığan anten tasarımları için 398 MHz, 400 MHz, ve 402 MHz'tir. Küçük antenlerde ışınım örüntüsü fazla değişim göstermediğinden, maliyet fonksiyonu kazanç değerini içermemektedir.

$$\text{Maliyet fonksiyonu} = \sum_f \text{VSWR}(f) \quad (5.2)$$

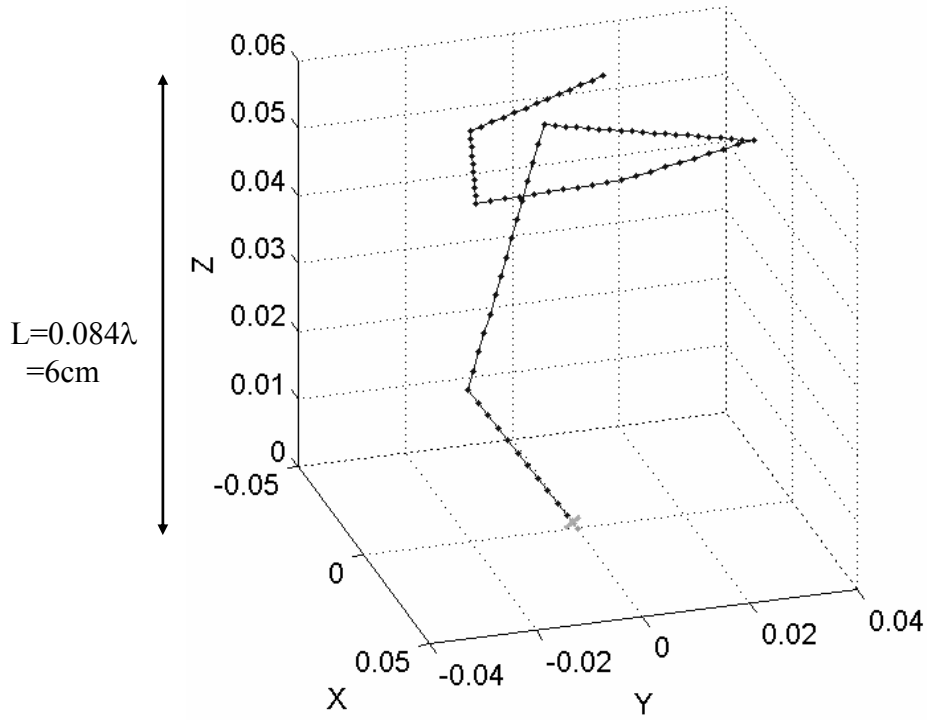
Antenlerin kaç telden oluşacağı ve antenin kaplayacağı hacmin büyüklüğü başlangıçta belirtilirken, tellerin boyutları ve koordinatları genetik algoritma tarafından belirlenmektedir. Bir kenarı 0.041λ ile 0.1λ arasında değişen küp hacmine sığacak her bir anten boyutu için, 5-9 telden oluşan anten benzetimleri yapılmıştır.

Genetik algoritmadaki her bir kromozom, her bir anteni oluşturan tellerin koordinat değerlerini ifade etmektedir. Kromozomları oluşturan her bir gen, bir

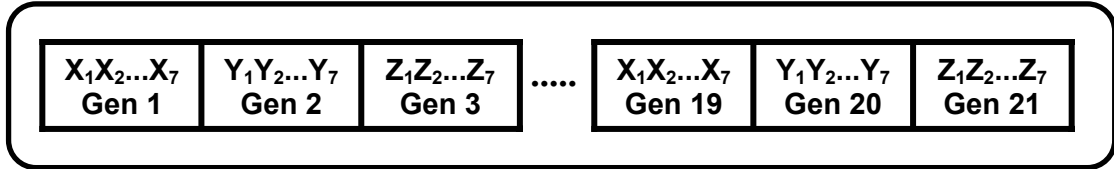
eksen değerini ifade etmekte ve 7 bitten oluşmaktadır. Her bir koordinat ekseninin $2^7=128$ değer alma olasılığı vardır. Popülasyon 600 kromozomdan oluşmaktadır. Tellerin yarıçapı 0.8 mm'dir. Seçim yöntemi olarak popülasyon küçültme kullanılmıştır. Yer değiştirme yüzdesi %60 olarak belirlenmiştir. Yani popülasyondaki kromozomların en iyi %40'ı bir sonraki nesle aktarılırken, bu yeni popülasyonu oluşturan kromozomların %60'ı, önceki popülasyondaki kromozomların çaprazlanması ve mutasyona uğratılması sonucu oluşturulmuştur. Mutasyon olasılığı %0.5 olarak belirlenmiştir. Toplam 90 nesil oluşturulduğunda algoritma sonlandırılmıştır. Algoritmanın toplam kaç nesil oluşturulduğunda sonlandırılacağına, algoritmanın yakınsama durumu incelenerek karar verilmiştir.

Oluşturulan her bir antenin benzetimi SuperNEC ile yapılmaktadır. Bu programda hesaplamalar için anten belirli büyüklükteki parçalara bölünür. Bu parçaların boyutları belirli bir aralıkta alınır ve her bir parçanın birbiri arasındaki mesafenin belirli bir değer altında olmamak üzere program içerisinde kontrolü yapılır. SuperNEC hesaplamaları sonucunda doğru sonuçlar elde edilmesi için, her bir parçanın boyu 0.001λ ile 0.1λ arasında alınmalıdır. Bununla birlikte tellerin çakışma veya üst üste gelme durumunu önlemek için, her bir parçanın birbirine olan uzaklığı geliştirilen program içinde kontrol edilmektedir.

şekil 5.1'de, optimizasyon sonucunda elde edilen, kenarı boyutu 0.084λ olan küpün içine sığan bir tel anten örneği gösterilmiştir. Bu anten birbirine seri olarak bağlanmış 7 telden oluşmaktadır. Anten sonsuz bir toprak düzlemi üzerinde bulunmakta ve başlangıç koordinatı (0,0,0) olan parça üzerine yerleştirilmiş bir kaynakla beslenmektedir. şekil 5.2'de bu anteni ifade eden kromozom yapısı gösterilmiştir. Antenin başlangıç koordinatı belirli olduğundan, 7 telden oluşan anten, 7 koordinat değeriyle ifade edilmektedir. Her eksen değeri 7 bitten oluşan bir genle ifade edilmiştir. Her bir koordinat değeri 3 eksen değeriyle ifade edildiğinden 7 koordinat değeri için $3 \times 7 = 21$ gen kullanılmıştır. Bu örneği genelleştirmek gerekirse, N tane telden oluşan bir anteni ifade eden bir kromozom $3 \times N$ tane genden oluşmaktadır.

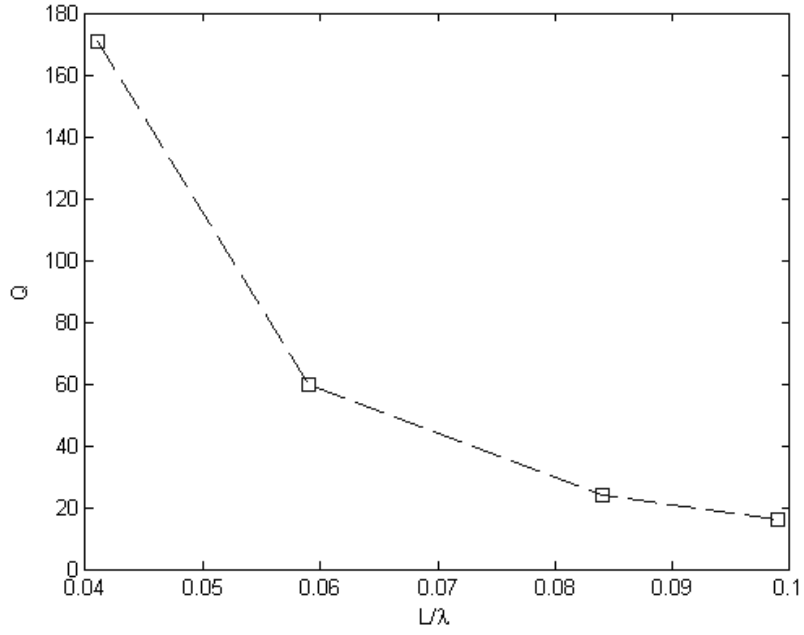


Şekil 5.1 7 telden oluşan genetik anten



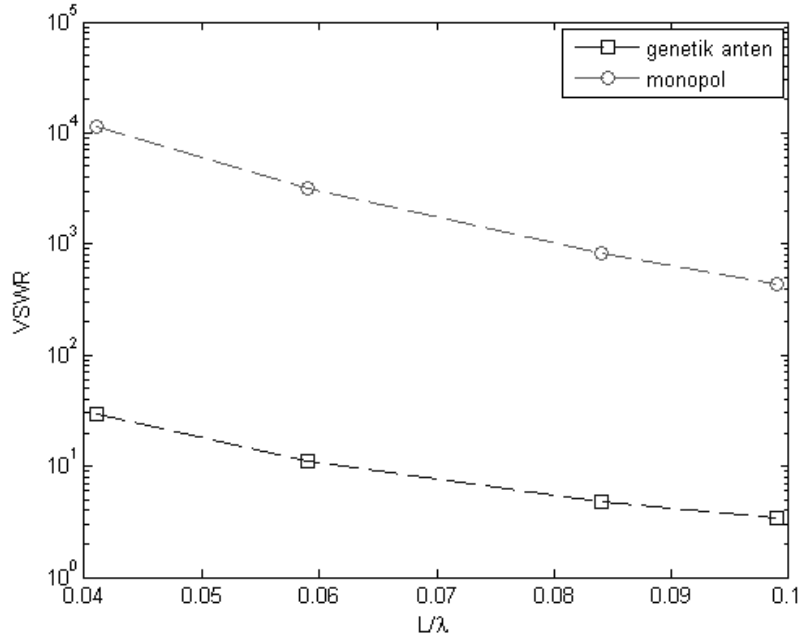
Şekil 5.2 Kromozom yapısı

Şekil 5.3'te, optimizasyon sonucunda elde edilen, boyutları 0.041λ ile 0.1λ arasında değişen küpün içerisine sığan antenlerin Q değerlerinin küp boyutuna göre değişimi gösterilmiştir. Görüldüğü gibi anten boyutu azaldıkça Q değeri düşmektedir. Küpün kenar boyutu 0.041λ ile 0.1λ ile değişirken elde edilen antenlerin Q değeri 171 ile 16 arasında değişmektedir.



Şekil 5.3 Genetik antenlerin boyuta göre Q değışimi

Şekil 5.4'te ise genetik antenlerin ve aynı boyutlardaki monopollerin anten boyutuna göre VSWR değışimi gösterilmiştir. Elde edilen antenlerin VSWR değerlerinin, aynı boyuttaki monopollerin VSWR değerleriyle kıyaslandığında oldukça düşük olduğu gözlemlenmektedir. Antenlerin içersine sığabileceği küpün kenar boyutu 0.041λ ile 0.1λ arasında değışirken, VSWR değeri 29.4 ile 3.36 arasında değışmektedir. Aynı boyutlardaki monopoller için VSWR değeri ise 11500 ile 436 arasında değışmektedir.



Şekil 5.4 Genetik antenlerin ve monopolün anten boyutuna göre VSWR değişimi

Şekil 5.5 - Şekil 5.12 arasında genetik algoritma ile elde edilen 0.041λ , 0.059λ , 0.084λ , 0.1λ boyutlarındaki antenler ve bu antenlerin VSWR, empedans ve ışıma gücü değerlerinin frekansa göre değişimi gösterilmiştir.

Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da, kenar boyu 0.041λ olan küp hacmi içerisine sığabilen anten tasarımı ve benzetim sonuçları gösterilmiştir. 8 telden oluşan bu tasarım 410.6 MHz'de rezonansa girmektedir. Antenin, rezonans frekansındaki duran dalga oranı 29.4 , bant genişliği ise 2.4 MHz'dir.

Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de, kenar boyu 0.059λ olan küp hacmi içerisine sığabilen anten tasarımı ve benzetim sonuçları gösterilmiştir. 8 telden oluşan bu tasarım 396.2 MHz'de rezonansa girmektedir. Antenin, rezonans frekansındaki duran dalga oranı 11.2 , bant genişliği ise 6.6 MHz'dir.

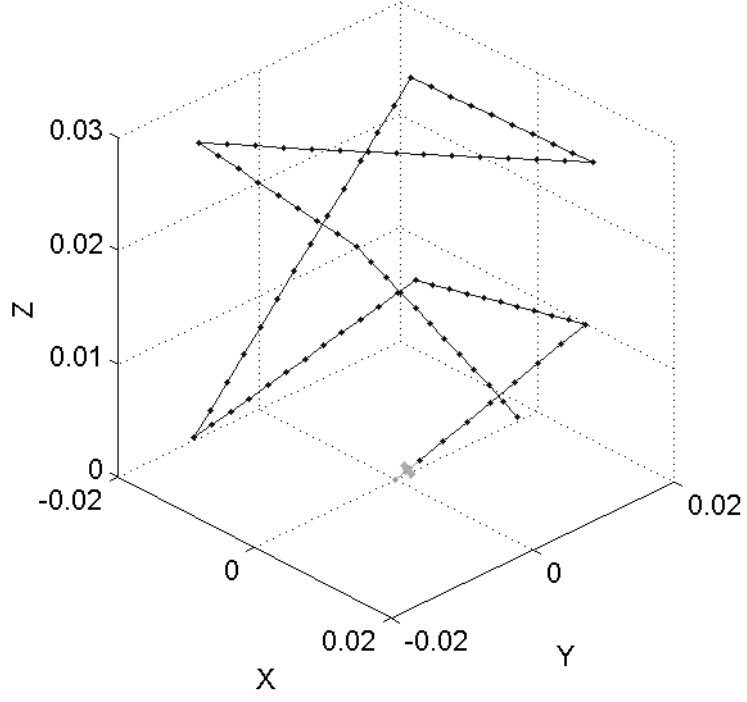
Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da, kenar boyu 0.084λ olan küp hacmi içerisine sığabilen anten tasarımı ve benzetim sonuçları gösterilmiştir. 7 telden oluşan bu

tasarım 419.2 MHz'de rezonansa girmektedir. Antenin, rezonans frekansındaki duran dalga oranı 4.84, bant genişliği ise 17.6 MHz'dir.

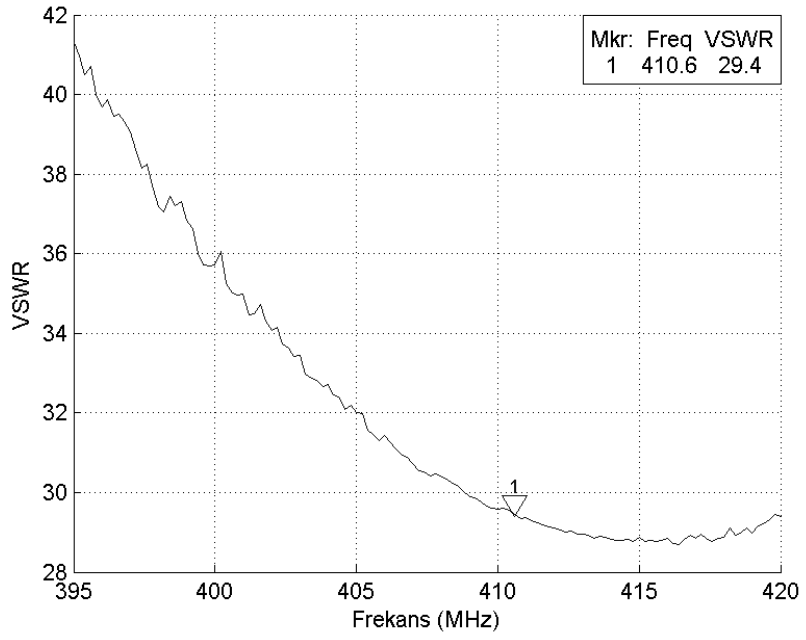
Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de, kenar boyu 0.1λ olan küp hacmi içerisine sığabilen anten tasarımı ve benzetim sonuçları gösterilmiştir. 6 telden oluşan bu tasarım 395.8 MHz'de rezonansa girmektedir. Antenin, rezonans frekansındaki duran dalga oranı 3.36, bant genişliği ise 24.6 MHz'dir.

