



**T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GENETİK ALGORİTMA OPTİMİZASYONU İLE METAMALZEME
TASARIMI VE UYGULAMALARI**

Cemal AKTÜRK

ENFORMATİK ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANSTEZİ

**HATAY
MAYIS-2014**



T.C.

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GENETİK ALGORİTMA OPTİMİZASYONU İLE METAMALZEME
TASARIMI VE UYGULAMALARI**

Cemal AKTÜRK

ENFORMATİK ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANSTEZİ

**HATAY
MAYIS-2014**

T.C.
MUSTAFAKEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GENETİK ALGORİTMA OPTİMİZASYONU İLE METAMALZEME
TASARIMI VE UYGULAMALARI

CEMAL AKTÜRK

ENFORMATİK ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANSTEZİ

Yrd. Doç. Dr. Muharrem KARAASLAN danışmanlığında hazırlanan bu tez **05/05/2014** tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **OYBİRLİĞİ** ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Muharrem KARAASLAN
Başkan

Yrd. Doç. Dr. Ersin ÖZDEMİR
Üye

Yrd. Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ
Üye

Kod No:720

Doç. Dr. İsmail Hakkı KARAHAN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.
Proje No: 113E290

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

.././....

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Cemal AKTÜRK

ÖZET

GENETİK ALGORİTMA OPTİMİZASYONU İLE METAMALZEME TASARIMI VE UYGULAMALARI

Genetik algoritma karmaşık yapıları optimize etmede sıklıkla kullanılan bir yapay zekâ yöntemidir ve elektromanyetik hesaplamalarda da oldukça rağbet görmektedir. Çünkü optimize edilecek parametreler kromozomlara kolaylıkla şifrelenebilmektedir. Bu çalışmada doğada hazır bulunmayan, yapay olarak istenen parametre değerlerinde tasarlanan metamalzemeler, genetik algoritmanın çalıştığı matlab programı ile yüksek frekans yapı simülatörü olan HFSS programının oluşturduğu bir platformla tasarlandı ve optimize edildi. Optimum malzemeyi tasarlayabilmek ve parametreleri genetik algoritma kromozomlarına kodlamak için pikselleme yöntemi kullanıldı. Matlab ve HFSS birleştirilerek bir ara yüz oluşturulup bu sayede simülasyon programlarının hesaplamakta zorlanacağı parametreler Matlab programında hesaplatılıp matris değişkenleri ile kaydedildi.

2014, 72 sayfa

Anahtar Kelimeler: Genetik algoritma, metamalzeme, pikselleme, bakımsızlık.

ABSTRACT

METAMATERIAL DESIGN AND APPLICATIONS WITH GENETIC ALGORITHM OPTIMIZATION

Genetic Algorithm is a artificial intelligence method that often uses to optimizing of complex structures and is a popular choice in electromagnetic calculations. Because the parameters to be optimized can be easily encrypted to the chromosomes. In this dissertation metamaterials that are not present in nature and can design with desired parameter values, designed and optimized on a platform which is integration of matlab program with genetic algorithm and high frequency structure simulator HFSS program. Pixelization method is used for designing optimum material and encode parameters to genetic algorithm chromosome. An interface created by combining Matlab and HFSS and thus difficulties parameters to be calculated by simulation programs are calculated by Matlab program and matrix variables was saved.

2014, 72 pages

Key words: Genetic algorithm, metamaterial, pixelization, chirality.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konumun belirlenmesinde, araştırma ve yazım sürecinde sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmamı yönlendiren ve hiçbir yardımı esirgemeyen çok kıymetli ve saygıdeğer danışman hocam;