Elde edilen tasarımlar incelendiğinde, antenlerin boyutu arttıkça anteni oluşturan tel sayısının azaldığı görülmektedir. Örneğin 0.041λ boyutundaki anten 8 telden oluşurken, 0.1λ boyutundaki anten 6 telden oluşmaktadır. Optimizasyon yapılan tüm anten boyutları için, 400 MHz civarında rezonansa giren anten tasarımları elde edilmiştir. Bu antenleri oluşturan tellerin koordinatları ise Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

SuperNEC ile elde edilen benzetim sonuçlarındaki hata oranları, anten boyutu arttıkça azalmaktadır. Bunun nedeni, antenin boyutu arttıkça, kullanılan nümerik yöntemde (moment yöntemi) yapılan yaklaşımların doğruluğunun artmasıdır.



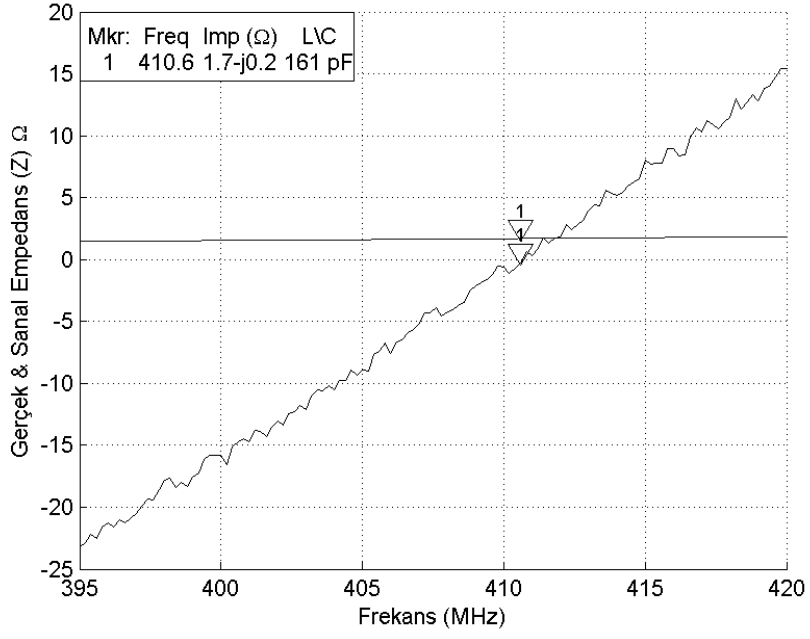
(a)



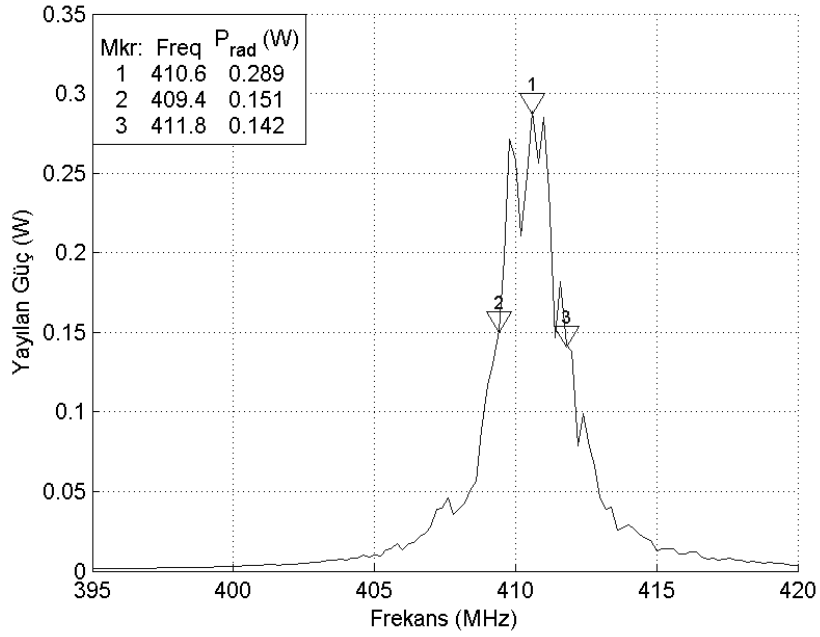
(b)

Şekil 5.5 (a) Örnek 1

(b) Örnek 1'in frekansa göre VSWR değişimi

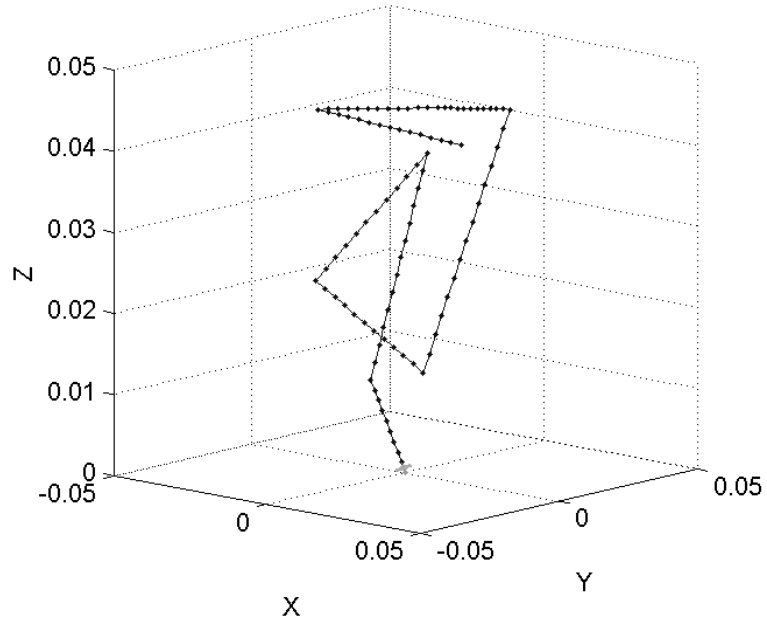


(a)

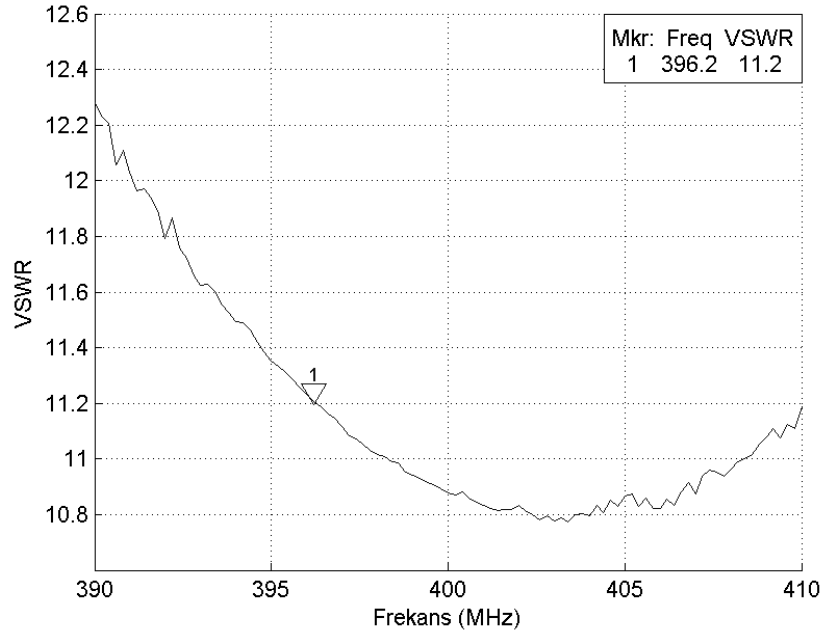


(b)

Şekil 5.6 (a) Örnek 1 empedansının frekansa göre değişimi
(b) Örnek 1'in frekansa göre VSWR değişimi

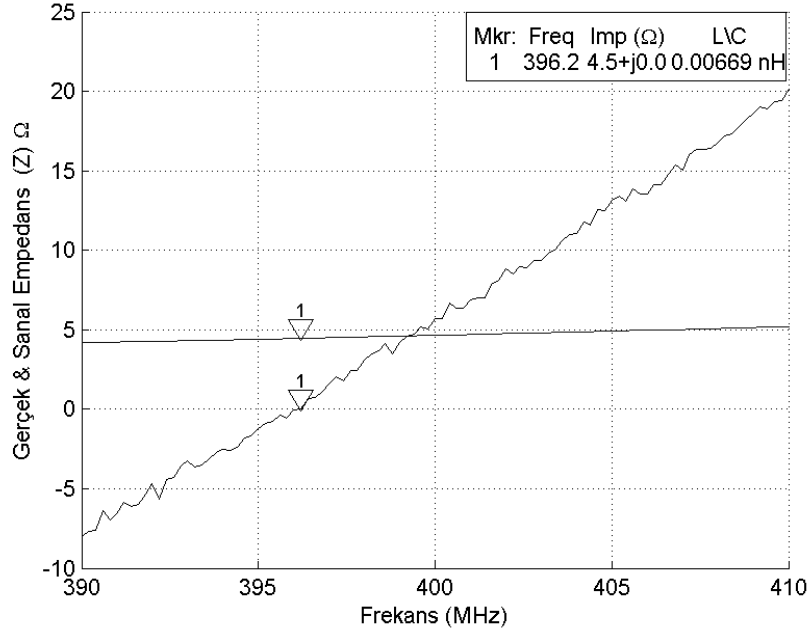


(a)

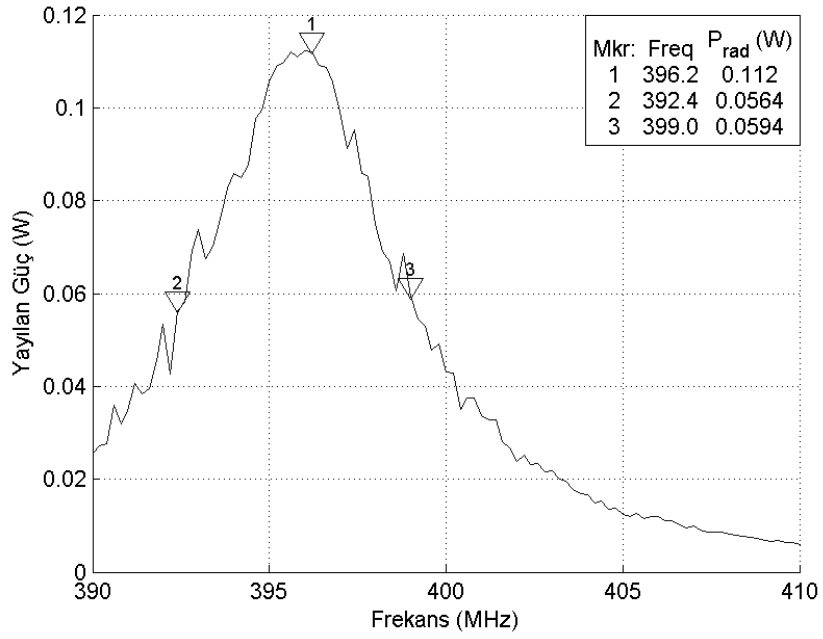


(b)

Şekil 5.7 (a) Örnek 2
(b) Örnek 2'nin frekansa göre VSWR değişimi

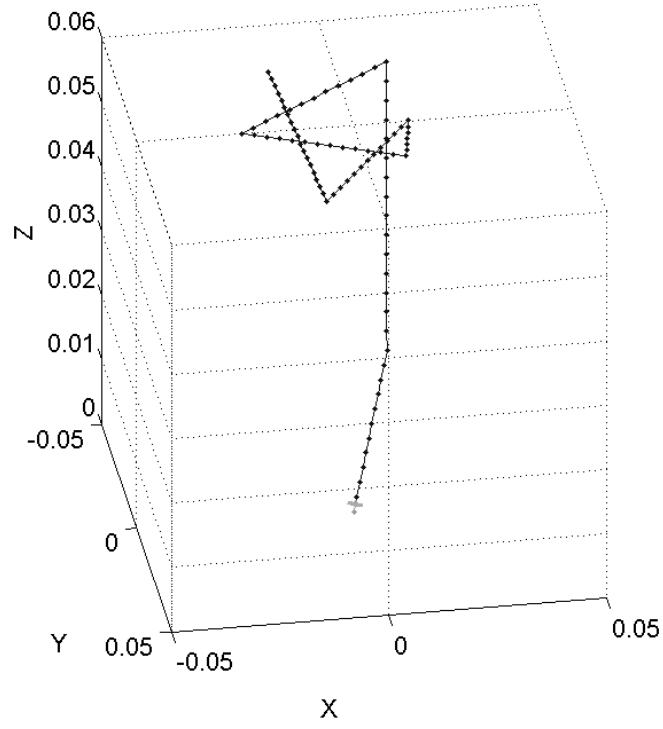


(a)

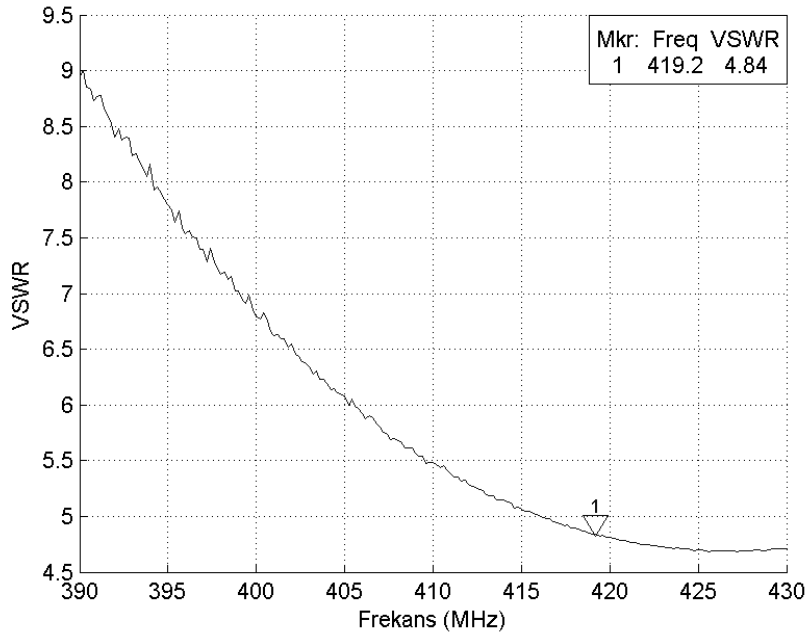


(b)

Şekil 5.8 (a) Örnek 2 empedansının frekansa göre değişimi
(b) Örnek 2'nin frekansa göre VSWR değişimi



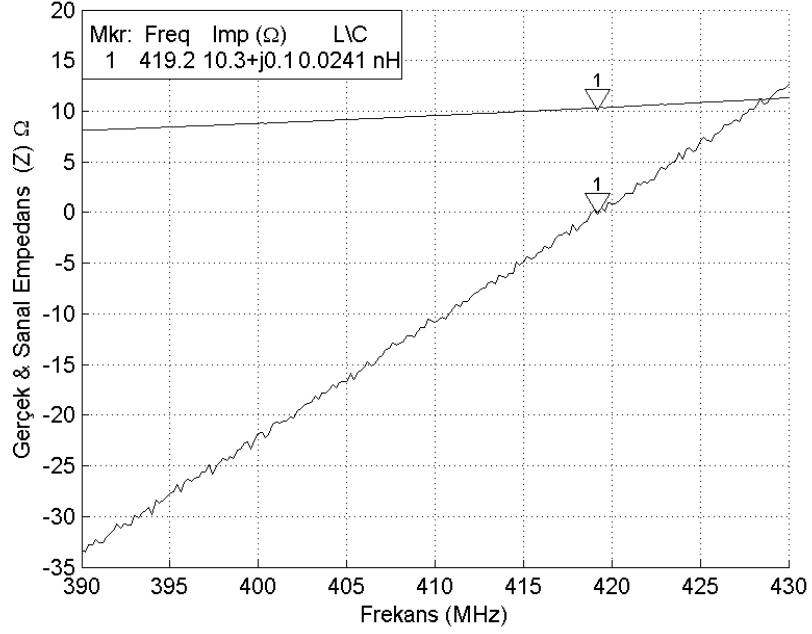
(a)