Yrd.Doç.Dr. Muharrem KARAASLAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında çalışmaların takibinde yardımını eksik etmeyen Sayın **Yrd.Doç.Dr.Ersin ÖZDEMİR** hocama çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında her türlü desteği eksik etmeyen çalışma arkadaşlarım **Mehmet BAKIR** ve **Furkan DOĞAN**'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımı yaparken her türlü desteği benden esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu yüksek lisans tez çalışmasını babam merhum **Alaidin AKTÜRK** anısına ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1.GİRİŞ	1
1.1.Giriş	1
1.2.Metamalzemeler.....	1
1.2.a.Çift Negatif Malzemeler (DNG)	2
1.2.b.Çift Pozitif Malzemeler (DPS).....	2
1.2.c.Epsilon Negatif Malzemeler (ENG).....	3
1.2.d.Mu Negatif Malzemeler (MNG).....	3
1.3.Negatif Kırılma İndisli Ortamlar.....	3
1.4.Bakışsızlık ve Bakışsız Metamalzemeler	5
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	7
3.MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1. Nicolson-Ross-Weir Metodu	11
3.2. Bakışsız Ortam Parametreleri	13
3.3. Sonlu Elemanlar Metodu (FEM).....	13
3.4. Yüksek Frekans Yapı Simülatörü (HFSS) ve Özellikleri	17
3.4.a. HFSS Skript	18
3.5. Matlab – HFSS Arayüzü.....	26
3.6. Pikselleme Yöntemi	29
3.7. Genetik Algoritma Optimizasyonu	31
3.7.a. Basit Genetik Algoritma.....	31
3.7.b. Kodlama	32
3.7.c. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması	33
3.7.d. Uygunluk Değerlerinin Hesaplanması (Amaç Fonksiyonu)	34
3.7.e. Çok Amaçlı Genetik Algoritmalar	35

3.7.f. Coğalma.....	37
3.7.g. Seçim İşlemi.....	38
3.7.h. Çaprazlama	41
3.7.i. Mutasyon	43
3.7.j. Değerlendirme ve Durdurma Kriteri.....	44
4.1. Simülasyonlar	45
4.1.a. Yüksek Bakımsız Metamalzeme 15 GHz'e Kadar	45
4.1.b. Yüksek Bakımsız Eng Metamalzeme 15 GHz'e Kadar	50
4.1.c. Yüksek Bakımsız Mng Metamalzeme 15 GHz'e Kadar	56
4.2. Üretim ve Ölçümler	61
4.2.a. Yüksek Bakımsız Metamalzeme (4.1.a'daki) Üretim ve Ölçüm Sonuçları.....	61
5.SONUÇLAR	67
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	72

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1. Sağ el ve sol el ortamlarda elektromanyetik dalga yayılım yönünü gösteren ışın diyagramı (Sudhakaran, 2006).....	2
Şekil 1. 2. Metamalzemelerin ortam değişkenlerine göre gruplandırılması	3
Şekil 1. 3. Snell yasasına göre ışığın farklı ortamlarda davranışı	4
Şekil 1. 4. Ellilik ve bakışsızlık (üst üste çakışmazlık) (Anonim, 2010).....	5
Şekil 3. 1. Bir yüzeyin sonlu elemanlara ayrılması (http://www.vektorelbilim.com/m53_sap2000%27de_kullanilan_kavramlar_ve_arayuz_kullanimi.aspx).....	14
Şekil 3.2.Üçgen, dörtgen ve küp şeklinde elemanlar ve düğüm noktaları (http://homepages.dias.ie/~js/000_finiteElement.php)	15
Şekil 3.3. İki boyutlu bir yapının çözüm bölgesi ve sonlu elemanlar ayrıştırması (Doğan, 2012) a)Çözüm bölgesi, b) Sonlu elemanlar ayrıştırılmış hali.....	15
Şekil 3.4. HFSS programında skript kaydını aktif etmek için 1. adım	18
Şekil 3.5. HFSS programında kaydedilecek skript dosyası için konum ve isim belirleme.....	19
Şekil 3.6. HFSS programında skript kaydının durdurulması	20
Şekil 3.7. Kaydedilen HFSS skript dosyasının içeriği	21
Şekil 3.8. HFSS programında yapıya mükemmel elektrik iletkenliği özelliği tanımı-1	23
Şekil 3.9. HFSS programında yapıya mükemmel elektrik iletkenliği özelliği tanımı-2	24
Şekil 3.10. HFSS'de mükemmel elektrik iletkenliği atandığında oluşan skript dosyası.	24
Şekil 3.11. Şekil 3.10'da gösterilen skriptin Matlab fonksiyonu.....	25
Şekil 3.12. HFSS-Matlab arayüzü için oluşturulan matlab fonksiyonları.....	26
Şekil 3.13. Matlab – HFSS arayüzünde yapılan işlemlerin akış grafiği	28
Şekil 3.14. Piksellerin 1 ve 0 olarak ifade edilmesi -1 (https://www.library.cornell.edu/preservation/tutorial/intro/intro-01.html)	29
Şekil 3. 15. Piksellerin 1 ve 0 olarak ifade edilmesi-2 (http://nifty.stanford.edu/2011/malan-bmp-puzzles/)	30
Şekil 3. 16. Rastgele piksellenen örnek bir geometri (karekod) (http://www.jennyreadresearch.com/misc/sciart/binaryrandomdotpattern/).....	30
Şekil 3. 17. Başlangıç popülasyonunu oluşturan Matlab kodları.....	33
Şekil 3. 18. Çoğalma işleminin gerçekleştirildiği Matlab kodları.	37
Şekil 3. 19. Rulet tekeri (http://www.edc.ncl.ac.uk/highlight/rhjanuary2007g02.php/)	39
Şekil 3. 20. Turnuva seçimini gerçekleştiren Matlab kodları.	40
Şekil 3. 21. Çaprazlama işleminin gerçekleştirildiği Matlab kodları.....	42
Şekil 3. 22. Mutasyon işlemini gerçekleştiren Matlab kodları.....	44
Şekil 4. 1. 11.5 GHz frekansında yüksek bakışsız metalmalzemelerin başlangıçtaki ve optimize edilmiş geometrisi	45
Şekil 4. 2. 11.5 GHz frekansında genetik algoritma epsilon iyileştirme grafiği.....	46
Şekil 4. 3. 11.5 GHz frekansında genetik algoritma bakışsızlık iyileştirme grafiği	47
Şekil 4. 4. 11.5 GHz frekansında genetik algoritma mutlak bakışsızlık iyileştirmesi	47
Şekil 4. 5. 11.5 GHz uygulaması için frekans – bakışsızlık dağılım grafiği.....	48
Şekil 4. 6. 11.5 GHz uygulaması için frekans – dielektrik katsayısı dağılım grafiği.....	49
Şekil 4. 7. 11.5 GHz uygulaması için frekans-kırılma indisi (n) dağılım grafiği.....	49
Şekil 4. 8. 11.5 GHz uygulaması için frekans – manyetik geçirgenlik dağılım grafiği	50