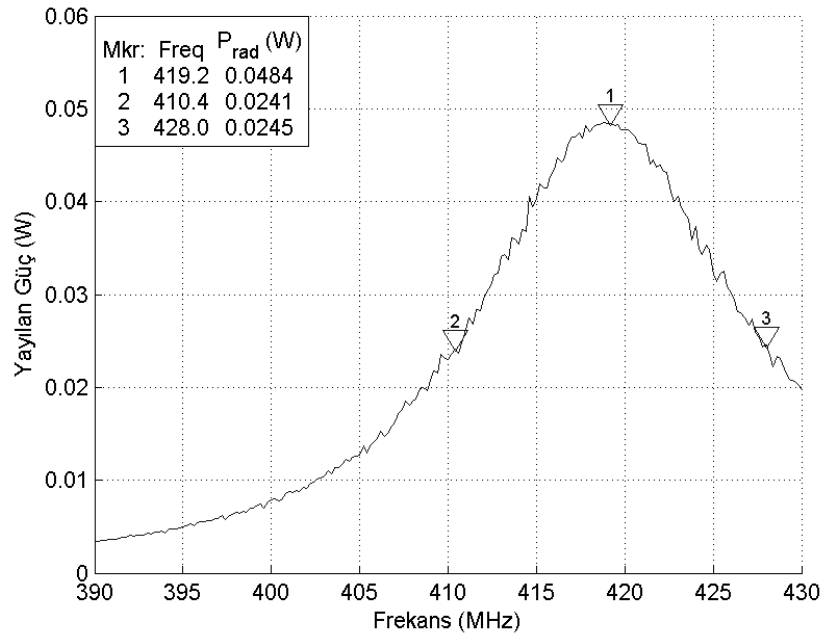
(b)

Şekil 5.9 (a) Örnek 3

(b) Örnek 3'ün frekansa göre VSWR değişimi

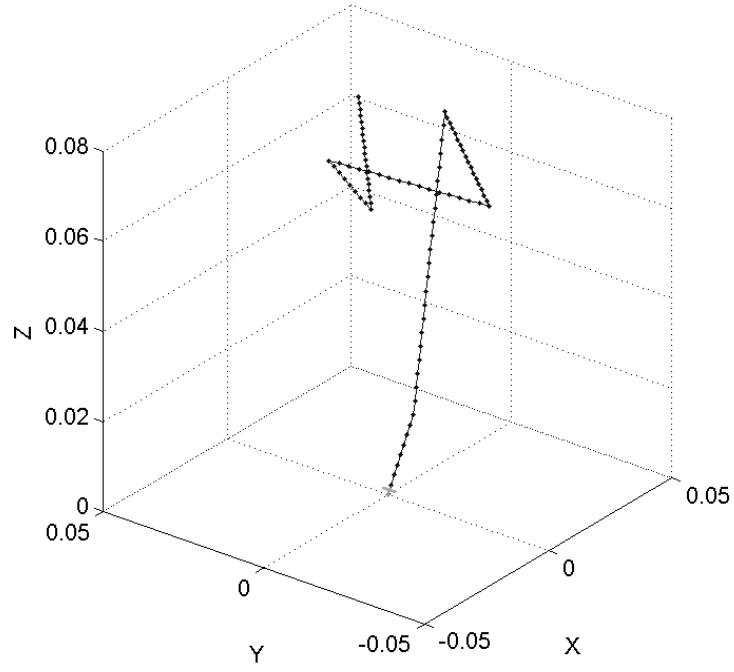


(a)

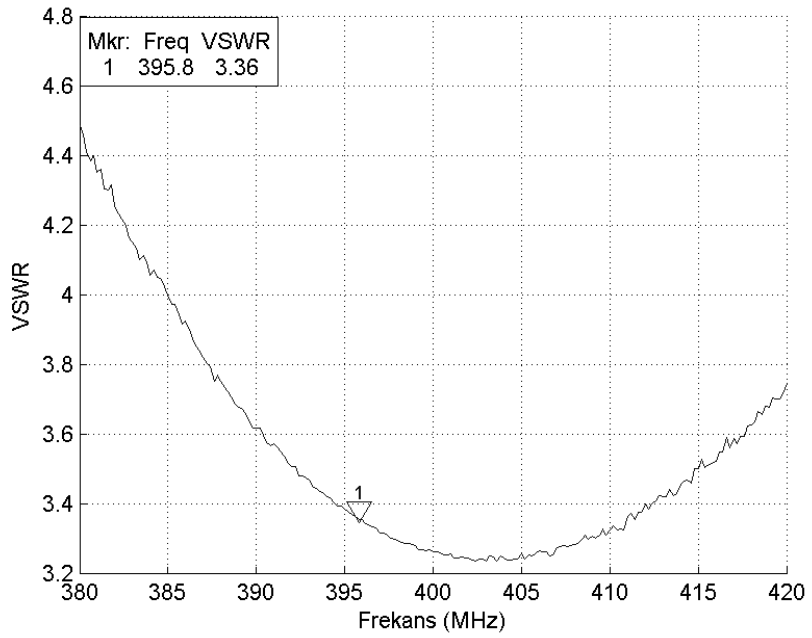


(b)

Şekil 5.10 (a) Örnek 3 empedansının frekansa göre değişimi
(b) Örnek 3'ün frekansa göre VSWR değişimi



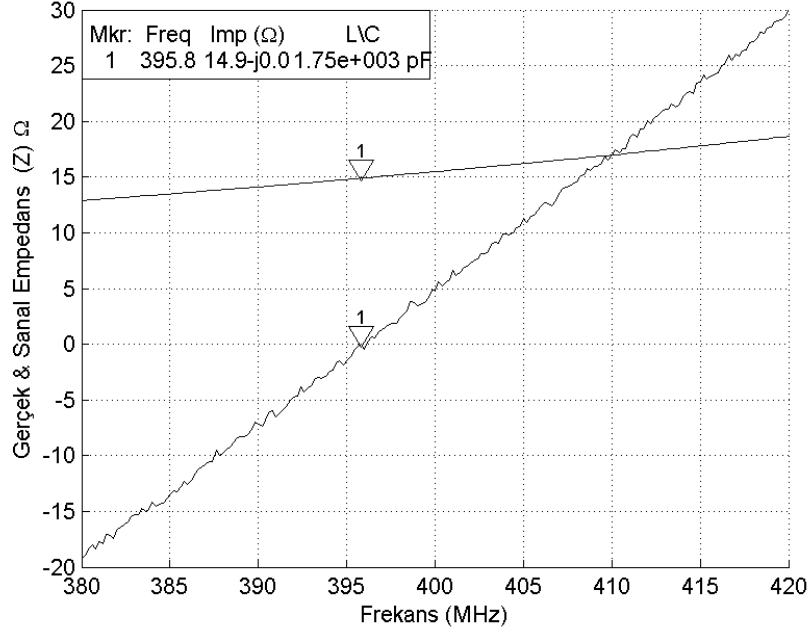
(a)



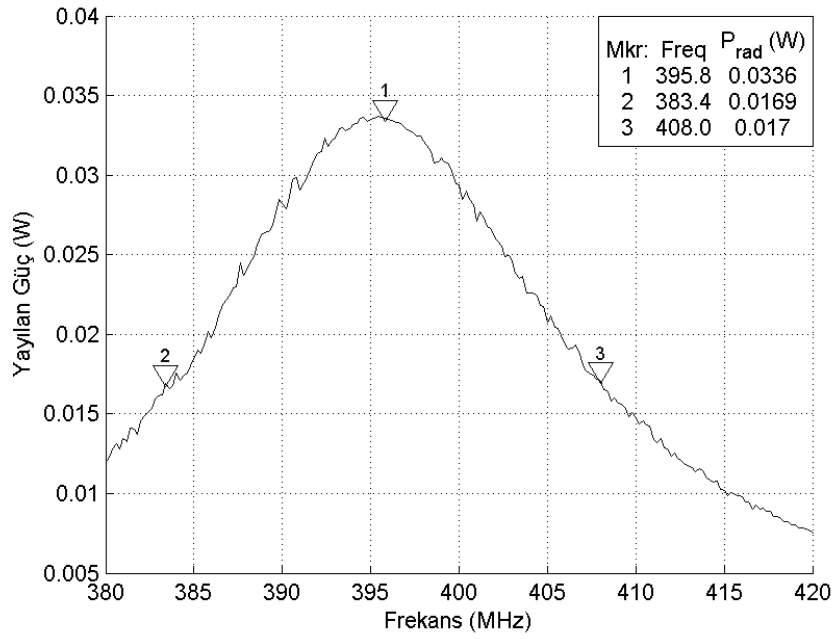
(b)

Şekil 5.11 (a) Örnek 4

(b) Örnek 4'ün frekansa göre VSWR değişimi



(a)



(b)

Şekil 5.12 (a) Örnek 4 empedansının frekansa göre değişimi
(b) Örnek 4'ün frekansa göre VSWR değişimi

| Tel # | Başlangıç Koordinatı | | | Bitiş Koordinatı | | |
|-------|----------------------|-----------|----------|------------------|-----------|----------|
| | X | Y | Z | X | Y | Z |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0.012165 | 0.015 | 0.012992 |
| 2 | 0.012165 | 0.015 | 0.012992 | 0.013819 | -0.010512 | 0.02511 |
| 3 | 0.013819 | -0.010512 | 0.02511 | -0.014055 | -0.015 | 0.00385 |
| 4 | -0.014055 | -0.015 | 0.00385 | -0.010984 | 0.012638 | 0.028299 |
| 5 | -0.010984 | 0.012638 | 0.028299 | 0.013346 | 0.015 | 0.027661 |
| 6 | 0.013346 | 0.015 | 0.027661 | -0.013819 | -0.014528 | 0.029787 |
| 7 | -0.013819 | -0.014528 | 0.029787 | 0.009331 | -0.014528 | 0.027874 |
| 8 | 0.009331 | -0.014528 | 0.027874 | 0.00815 | 0.009331 | 0.005339 |

(a)

| Tel # | Başlangıç Koordinatı | | | Bitiş Koordinatı | | |
|-------|----------------------|-----------|----------|------------------|-----------|----------|
| | X | Y | Z | X | Y | Z |
| 1 | 0 | 0 | 0 | -0.021083 | 0.010807 | 0.009094 |
| 2 | -0.021083 | 0.010807 | 0.009094 | -0.000177 | 0.007972 | 0.038701 |
| 3 | -0.000177 | 0.007972 | 0.038701 | -0.018602 | -0.01187 | 0.023268 |
| 4 | 0.012579 | -0.007618 | 0.013819 | 0.012579 | -0.007618 | 0.013819 |
| 5 | 0.020374 | 0.015059 | 0.045 | 0.020374 | 0.015059 | 0.045 |
| 6 | 0.020374 | 0.015059 | 0.045 | -0.009744 | 0.0225 | 0.04248 |
| 7 | -0.009744 | 0.0225 | 0.04248 | -0.02002 | -0.00939 | 0.044055 |
| 8 | -0.02002 | -0.00939 | 0.044055 | 0.019665 | -0.001594 | 0.04185 |

(b)

| Tel # | Başlangıç Koordinatı | | | Bitiş Koordinatı | | |
|-------|----------------------|-----------|----------|------------------|-----------|----------|
| | X | Y | Z | X | Y | Z |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0.011102 | -0.021969 | 0.017362 |
| 2 | 0.011102 | -0.021969 | 0.017362 | 0.012047 | -0.028583 | 0.06 |
| 3 | 0.012047 | -0.028583 | 0.06 | -0.021496 | -0.027165 | 0.051024 |
| 4 | -0.021496 | -0.027165 | 0.051024 | 0.013937 | -0.012047 | 0.050575 |
| 5 | 0.013937 | -0.012047 | 0.050575 | 0.01252 | -0.000236 | 0.06 |
| 6 | 0.01252 | -0.000236 | 0.06 | -0.010157 | 0.023858 | 0.056409 |
| 7 | -0.010157 | 0.023858 | 0.056409 | -0.014882 | -0.029528 | 0.059551 |

(c)

| Tel # | Başlangıç Koordinatı | | | Bitiş Koordinatı | | |
|-------|----------------------|-----------|----------|------------------|-----------|----------|
| | X | Y | Z | X | Y | Z |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0.019193 | 0.006791 | 0.009803 |
| 2 | 0.019193 | 0.006791 | 0.009803 | 0.028051 | 0.003839 | 0.075 |
| 3 | 0.028051 | 0.003839 | 0.075 | -0.003839 | -0.034547 | 0.073866 |
| 4 | -0.003839 | -0.034547 | 0.073866 | -0.010335 | 0.010335 | 0.075 |
| 5 | -0.010335 | 0.010335 | 0.075 | -0.018602 | -0.009154 | 0.071598 |
| 6 | -0.018602 | -0.009154 | 0.071598 | 0.021555 | 0.025689 | 0.075 |

(d)

Çizelge 5.1 Genetik antenleri oluşturan tellerin koordinatları

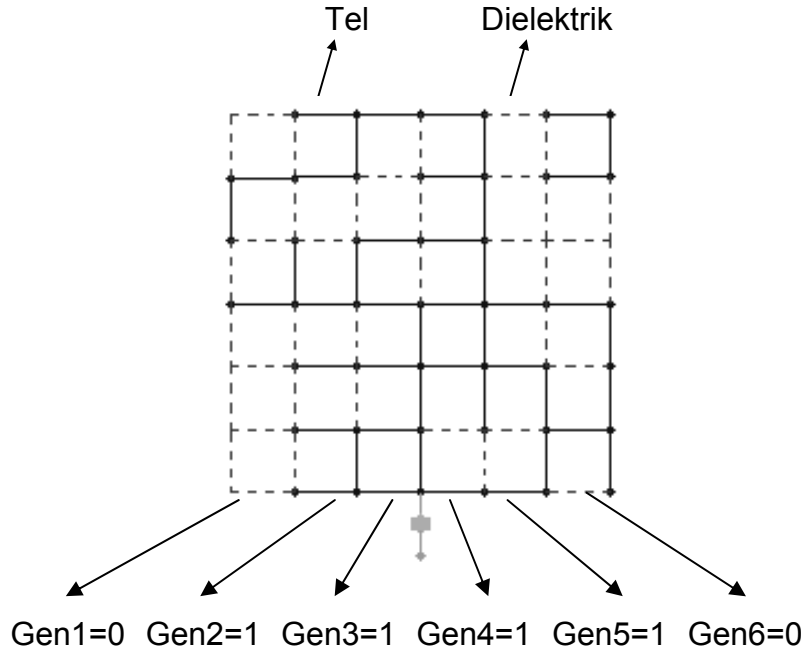
(a) Örnek 1 (b) Örnek 2 (c) Örnek 3 (d) Örnek 4

5.2. Genetik Tasarımın Karıştırıcı Anten Yapısına Uygulanması

Cep telefonu karıştırıcılar, cep telefonu ile aynı frekansta radyo dalgaları göndererek baz istasyonu ile cep telefonları arasındaki sinyal alışverişini engelleyen cihazlardır. Cep telefonu ile haberleşmenin istenmediği tiyatro, kütüphane, sinema toplantı salonu vb. mekanlarda çeşitli özelliklerdeki karıştırıcılar kullanılmaktadır. Güvenlik amaçlı olarak ise, telefonla aktif hale getirilen bombalardan korunmak amacıyla üretilen cep telefonu karıştırıcı üniteleri gerektiğinde bütün bir konvoyu bomba tehlikesinden koruyabilmektedir.

Bu bölümde genetik algoritma ile telefonla aktif hale getirilen bombalardan korunmak amacıyla tasarlanan cep telefonu karıştırıcı anten yapısından bahsedilecektir. Bu anten, 3 bantlı cep telefonu frekanslarını bastırmak üzere tasarlanmıştır. Bir araç üzerine monte edileceği göz önüne alınarak, anten sonsuz bir toprak düzlemi üzerinde modellenmiştir. Antenin bulunduğu yarı uzayın alt kesimlerinde tüm yönlü yayılım hedeflenmiştir.

Bu anten birbirine dik iki adet kare çerçeve üzerine yerleştirilen tellerden oluşmaktadır. Bu tellerin boyutları ve bulunabileceği yerler belirlidir. Şekil 5.13'te tek bir çerçeve üzerine yerleştirilmiş tellerden oluşan bir yapı gösterilmiştir. Belirlenen konumlarda tel bulunup bulunmaması bir gen değeriyle ifade edilir. Bir kromozomdaki gen sayısı, çerçeve üzerine yerleştirilebilecek toplam tel sayısı kadardır. Belirlenen konumda tel varsa o konuma karşılık gelen gen değeri '1', tel yoksa '0' olmaktadır. Şekil 5.13'teki anten yapısı için yatay ve dikey olarak yerleştirilebilecek toplam tel sayısı $6 \times 7 \times 2 = 84$ 'tür. Şekilde anteni ifade eden kromozomu oluşturan genlerden ilk beşinin değeri ve bu genlerin ifade ettikleri tellerin konumları belirtilmiştir.



Şekil 5.13 Karıştırıcı tel anteni oluşturan yapı

Karıştırıcı anten GSM-900, GSM-1800 ve GSM-1900 frekans bantları içerisinde yer alan belirli frekanslarda optimize edilmiştir. Bu frekans bantlarının kullanım şekli Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

| Sistem | Bant | Yer-Uydu Bağı (MHz) | Uydu-Yer Bağı (MHz) | Kanal Numarası |
|----------|------|---------------------|---------------------|----------------|
| GSM-900 | 900 | 890.0 - 915.0 | 935.0 - 960.0 | 1 - 124 |
| GSM-1800 | 1800 | 1710.0 - 1785.0 | 1805.0 - 1880.0 | 512 - 885 |
| GSM-1900 | 1900 | 1850.0 - 1910.0 | 1930.0 - 1990.0 | 512 - 810 |

Çizelge 5.2 GSM frekans bantları

Optimizasyon parametreleri belirlenirken Çizelge 5.2’de belirtilen 3 bantlı cep telefonu frekanslarında 3’ün altında VSWR ve $\theta=[70^\circ \ 80^\circ \ 90^\circ]$ düzlemlerinde tüm yönlü yayılım hedeflenmiştir. Maliyet fonksiyonu (MF) Eşitlik (5.3)’te verilmiştir.

$$MF = \sum_f \left(\frac{\sum_{\theta} \left(\sum_{\phi} (\text{Kazanç}(\theta, \phi, f) - \text{Ort.Kazanç}(\theta, f))^2 \right)}{\text{Toplam } \theta \text{ sayısı}} + C.VSWR(f) \right) \quad (5.3a)$$

$$\text{Ort. Kazanç}(\theta, f) = \frac{\sum_{\phi} \text{Kazanç}(\theta, \phi, f)}{\text{Toplam } \phi \text{ sayısı}} \quad (5.3b)$$

$$VSWR \leq 3 \Rightarrow C = 0.1, \quad VSWR > 3 \Rightarrow C = 1 \quad (5.3c)$$

Örnekleme frekansları: 890, 960, 1710, 1755 ve 1880 MHz'tir. Algoritma ile her bir anten tasarımının, tüm bu frekanslarda benzetimi yapılmaktadır. Maliyet fonksiyonu, bu frekanslardaki kazanç ve VSWR değerlerinin bir fonksiyonudur. Maliyet fonksiyonundaki C katsayısı, VSWR 3'ün altında olduğunda 0.1'e, 3'ün üstünde olduğunda 1'e eşitlenerek, VSWR değeri 3'ün altında olan anten tasarımlarının seçilme olasılığı arttırılmaktadır. Her bir antenin maliyet fonksiyonu belirlenirken $\theta=70^\circ, 80^\circ, 90^\circ$ düzlemlerinde, $\phi=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$ için kazanç değerleri hesaplanmaktadır. Her bir sabit θ düzleminde ϕ 'ye göre kazanç değişiminin en küçültülmesi amaçlanmıştır. Eşitlik (5.3)'te ortalama kazanç, her bir θ açısı için ϕ 'ye göre değişen kazanç değerlerinin ortalamasıdır.

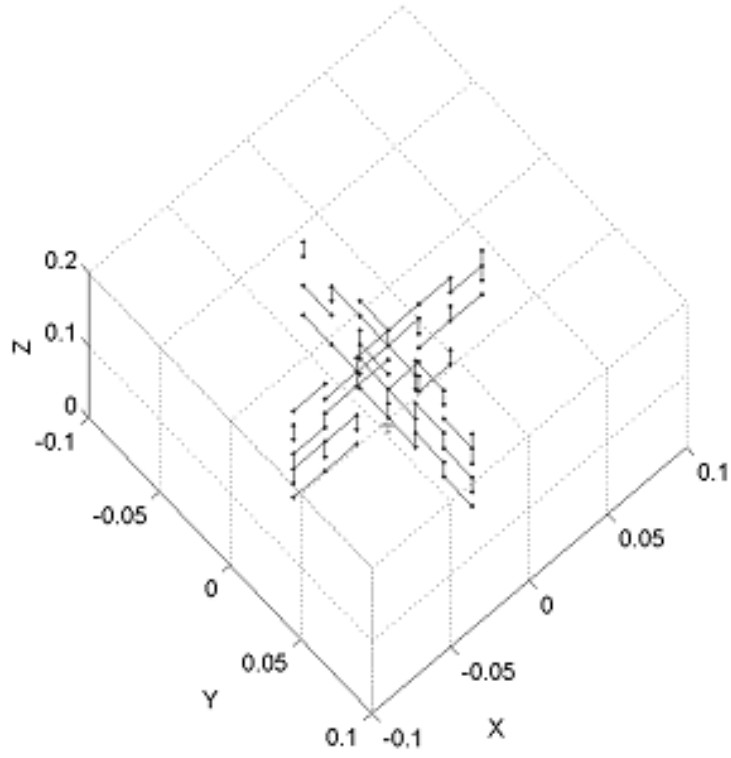
Algoritmanın başında çerçevelerin ve tellerin boyutları belirlenmektedir. İlk olarak çerçeve boyutu 16 cm x 16 cm olan 2 cm boyutlu tellerden oluşan tasarımlar yapılmıştır. İkinci olarak çerçeve boyutu 12 cm x 12 cm olan 1.5 cm boyutlu tellerden oluşan tasarımlar yapılmıştır. Son tasarımlar ise çerçeve boyutu 12 cm x 12 cm olan 2 cm boyutlu tellerden oluşmaktadır. Bu tasarımlar arasında VSWR değerleri göz önüne alındığında en iyi sonuç, çerçeve boyutu 12 cm x 12 cm olan 2 cm boyutlu tellerden oluşan anten tasarımında elde edilmiştir. Işıma örüntüsü göz önüne alındığında ise en iyi sonuç, çerçeve boyutu

12 cm x 12 cm olan 1.5 cm boyutlu tellerden oluşan anten tasarımında elde edilmiştir. Bu bölümde her iki tasarımın benzetim sonuçları gösterilecektir.

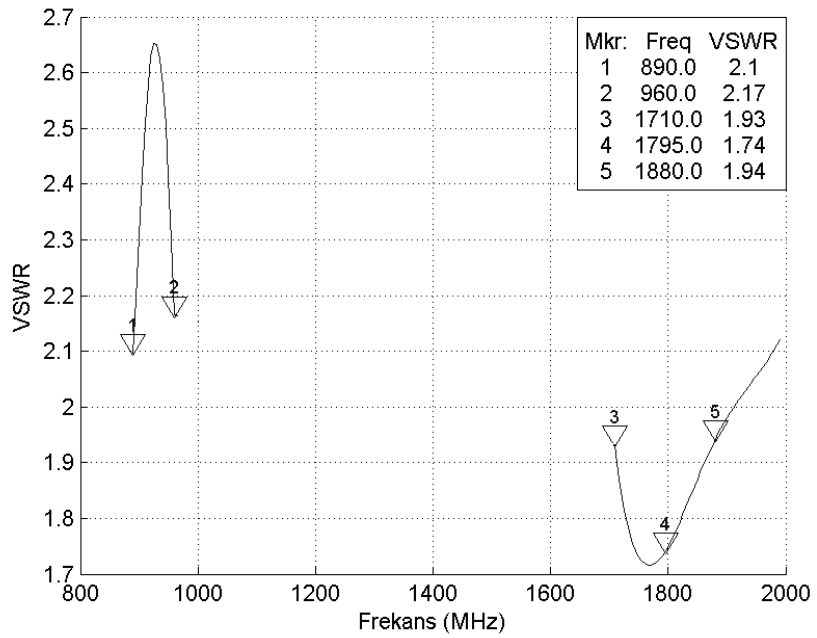
Popülasyon 500 kromozomdan oluşturulmuştur. Seçim yöntemi olarak popülasyon küçültme kullanılmıştır. Tellerin yarıçapı 1 mm'dir. Popülasyondaki kromozomların en iyi %40'ı bir sonraki nesle aktarılırken, bu yeni popülasyonu oluşturan kromozomların %60'ı, önceki popülasyondaki kromozomların çaprazlanması ve mutasyona uğratılması sonucu oluşturulmuştur. Mutasyon olasılığı %0.2 olarak belirlenmiştir. Toplam 90 nesil oluşturulduğunda algoritma sonlandırılmıştır.

Algoritma sonucunda elde edilen 2 cm'lik tellerden oluşan 12 cm x 12 cm boyutundaki genetik anten Şekil 5.14'te gösterilmiştir. Bu anten için iki çerçeve üzerine yerleştirilebilecek toplam tel sayısı $6 \times 7 \times 2 \times 2 - 6 = 162$ 'dir. Her bir kromozom toplam 162 bitten oluşmaktadır. Her bir gen, bir telin olma ya da olmama (1 ya da 0) durumunu ifade eder. Anten, iki adet dielektrik çerçeve üzerine yerleştirilecek şekilde tasarlanmıştır.

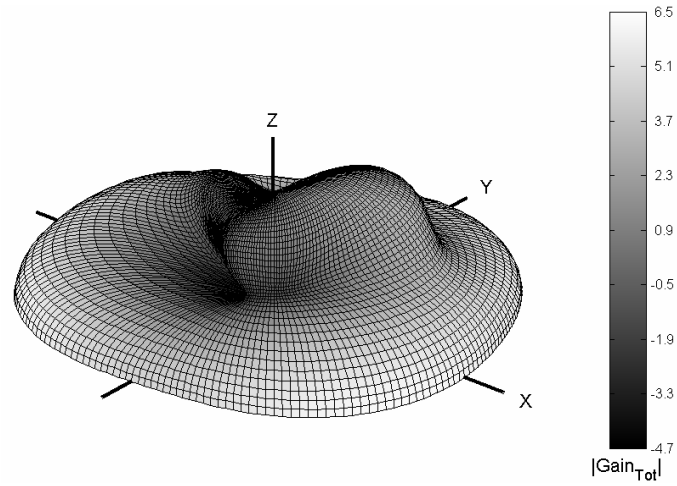
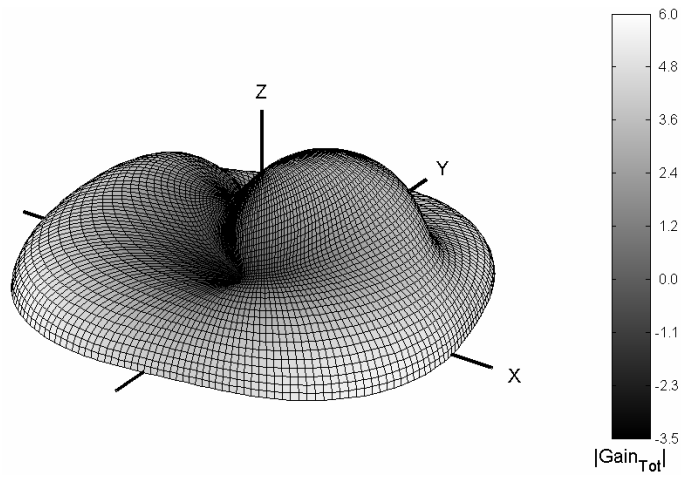
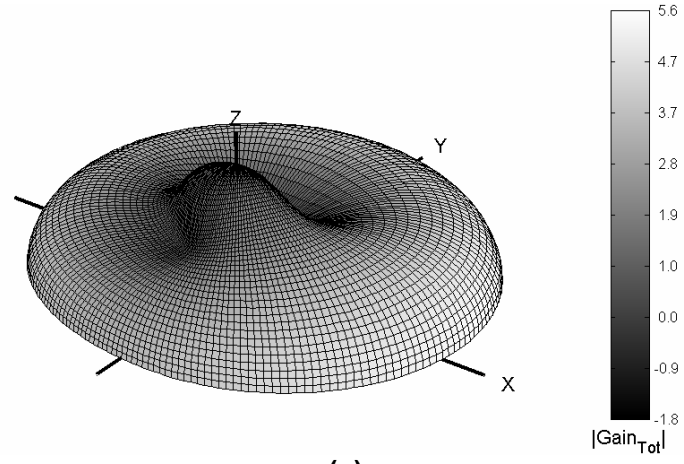
Şekil 5.15'te, Şekil 5.14'teki genetik antenin frekansa göre VSWR değişimi gösterilmiştir. Benzetim frekanslar, 3 bantlı cep telefonu frekanslarını kapsayacak şekilde 890 MHz - 960 MHz ve 1710 MHz - 1990 MHz aralıklarında alınmıştır. VSWR değerlerinin bu frekans aralığında 2.7'nin altında olduğu görülmektedir. Optimizasyon frekanslarında ise VSWR en yüksek 2.17 değerini almaktadır.



Şekil 5.14 Örnek 5



Şekil 5.15 Örnek 5'in frekansa göre VSWR değişimi

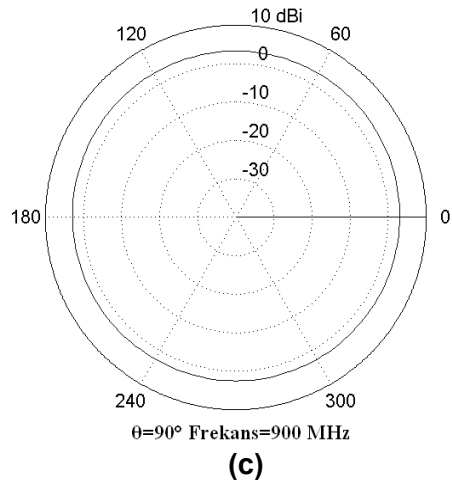
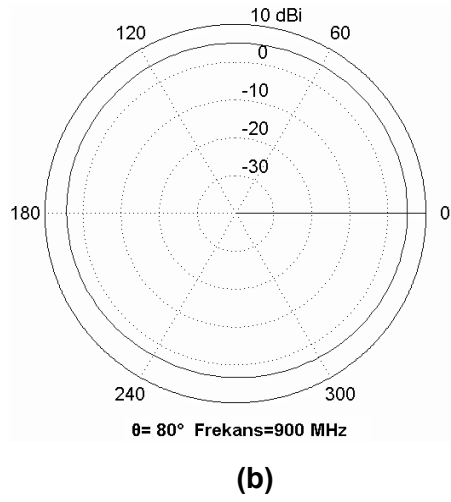
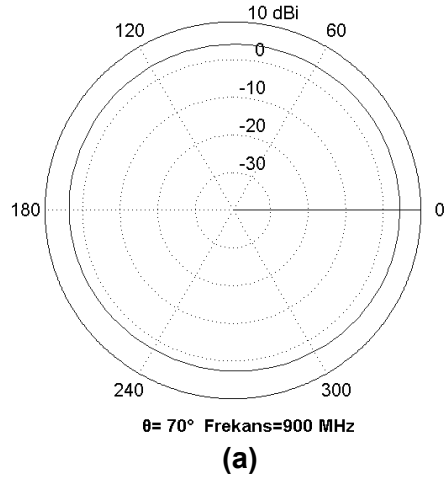


Şekil 5.16 Örnek 5 için 3 boyutlu ışınma örüntüleri

(a) 900 MHz için ışınma örüntüsü

(b) 1800 MHz için ışınma örüntüsü

(c) 1900 MHz için ışınma örüntüsü

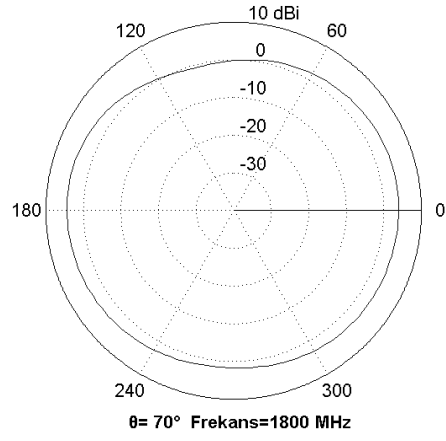


Şekil 5.17 Örnek 5 için 900 MHz için 2 boyutlu ışınma örüntüleri

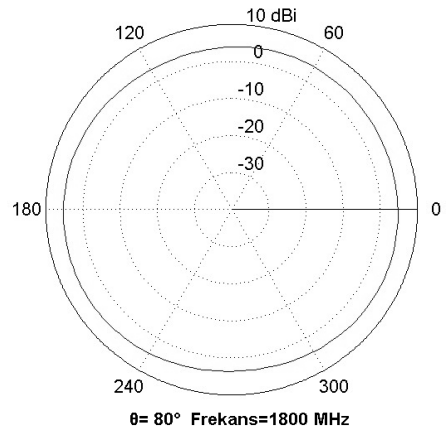
(a) $\theta = 70^\circ$ düzlemi için ışınma örüntüsü

(b) $\theta = 80^\circ$ düzlemi için ışınma örüntüsü

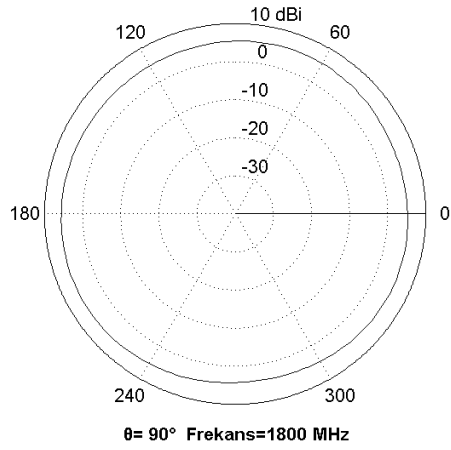
(c) $\theta = 90^\circ$ düzlemi için ışınma örüntüsü



(a)



(b)



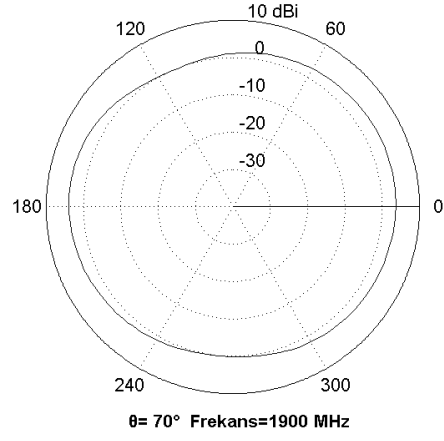
(c)

Şekil 5.18 Örnek 5 için 1800 MHz'deki 2 boyutlu ışıma örüntüleri

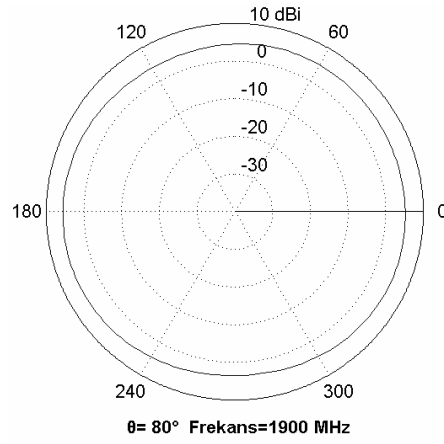
(a) $\theta=70^\circ$ düzlemi için ışıma örüntüsü

(b) $\theta=80^\circ$ düzlemi için ışıma örüntüsü

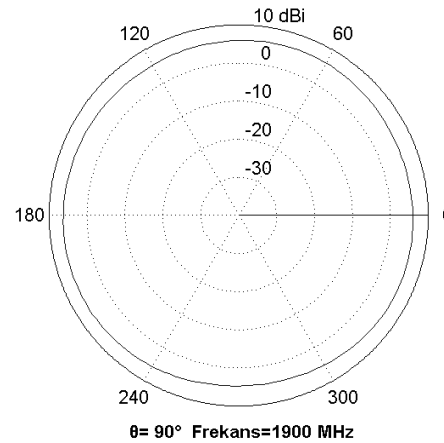
(c) $\theta=90^\circ$ düzlemi için ışıma örüntüsü



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.19 Örnek 5 için 1900 MHz'deki 2 boyutlu ışırma örüntüleri

(a) $\theta=70^\circ$ düzlemi için ışırma örüntüsü

(b) $\theta=80^\circ$ düzlemi için ışırma örüntüsü

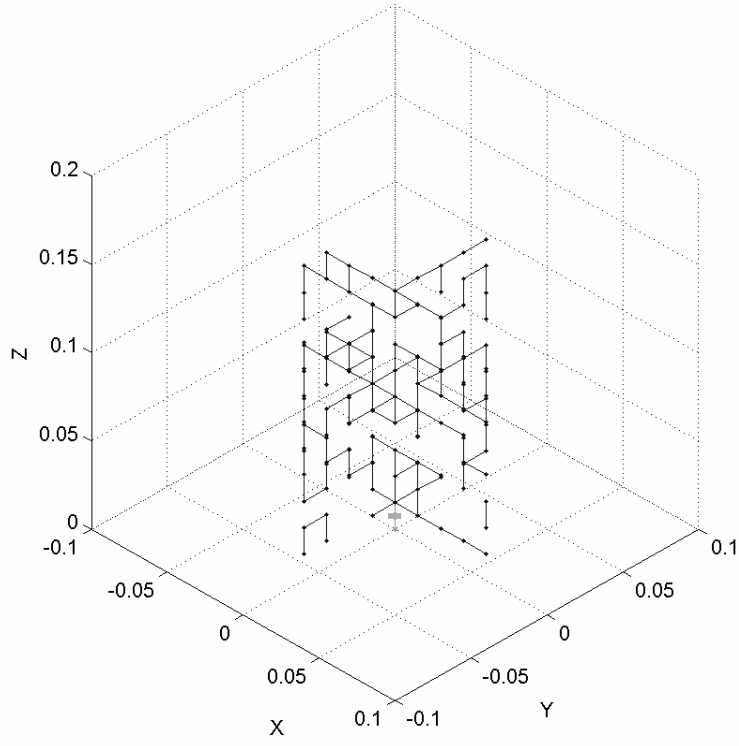
(c) $\theta=90^\circ$ düzlemi için ışırma örüntüsü

Şekil 5.16'da, Şekil 5.14'teki genetik antenin 900 MHz, 1800 MHz ve 1900 MHz için 3 boyutlu ışınma örüntüleri gösterilmiştir. Şekil 5.17, Şekil 5.18 ve Şekil 5.19'da ise aynı frekanslarda, $\theta=70^\circ, 80^\circ, 90^\circ$ kesitleri için 2 boyutlu ışınma örüntüleri gösterilmiştir. İstenene en yakın ışınma örüntüsü antenin elektriksel boyutunun küçük olduğu 900 MHz ve civarında görülmekte ve antenin elektriksel boyutu arttıkça sabit θ yüzeylerindeki kazanç değerlerindeki değişim artmaktadır. Işınma örüntüleri incelendiğinde ϕ 'ye göre kazanç değişimlerinin; 900 MHz için 2dB'nin altında, 1800 MHz için $\theta=80^\circ, 90^\circ$ kesitlerinde 2dB'nin altında, $\theta=70^\circ$ için 5dB'nin altında, 1900 MHz için $\theta=80^\circ, 90^\circ$ kesitlerinde 2dB'nin altında, $\theta=70^\circ$ için 4dB'nin altında olduğu gözlemlenmektedir.

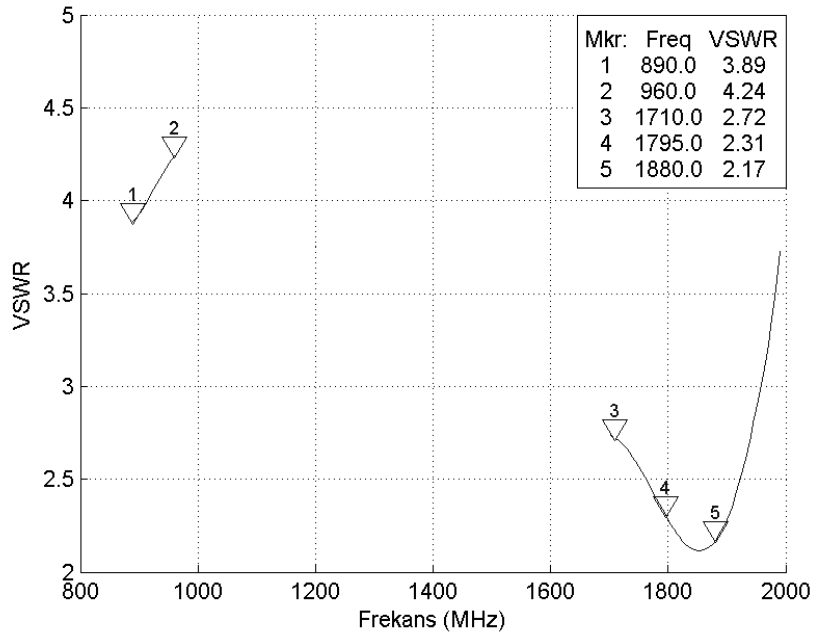
Şekil 5.20'de, algoritma sonucunda elde edilen 1.5 cm'lik tellerden oluşan 12cmx12cm boyutundaki genetik anten gösterilmiştir. Bu anten için iki çerçeve üzerine yerleştirilebilecek toplam tel sayısı $8 \times 9 \times 2 \times 2 - 8 = 280$ 'dir. Her bir kromozom toplam 280 bitten oluşmaktadır.

Şekil 5.21'de, Şekil 5.20'deki genetik antenin frekansa göre VSWR değişimi gösterilmiştir. Benzetim frekansları, 3 bantlı cep telefonu frekanslarını kapsayacak şekilde 890 MHz - 960 MHz ve 1710 MHz - 1990 MHz aralıklarında alınmıştır. VSWR değerlerinin bu frekans aralığında 4.24'ün altında olduğu görülmektedir.

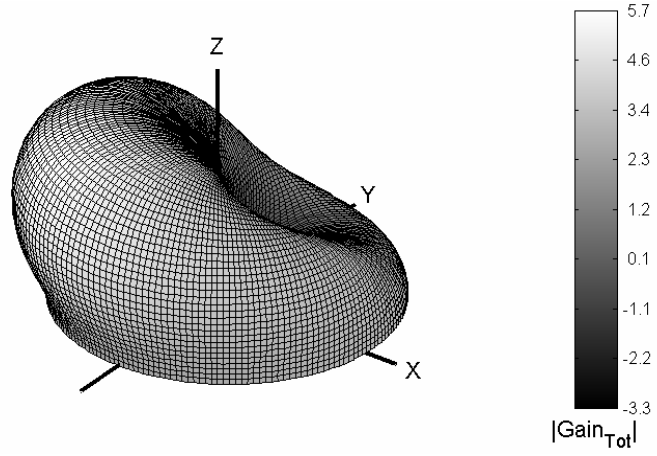
Şekil 5.22'de Şekil 5.20'deki cep telefonu karıştırıcı genetik antenin 900 MHz, 1800 MHz ve 1900 MHz için 3 boyutlu ışınma örüntüleri gösterilmiştir. Şekil 5.23, Şekil 5.24 ve Şekil 5.25'te ise aynı frekanslarda, $\theta=70^\circ, 80^\circ, 90^\circ$ kesitleri için 2 boyutlu ışınma örüntüleri gösterilmiştir. Işınma örüntüleri incelendiğinde ϕ 'ye göre kazanç değişimlerinin; 900 MHz ve 1800 MHz için 1.9dB'nin altında, 1900 MHz için 2.8dB'nin altında olduğu gözlemlenmektedir.



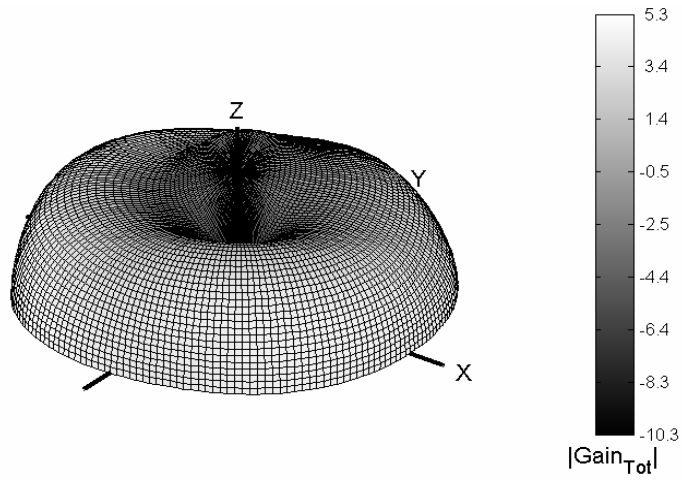
Şekil 5.20 Örnek 6



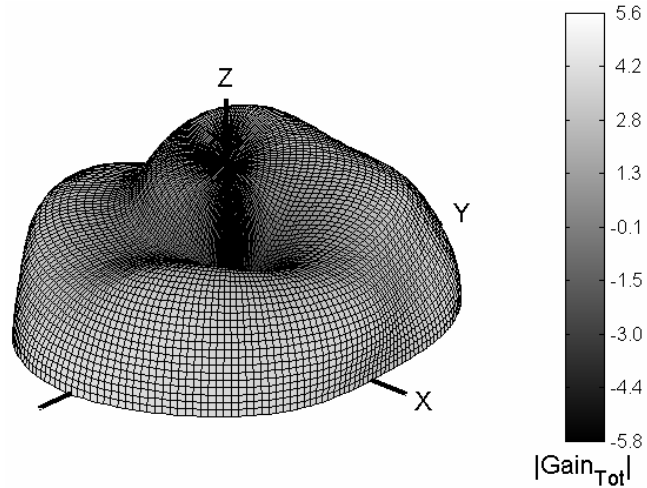
Şekil 5.21 Örnek 6'nın frekansa göre VSWR değişimi



(a)



(b)



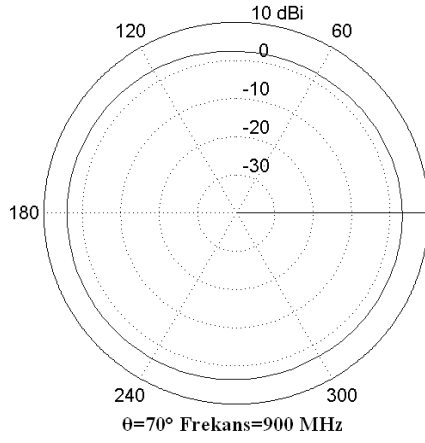
(c)

Şekil 5.22 Örnek 6 için 3 boyutlu ışıma örüntüleri

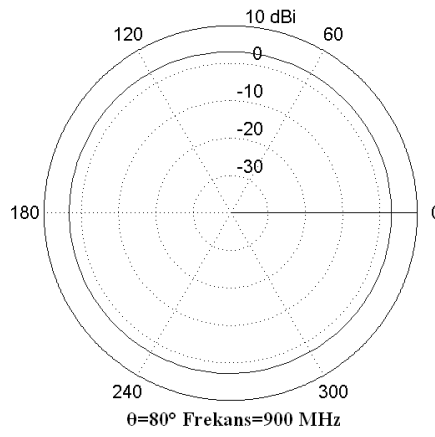
(a) 900 MHz için ışıma örüntüsü

(b) 1800 MHz için ışıma örüntüsü

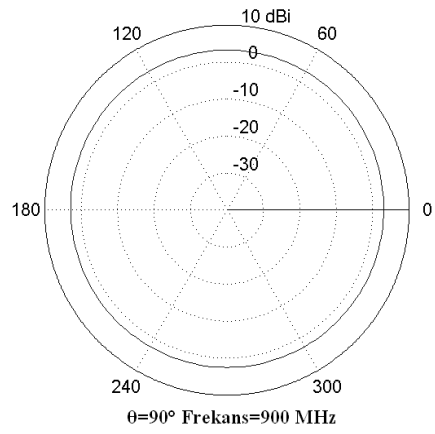
(c) 1900 MHz için ışıma örüntüsü



(a)



(b)



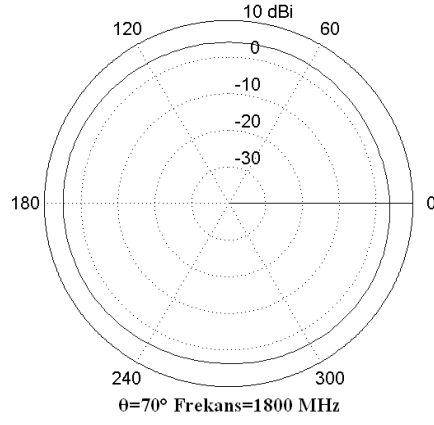
(c)

Şekil 5.23 Örnek 6 için 900 MHz'deki 2 boyutlu ışıma örüntüleri

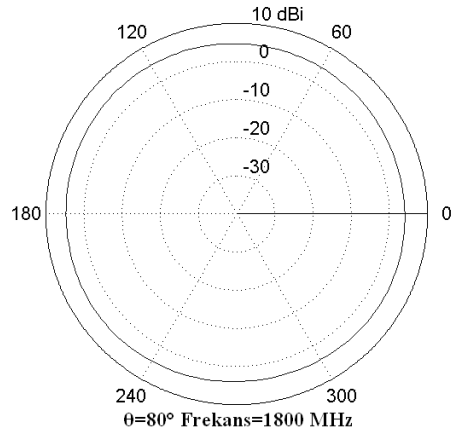
(a) $\theta=70^\circ$ düzlemi için ışıma örüntüsü

(b) $\theta=80^\circ$ düzlemi için ışıma örüntüsü

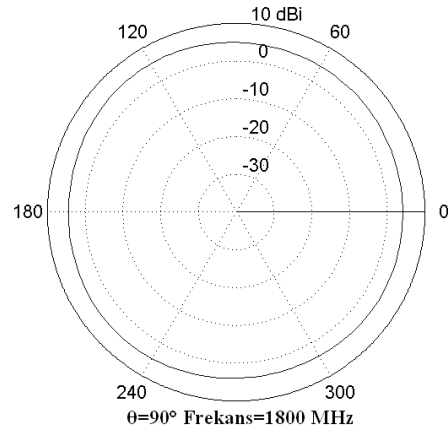
(c) $\theta=90^\circ$ düzlemi için ışıma örüntüsü



(a)



(b)



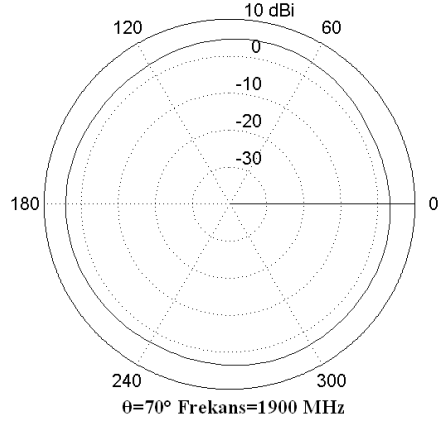
(c)

Şekil 5.24 Örnek 6 için 1800 MHz'deki 2 boyutlu ışıma örüntüleri

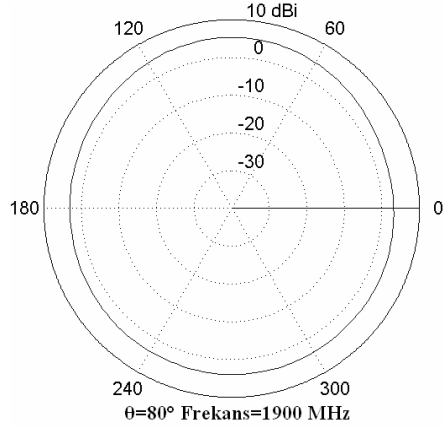
(a) $\theta=70^\circ$ düzlemi için ışıma örüntüsü

(b) $\theta=80^\circ$ düzlemi için ışıma örüntüsü

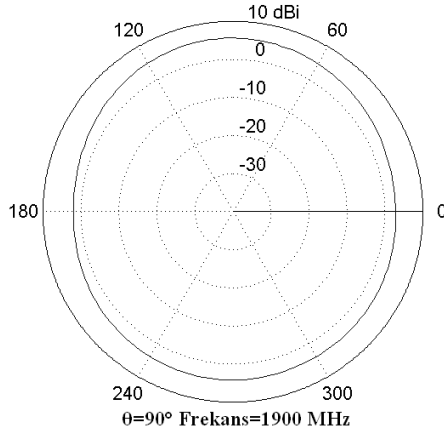
(c) $\theta=90^\circ$ düzlemi için ışıma örüntüsü



(a)



(b)



(c)

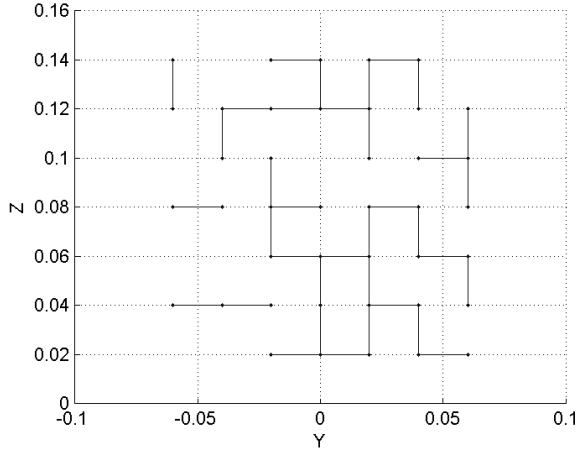
Şekil 5.25 Örnek 6 için 1900 MHz'deki 2 boyutlu ışıma örüntüleri

(a) $\theta=70^\circ$ düzlemi için ışıma örüntüsü

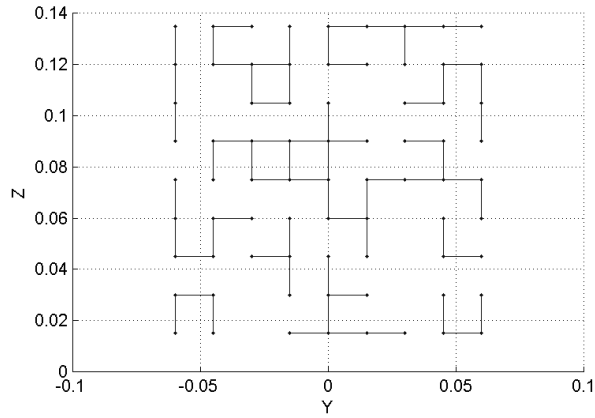
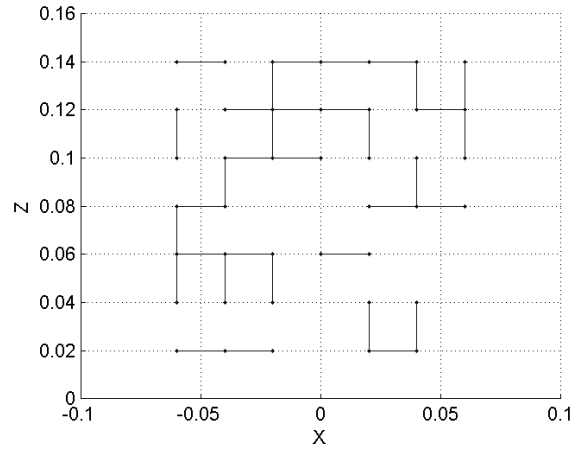
(b) $\theta=80^\circ$ düzlemi için ışıma örüntüsü

(c) $\theta=90^\circ$ düzlemi için ışıma örüntüsü

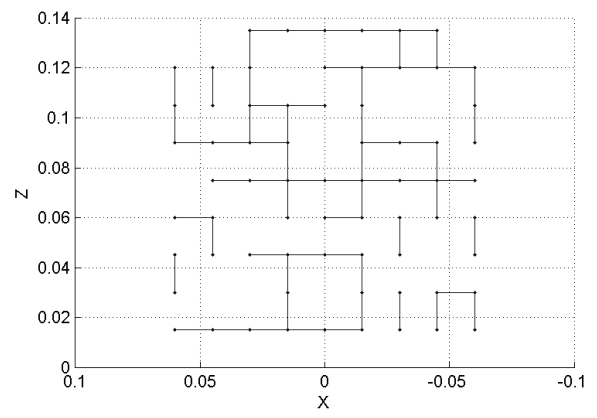
Şekil 5.26 (a) ve Şekil 5.26 (b)'de örnek 5 ve örnek 7'yi oluşturan yapılar gösterilmiştir. Antenler, bu yapıların z ekseninde birbirine dik olarak yerleştirilmesiyle meydana gelir. Teller arasına yerleştirilecek dielektrik çerçeve yardımıyla tellerin bir arada tutulması amaçlanmıştır. Şekil 5.26 (a)'daki tellerin boyu 2 cm'dir. Şekil 5.26 (b)'deki tellerin boyu ise 1.5 cm'dir.



(a)



(b)



Şekil 5.26 Karıştırıcı genetik antenleri oluşturan çerçeveler

(a) Örnek 5'i oluşturan çerçeve yapıları

(b) Örnek 6'yı oluşturan çerçeve yapıları

5.3. Genetik Tasarımın Yüklü Tel Anten Yapısına Uygulanması

Geniş bir frekans aralığı kapsamını gerektiren, haberleşme, radar uygulamaları gibi birçok alanda geniş bantlı antenlere ihtiyaç vardır. Geniş bant elde etmek için kullanılan çok sayıda anten çeşidi vardır. Dipoller, katlanmış dipoller vb. tel antenler, mikroşerit veya diğer düzlemsel antenlere göre daha yüksek bant genişliği sağlayabilmektedirler. Bununla birlikte bazı uygulamalar için, bilinen, geleneksel tel antenlerin sağladığı bant genişliği yetersiz kalabilmektedir. Bant genişliğini arttırmanın yollarından biri antene toplu ögeli empedans yerleştirmektir. Bu amaçla yapılan bir çalışmada Boag [4], bir monopolün üzerine yerleştirilen yüklerin yerinin ve değerlerinin genetik algoritma ile optimizasyonunu yaparak 15:1 gibi oldukça yüksek bant genişliğine sahip bir monopol tasarlamıştır.

Bu bölümde genetik algoritma ile tasarlanan geniş bantlı bir tel anten yapısından bahsedilecektir. Bu anten Bölüm 5.1'deki anten gibi belirli sayıda telin seri olarak birleştirilmesiyle oluşmaktadır. Bölüm 5.1'deki antenden farklı olarak, bu anten üzerinde yükler mevcuttur. Genetik algoritma ile bu yüklerin bulunduğu yerler, değerleri ve anteni oluşturan tellerin başlangıç ve bitiş koordinatları optimize edilmektedir. Benzer bir çalışma daha önce Altshuler [5] tarafından yapılmıştır.

Optimizasyonun amacı 300 MHz - 6 GHz arasında düşük VSWR değerine sahip tel anten tasarımıdır. Maliyet fonksiyonu Eşitlik (5.4)'teki gibidir.

$$\text{Maliyet fonksiyonu} = \sum_f C.VSWR(f) \quad (5.4a)$$

$$VSWR \leq 3 \Rightarrow C = 0.1, \quad VSWR > 3 \Rightarrow C = 1 \quad (5.4b)$$

Benzetim frekansları: 300, 400, 600, 900, 1200, 1800, 2400, 3000, 3600, 4200, 4800, 5400, 6000 MHz'dir. Her bir antenin tüm bu frekanslarda benzetimi yapılmaktadır. Maliyet fonksiyonundaki C katsayısı VSWR değeri 3'ün altında olduğunda 0.1'e, 3'ün üstünde olduğunda 1'e eşitlenerek VSWR değeri 3'ün altında olan antenlerin seçilme olasılığının artırılması amaçlanmıştır. Antenler sonsuz toprak düzlemi üzerinde modellenmiştir. İlk tel için başlangıç koordinatı (0,0,0) olarak belirlenmiştir ve diğer tellerin koordinatları, bir kenarı 8.5 cm olan bir küp hacminin dışına çıkmayacak şekilde genetik algoritma tarafından belirlenmektedir. 5, 6 ve 7 telden oluşan anten tasarımları yapılmıştır. Burada, en iyi sonuç veren, 7 telden oluşan anten yapısı ve benzetim sonuçları gösterilecektir.

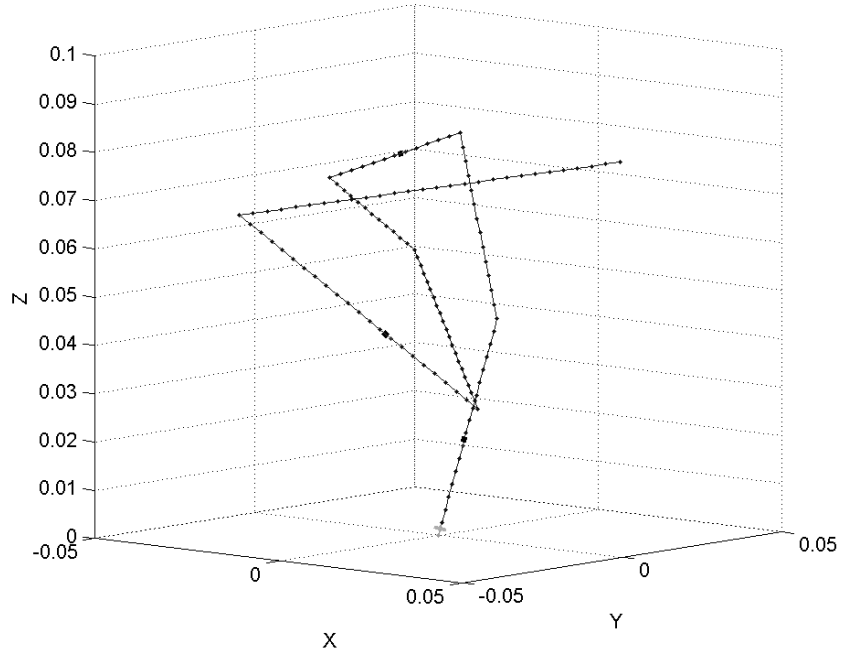
Antenlerin kaç telden oluşacağı, antenin kaplayacağı hacmin büyüklüğü ve anten üzerinde kaç yük bulunacağı başlangıçta belirtilirken, tellerin boyutları, koordinatları, teller üzerindeki yüklerin değerleri ve bulunacağı yerler genetik algoritma tarafından belirlenmektedir. Anten üzerine yerleştirilen yükler paralel direnç, kapasitör ve bobinden oluşmaktadır. Her bir anten üzerine 3 tane paralel RLC devresi yerleştirilmektedir.

Genetik algoritmadaki her bir kromozom, her bir anteni oluşturan tellerin koordinat değerlerini, yüklerin değerlerini ve anten üzerindeki yerlerini ifade etmektedir. Kromozomları oluşturan her bir gen 7 bitten oluşmaktadır. Her bir koordinat ekseninin, yük değerinin ve yük konumunun $2^7=128$ değer alma olasılığı vardır. Yüklerin konumu belirlenirken, antenin 128 eşit parçaya bölüdüğü varsayılır ve 0 ile 127 arasındaki gen değerine karşılık gelen parça üzerine yük yerleştirilir. Paralel direnç, kapasitör ve bobinden oluşan yüklerin alabileceği en yüksek değerler sırasıyla 3 k Ω , 50 nF ve 3 μ H'dir. Yüklerin alabileceği en küçük değer ise 0'dır. Popülasyon 600 kromozomdan oluşmaktadır. Tellerin yarıçapı 1 mm'dir. Seçim yöntemi olarak popülasyon küçültme kullanılmıştır. Yer değiştirme yüzdesi %60 olarak belirlenmiştir. Mutasyon olasılığı %0.67 olarak belirlenmiştir. Toplam 70 nesil oluşturulduğunda yakınsayan algoritma sonlandırılmıştır.

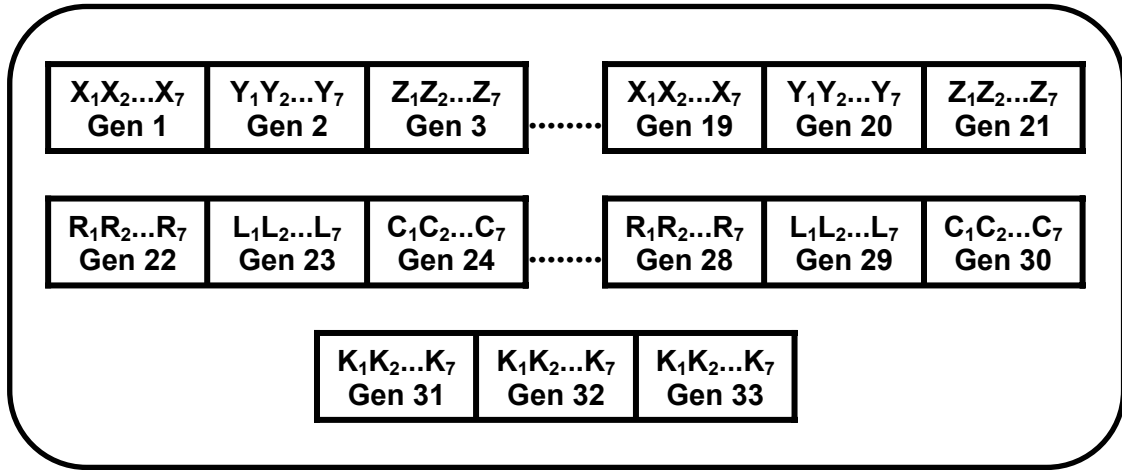
Oluşturulan her bir antenin benzetimi SuperNEC ile yapılmaktadır. Bu programda hesaplamalar için anten belirli büyüklükteki parçalara bölünür. Bu parçaların boyutu 400 MHz'de $0.004\lambda=3$ mm alınmıştır. Tellerin çakışma veya üst üste gelme durumunu önlemek için, her bir parçanın birbirine olan uzaklığı program içinde kontrol edilmektedir.

Şekil 5.27'de, optimizasyon sonucunda elde edilen, kenar boyu 8.5 cm olan bir küpün içerisine sığacak şekilde tasarlanmış anten örneği gösterilmiştir. Bu anten birbirine seri olarak bağlanmış 7 telden oluşmaktadır. Anten üzerinde paralel direnç, kapasitör ve bobinden oluşan 3 yük bulunmaktadır. Anten sonsuz bir toprak düzlemi üzerinde modellenmekte ve başlangıç koordinatı (0,0,0) olan tel parçası üzerine yerleştirilmiş bir kaynakla beslenmektedir.

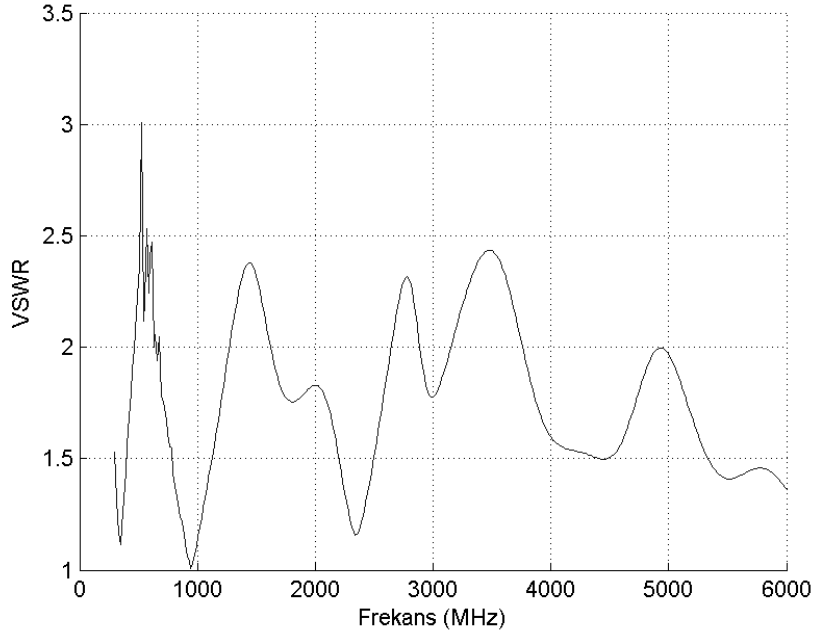
Şekil 5.28'de bu anteni ifade eden kromozom yapısı gösterilmiştir. Her bir gen 7 bitten oluşmaktadır. Antenin başlangıç koordinatı belirli olduğundan, 7 telden oluşan anten, 7 koordinat değeriyle ifade edilmektedir. Her bir koordinat değeri 3 eksen değeriyle ifade edildiğinden 7 koordinat değeri için $3 \times 7 = 21$ gen kullanılmıştır. Anten üzerine yerleştirilen üçer tane direnç, kapasitör ve bobinden oluşan yüklerin değerlerini belirtmek üzere 9 tane gen kullanılmıştır. Bu 3 yükün konumlarını belirtmek üzere ise 3 tane gen kullanılmıştır. Her bir kromozom toplam 33 genden oluşmaktadır.



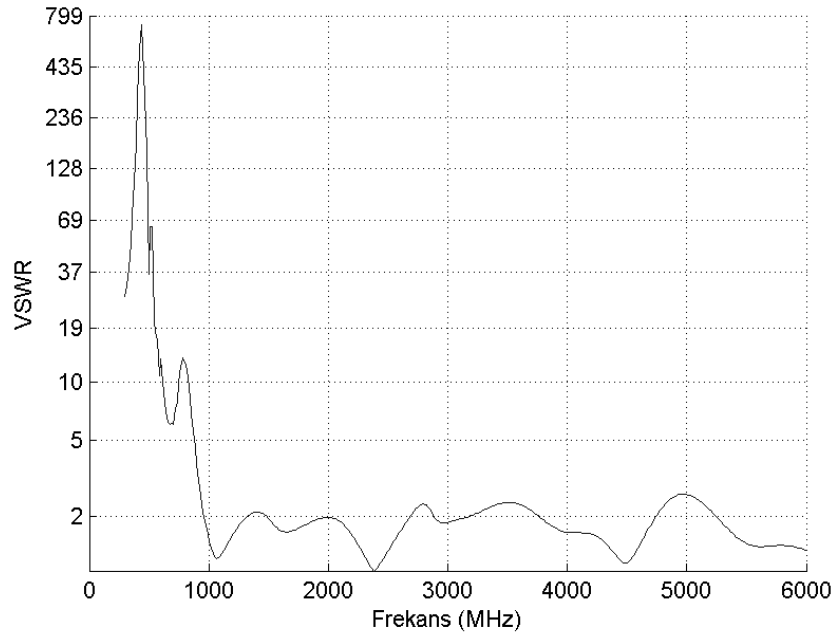
Şekil 5.27 Örnek 7



Şekil 5.28 Kromozom yapısı



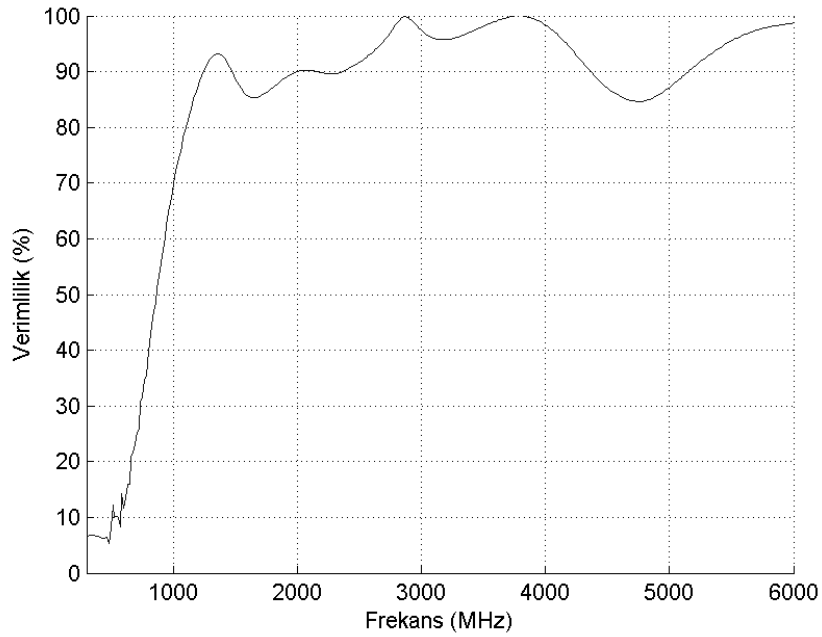
(a)



(b)

Şekil 5.29 (a) Örnek 7'nin frekansa göre VSWR değişimi
(b) Örnek 7'nin, yükler kaldırıldığında, frekansa göre VSWR değişimi

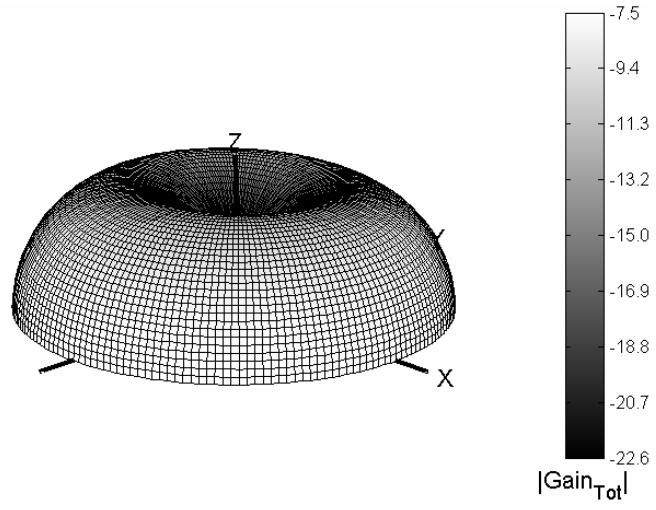
Şekil 5.29 (a)'da, Şekil 5.27'deki antenin 300 MHz - 6 GHz aralığındaki VSWR değişimi gösterilmiştir. VSWR değerleri 150Ω değerindeki karakteristik empedansa göre hesaplanmıştır. Bu frekans aralığında VSWR değerinin 3'ün altında olduğu görülmektedir. Şekil 5.29 (b)'de ise, anten üzerindeki yükler kaldırıldığında, aynı frekans aralığında, frekansa göre VSWR değişimi gösterilmiştir. Antenin elektriksel boyutunun küçük olduğu düşük frekanslarda yüklü genetik antenin VSWR değerinin yüksüz antene göre oldukça düşük olduğu görülmektedir.



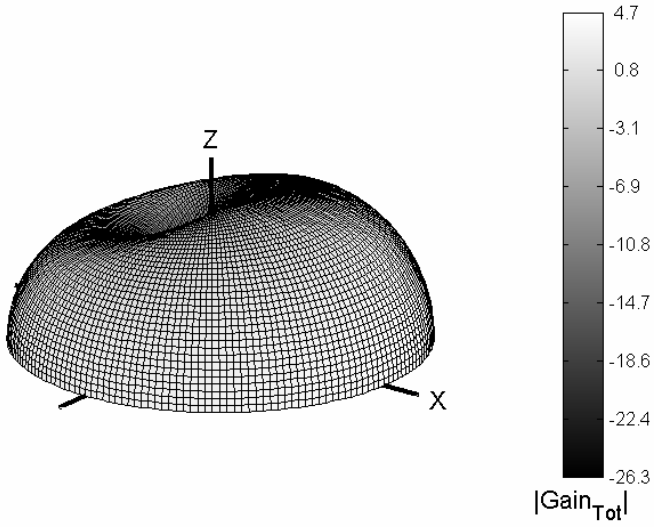
Şekil 5.30 Örnek 7'nin frekansa göre verimlilik değişimi

Şekil 5.30'da, Örnek 7'nin frekansa göre verimlilik değerinin değişimi gösterilmiştir. Verimliliğin 1.1 GHz'in altında %6'ya kadar düştüğü, 1.1 GHz'den sonra %85'in üzerinde olduğu görülmektedir.

Şekil 5.31 ve Şekil 5.32'de ise antenin 300 MHz, 1 GHz, 3 GHz ve 6 GHz için ışınma örüntüleri gösterilmiştir. Bu çalışmada yalnızca VSWR değeri optimize edilmiştir. Verimlilik ve ışınma örüntüleri geliştirilmek istenirse, maliyet fonksiyonuna ilgili parametreler eklenmelidir.



(a)

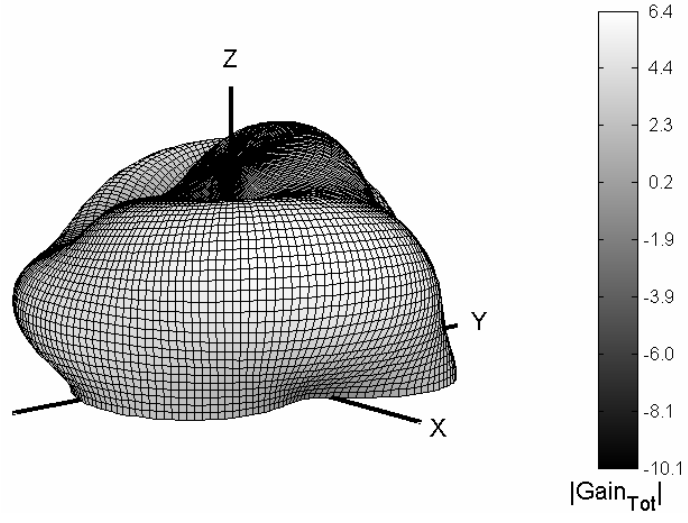


(b)

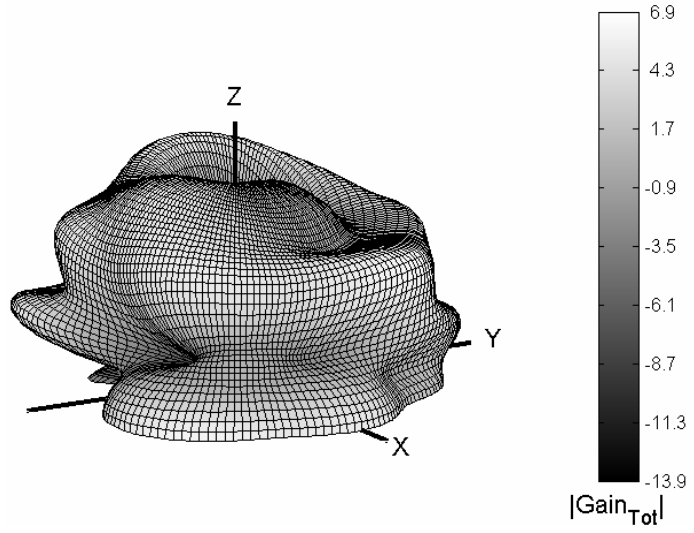
Şekil 5.31 Örnek 7 için 3 boyutlu ışırma örüntüleri

(a) 300 MHz için ışırma örüntüsü

(b) 1 GHz için ışırma örüntüsü



(a)



(b)

Şekil 5.32 Örnek 7 için 3 boyutlu ışıma örüntüleri

(a) 3 GHz için ışıma örüntüsü

(b) 6 GHz için ışıma örüntüsü

Çizelge 5.3'te, 7 telden oluşan yüklü genetik antenin tel koordinatları, teller üzerinde bulunan yüklerin değerleri ve teller üzerindeki konumları gösterilmiştir.

| Tel # | Başlangıç koordinatı | | | Bitiş koordinatı | | |
|-------|----------------------|-----------|----------|------------------|-----------|----------|
| | X | Y | Z | X | Y | Z |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0.015728 | 0.000335 | 0.04626 |
| 2 | 0.015728 | 0.000335 | 0.04626 | 0.00502 | 0.001004 | 0.083709 |
| 3 | 0.00502 | 0.001004 | 0.083709 | -0.025768 | -0.00435 | 0.072087 |
| 4 | -0.025768 | -0.00435 | 0.072087 | -0.027776 | 0.024429 | 0.054008 |
| 5 | -0.027776 | 0.024429 | 0.054008 | 0.015728 | -0.005689 | 0.028181 |
| 6 | 0.015728 | -0.005689 | 0.028181 | -0.019075 | -0.040492 | 0.068858 |
| 7 | -0.019075 | -0.040492 | 0.068858 | 0.031122 | 0.021083 | 0.077898 |

(a)

| Tel # | Yük # | Yük konumu (tel başlangıç noktasına uzaklığı (cm)) | R | L(μ H) | C(nF) |
|-------|-------|--|----------|-------------|--------|
| 1 | 1 | 2.01 | 401.5748 | 0.44882 | 34.252 |
| 3 | 2 | 1.39 | 188.9764 | 0.047244 | 29.528 |
| 6 | 3 | 2.32 | 259.8425 | 1.0157 | 0 |

(b)

Çizelge 5.3 (a) Örnek 7'nin tel koordinatları
(b) Örnek 7 üzerindeki yük değerleri ve konumları

6. SONUÇ

Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişime paralel olarak anten analizinde karmaşık yapıların analizine olanak sağlayan nümerik yöntemlerin kullanımı artmıştır. Bununla birlikte anten analizinde nümerik yöntemleri kullanan çeşitli anten optimizasyon programları geliştirilmiştir. Bu programlarla birlikte anten tasarımı daha hızlı ve daha kolay hale gelmekle birlikte tasarımla ilgili ön sezgiye ihtiyaç vardır. Genetik algoritma ile anten optimizasyonu [1,2] ise ön sezgiye gerek olmadan tamamen tümdengelimli bir yaklaşımla istenen özelliklerde anten tasarımları yapmak mümkündür [1-9]. Diğer yöntemlerle tasarlanan yapılar basit, simetrik, analizi kolay yapılarla sınırlıyken, genetik algoritma ile, diğer yöntemlerle tasarlanması mümkün olmayan çok çeşitli yapılar tasarlanabilmektedir. Genetik algoritma ile anten tasarımında antenin istenen elektromanyetik özellikleri belirlenir ve bu özelliklere en yakın sonucu veren anten yapısı genetik algoritma tarafından oluşturulur.

Genetik algoritmanın tel anten tasarımına uygulanmasıyla ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda yüklü monopol, Yagi anten ve bükük tel anten tasarımları yapılmıştır [3-9]. Bu antenlerin analizi moment yöntemi ve moment yöntemini kullanan NEC [10] ile yapılmıştır. NEC ile anten analizinde, genetik algoritma anten parametrelerini ve benzetim ayarlarını bir dosyaya kaydeder. NEC bu parametrelerin ifade ettiği yapıyı oluşturarak benzetimini yapar ve elde edilen benzetim sonuçlarını bir dosyaya kaydeder. Genetik algoritma bu dosyayı okur ve benzetim sonuçlarını değerlendirir.

Bu tez çalışmasında çeşitli tel antenler tasarlamak üzere, MATLAB ortamında genetik algoritma yazılımları geliştirilmiştir. Algoritma SuperNEC [11] adlı elektromanyetik benzetim programı ile birlikte çalışmaktadır. SuperNEC anten analizleri için moment yöntemini kullanır.

Bu çalışmada 3 çeşit anten tasarımı yapılmıştır. Antenlerin performansı kazanç ve/veya duran dalga oranı değerleriyle belirlenmiştir. Tasarlanan ilk anten

yapısı elektriksel olarak küçük, kendinden rezonant tel antenlerdir [6]. Bu antenler, birbirine seri olarak bağlanmış, tellerden oluşmaktadır. Bir kenarı 0.041λ ile 0.1λ arasında değişen küp hacmine sığan 4 tane anten tasarımı yapılmıştır. Tüm boyutlarda 400 MHz civarında rezonansa giren antenler elde edilmiştir. Küplerin kenar boyu 0.041λ ile 0.1λ arasında değişirken antenlerin duran dalga oranı değeri 29.4 ile 3.36 arasında, kalite faktörü Q değeri ise 171 ile 16 arasında değişmektedir.

3 bantlı cep telefonu frekanslarını bastırmak üzere tasarlanan ikinci anten yapısı ise birbirine dik iki adet kare çerçeve üzerine yerleştirilen tellerden oluşmaktadır. Bu yapıda iki tane anten örneği gösterilmiştir. Cep telefonu frekans aralığındaki duran dalga oranı ilk tasarım için en yüksek 2.7, ikinci tasarım içinse en yüksek 4.24 değerini almaktadır. 900 MHz, 1800 MHz ve 1900 MHz için ışınma örüntüleri incelendiğinde $\theta=70^\circ$, 80° , 90° düzlemlerinde ϕ 'ye göre kazanç değişiminin ilk tasarım için 5dB'nin altında, ikinci tasarım için ise 2.8dB'nin altında olduğu gözlemlenmiştir.

Tasarlanan üçüncü anten yapısı ilk tasarımlarda olduğu gibi birbirine seri olarak birleştirilmiş tellerden oluşmakta fakat bu teller üzerine yerleştirilmiş yükler bulunmaktadır [5]. Bu anten tasarımında geniş bir bantta düşük duran dalga oranı amaçlanmıştır. Elde edilen antenin duran dalga oranı 300 MHz – 6000 MHz arasında 3'ün altındadır.

Çalışmada geliştirilen antenlerin alışlagelmiş antenler ile karşılaştırılması olanaklı değildir. Bunun nedeni, alışlagelmiş antenlerin başarımının genetik antenlere göre daha düşük olmasıdır. Genetik antenlerin başarımı, benzer veya daha gelişkin optimizasyon yöntemleri ile elde edilebilir ve geliştirilebilir.

Bu çalışmada geliştirilen yazılımlarda genetik algoritmanın genel yapısı aynı kalmakta, kromozomların yapısı, maliyet fonksiyonu, benzetim ayarları gibi birtakım özellikler değişmektedir. İleriki çalışmalarda aynı yazılımlar, farklı amaçlı ve farklı yapılarıdaki tasarımlara uygun şekilde uyarlanarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR LİSTESİ

- [1] RAHMAT-SAMII, Yahya and MICHIELSSEN, Eric, Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms, New York: Wiley, 1999.
- [2] WEILE, Daniel S. and MICHIELSSEN Eric, Genetic Algorithm Optimization Applied to Electromagnetics: A Review, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 45, no.3, pp. 343-353, 1997
- [3] ALTMAN, Zwi, MITTRA, Raj and BOAG, Alona, New Designs of Ultra Wide-Band Communication Antennas Using a Genetic Algorithm, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 45, no.10, pp. 1494-1501, 1997.
- [4] BOAG, Alona, BOAG, Amir, MICHIELSSEN, Eric and MITTRA Raj, Design of Electrically Loaded Wire Antennas Using Genetic Algorithms, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 44, no.5, pp. 687-695, 1996.
- [5] ALTSHULER, Edward E. and LINDEN, Derek S., An Ultrawide-Band Impedance-Loaded Genetic Antenna, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 52, no. 11, pp. 3147-3150, 2004.
- [6] ALTSHULER, Edward E., Electrically Small Self-Resonant Wire Antennas Optimized Using a Genetic Algorithm, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 50, no.3, pp. 297-300, 2002.
- [7] ALTSHULER, Edward E., Design of a Vehicular Antenna for GPS/IRIDIUM Using a Genetic Algorithm, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 48, no.6, pp. 968-972, 2000.
- [8] ALTSHULER, Edward E. and LINDEN, Derek S., Wire-Antenna Designs Using Genetic Algorithms, IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 39, no. 2, pp. 33-43, 1997a.
- [9] ALTSHULER, Edward E. and LINDEN, Derek S., Design of a Loaded Monopole Having Hemispherical Coverage Using a Genetic Algorithm, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 45, no.1, pp. 1-4, 1997b.

- [10] BURKE, G., POGGIO, A., LOGAN, J., ROCKWAY, J., NEC - Numerical Electromagnetics Code for Antennas and Scattering, Antennas and Propagation Society International Symposium, vol., pp. 147-150, 1979.
- [11] FOURIE, André and NITCH, Derek, SuperNEC: Antenna and Indoor-Propagation Simulation Program, IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 42, no. 3, pp. 31-48, 2000.
- [12] BALANIS, Constantine A, Antenna Theory: Analysis and Design, New York: Wiley, 2005.
- [13] HARRINGTON, Roger F., Field Computation by Moment Methods, New York: IEEE Press, 1993.
- [14] WANG, Johnson J.H., Generalized Moment Methods in Electromagnetics, New York: Wiley, 1991.
- [15] HARRINGTON, Roger F., Matrix Methods for Field Problems, Proc. IEEE, Vol. 55, no. 2, pp. 136-149, 1967.
- [16] BUTLER, C. M. and WILTON, D. R., Analysis of Various Numerical Techniques Applied to Thin-Wire Scatterers, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 23, no. 4, pp. 534-540, 1975.
- [17] RICHMOND, J. H. and GEARY, N. H., Mutual Impedance Between Coplanar-Skew Dipoles, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 18, no. 3, pp. 414-416, 1970.
- [18] ALBERTSEN, N. C., HANSEN, J. E. and JENSEN, N. E., Computation of Radiation from Wire Antennas on Conducting Bodies, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 22, pp. 200-206, 1974.
- [19] SARKAR, T. K., A Note on the Choice Weighting Functions in the Method of Moments, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 33, no. 4, pp. 436-441, 1985.

- [20] WILTON, D. R., BUTLER, C. M., Efficient numerical techniques for solving Pocklington's equation and their relationships to other methods, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 24, no. 1, pp. 83-86, 1976.
- [21] THIELE, G. A., DETWEILER, P. L., PENNO, R. P., On the lower bound of the radiation Q for electrically small antennas, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 51, no. 6, pp. 1263-1269, 2003.
- [22] GEYI, W., A method for the evaluation of small antenna Q, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 51, no. 8, pp. 2124-2129, 2003.
- [23] WHEELER, H. A., Small Antennas, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 23, no. 4, pp. 462-469, 1973.
- [24] WHEELER, H. A., Fundamental Limitations of Small Antennas, Proceedings of the IRE, vol. 35, no. 12, pp. 1479-1484, 1947.

SÖZLÜK

| | |
|-------------------|---------------------------------|
| Açılım fonksiyonu | :Expansion function |
| Çaprazlama | :Crossover |
| Değer kümesi | :Range |
| Duran dalga oranı | :Voltage standing wave ratio |
| Dürtü fonksiyonu | :Dirac function, delta function |
| Dürüm | :Iteration |
| Gerekirci | :Deterministic |
| Işıma örüntüsü | :Radiation pattern |
| Karıştırıcı | :Jammer |
| Mikroşerit | :Microstrip |
| Nokta uyumlama | :Point matching |
| Sayı | :Scalar |
| Tanım kümesi | :Domain |
| Temel fonksiyon | :Basis function |
| Toplu ögeli | :Lumped |
| Uyarım, besleme | :Excitation |

EK AÇIKLAMALAR

SuperNEC ile anten analizinde en çok dikkat edilmesi gereken konulardan biri, modeli oluşturan parçaların boyutudur. Bu parçaların boyu belirli değerlerin altında alındığında hesaplanan akım değerlerinde, dolayısıyla diğer benzetim sonuçlarında salınımlar meydana gelmektedir. Aynı zamanda parça boyutu azaldıkça moment yöntemi ile elde edilen matris boyutu arttığından, optimizasyon süresi uzamaktadır. Parça boyutu belirli değerlerin üstünde olduğunda ise SuperNEC doğru sonuçlar verememektedir. Bu tez çalışmasında antenlerin parça boyutları tüm bu durumlar göz önüne alınarak belirlenmiştir. Çalışmada tasarlanan küçük tel anten yapıları (Örnek 1 – Örnek 4, Örnek 7) elektriksel olarak küçük antenler olduğundan, doğru sonuçlar elde edilebilmesi için, parça boyutunun alabileceği değer aralığı oldukça sınırlıdır. Bu tasarımlar için modelleme frekansı 400 MHz olarak belirlenmiş ve bu frekanstaki parça boyu 0.004λ alınmıştır. Bu değer altındaki ve üstündeki parça boyutları (örneğin 0.003λ ve 0.005λ) için, benzetim sonuçlarında hatalar meydana gelmektedir. Nümerik analiz ile doğru sonuç elde edilebilmesi için gereken parça boyutu gibi sınırlamalar belirli boyutun altındaki antenlerin analizine imkan vermemektedir. Bu tez çalışmasında tasarlanan en küçük antenler 0.04λ boyutundadır.

Bu tez çalışmasında çeşitli optimizasyon parametreleri ile tasarımlar yapılmış, sonuçlar karşılaştırılmış ve en iyi sonuç veren optimizasyon parametreleri seçilmiştir. Seçilen bu parametrelerle, her anten boyutu ve her anten çeşidi için beş ile on arasında değişen sayıda optimizasyonlar yapılmış, elde edilen en iyi tasarımlar ve bu tasarımların benzetim sonuçları gösterilmiştir. Popülasyondaki kromozom sayısı belirlenirken 100 ile 700 arasında kromozomlardan oluşan popülasyonlarla optimizasyonlar yapılmış, belirli bir değere kadar popülasyondaki kromozom sayısını arttırmanın daha iyi sonuç verdiği, belirli bir değerden sonra ise sonucu çok az etkilediği ve optimizasyon süresini uzattığı gözlemlenmiştir. Bu durum göz önüne alınarak uygun kromozom sayısı seçilmiştir. Toplam kaç nesil oluşturulduğunda algoritmanın sonlandırılacağı ise algoritmanın yakınsama durumuna göre karar verilmiştir. Her yeni nesildeki en sağlıklı ilk 15 kromozom değeri gözlemlenmektedir. Oluşturulan nesillerdeki

kromozomlar, daha önceki nesillerde oluşturulan kromozomlarla karşılaştırılmış, algoritmanın sonlandırılacağı nesil sayısı, son 10 nesilde elde edilen en sağlıklı kromozom değerlerinin birbirine eşit olacak şekilde belirlenmiştir. Seçim yöntemi olarak ise orantılı seçim ve popülasyon küçültme denenmiş, elde edilen sonuçlarda anlamlı farklılıklar görülmemiş ve popülasyon küçültme yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

Örnek 1 - Örnek 4, Örnek 7 için bir gendeki bit sayısı belirlenirken, 6, 7, 8 bitten oluşan genlerle optimizasyonlar yapılmış, 7 bit ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Örnek 1 – Örnek 4 için maliyet fonksiyonu öncelikle yalnızca 400 MHz'deki VSWR değeri olarak belirlenmiş, daha sonra 400 MHz ve civarındaki iki frekansın toplamından oluşan maliyet fonksiyonu ile daha geniş bant genişliği elde edildiği gözlemlenmiştir. SuperNEC, tellerin çakışması, tellerin modellemede kullanılan parçaların birbirine belirli mesafeden yakın olması gibi durumlarda yanlış sonuçlar vermektedir. Doğru benzetim sonuçları elde edilebilmesi için her bir parçanın birbirine olan uzaklığı program içerisinde kontrol edilmektedir. Parçaların çakışması, birbirine değmesi, birbirine belirli mesafeden yakın olması gibi durumlarda anten yapısında değişiklikler yapılmaktadır. Başlangıç popülasyonundaki bir anten için böyle bir sorunla karşılaşıldığında bu antenin yerine yeni bir anten oluşturulmaktadır. Daha sonraki nesillerde bu durumla pek sık karşılaşılmamakla birlikte, böyle bir sorun olduğunda uygun yapı elde edilene kadar bu kromozomun rasgele bir biti değiştirilmektedir.

Cep telefonu karıştırıcı tel antenler için ilk olarak tek bir çerçeveden oluşan tasarımlar yapılmış, düşük VSWR değerleri elde edilmiş fakat Φ 'ye göre kazanç değişimi fazla çıktığından ve bazı Φ değerlerinde çok düşük kazançlar elde edildiğinden bu çerçeveye dik bir çerçeve yerleştirilmesine karar verilmiştir. Sonuçta, birbirine dik iki çerçeveden oluşan tasarımlarda Φ 'ye göre kazanç değişimi azalmıştır. Bu tasarımlar için çeşitli maliyet fonksiyonları ile optimizasyonlar yapılmıştır. İlk denemelerde maliyet fonksiyonunda C katsayısı kullanılmamış, elde edilen sonuçlarda bazı frekanslarda yüksek VSWR değeriyle karşılaşıldığından VSWR değerinin başına konulacak C katsayısının sonucu iyileştirileceği düşünülmüştür. Burada C katsayısını belirlerken dikkat edilen konu,

C'nin değeri arttırıldığında elde edilen tasarımlarda VSWR değerinin düştüğü, buna karşılık Φ 'ye göre kazanç değişiminin arttığıdır. C katsayısı belirlenirken, hem kazanç hem VSWR değeri için istenene yakın sonuçlar elde edilmesine dikkat edilmiştir. Maliyet fonksiyonundaki VSWR değerlerinin hesaplanacağı frekans örnekleri çeşitli denemeler sonucunda belirlenmiştir. İlk denemelerde daha fazla sayıda frekans örneği alınmış, ışırma örüntüsünün bu kadar düşük frekans farklılıklarında fazla değişim göstermediği gözlemlenmiş ve optimizasyon süresinin gereksiz yere uzatılmaması durumu da göz önüne alınarak frekans örneği sayısı azaltılmıştır.

Örnek 7'nin tasarımında, maliyet fonksiyonundaki VSWR değerlerinin hesaplandığı frekanslar örnekleri ilk olarak düzenli aralıklarla alınmıştır. Yüksek frekanslarda oldukça düşük VSWR değerleri elde edilmekle birlikte, düşük frekanslarda yüksek ve frekansa göre hızlı değişen VSWR değerleri elde edilmiştir. Düşük frekanslarda daha sık frekans örnekleri almanın çok daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

SuperNEC'in www.supernec.com adresli resmi web sayfasında kullanım kılavuzları bulunmaktadır. Bu kılavuzlarda, SuperNEC'in giriş ve çıkış kullanıcı arayüzü özellikleri, teknik özellikleri ve diğer birçok özelliği hakkında bilgi verilmektedir. Bu tez çalışmasında, SuperNEC'in MATLAB komut satırı üzerinden çalıştırılması, MATLAB programlama dili ile yapıların tanımlanması, benzetim ayarlarının yapılması, benzetim sonuçlarına erişim gibi konularda bu kullanım kılavuzları oldukça yararlı olmuştur.