Şekil 4. 9. 6 GHz uygulaması için yüksek bakışimsız eng metamalzemenin başlangıçtaki ve optimize edilmiş geometrisi	51
Şekil 4. 10. 6 GHz frekansında genetik algoritma epsilon iyileştirme grafiği	52
Şekil 4. 11. 6 GHz frekansında genetik algoritma bakışimsızlık iyileştirme grafiği	52
Şekil 4. 12. 6 GHz frekansında genetik algoritma mutlak bakışimsızlık iyileştirme grafiği	53
Şekil 4. 13. 6 GHz uygulaması için frekans – bakışimsızlık dağılım grafiği.....	53
Şekil 4. 14. 6 GHz uygulaması için frekans-epsilon dağılım grafiği	54
Şekil 4. 15. 6 GHz uygulaması için frekans-manyetik geçirgenlik dağılım grafiği.....	55
Şekil 4. 16. 6 GHz uygulaması için frekans-kırılma indisi dağılım grafiği	55
Şekil 4. 17. 14.5 GHz uygulaması için bakışimsız mng metamalzemenin başlangıçtaki ve optimize edilmiş geometrisi	56
Şekil 4.18. 14.5 GHz frekansında genetik algoritma manyetik geçirgenlik iyileştirme grafiği..	57
Şekil 4.19. 14.5 GHz frekansında genetik algoritma bakışimsızlık iyileştirme grafiği	58
Şekil 4.20. 14.5 GHz frekansında genetik algoritma optimizasyonu mutlak bakışimsızlık iyileştirme grafiği.....	58
Şekil 4. 21. 14.5 GHz uygulaması için mng metamalzemenin frekans-bakışimsızlık dağılım grafiği.....	59
Şekil 4. 22. 14.5 GHz uygulaması için mng metamalzemenin frekans-manyetik geçirgenlik dağılım grafiği.....	60
Şekil 4. 23. 14.5 GHz uygulaması için mng metamalzemenin frekans-epsilon grafiği	61
Şekil 4. 24. Bakışimsız metamalzemenin horn antenler ile ölçülme şekli.....	62
Şekil 4. 25. Üretilen yüksek bakışimsız metamalzeme	63
Şekil 4. 26. Üretilen yüksek bakışimsız metamalzemenin hücrelerinin yakından görünümü	63
Şekil 4. 27. Üretilen yüksek bakışimsız metamalzemenin bakışimsızlık, kırılma indisi, manyetik geçirgenlik ve dielektrik katsayısının simülasyon ve ölçüm değerleri.....	64
Şekil 4. 28. Üretilen yüksek bakışimsız metamalzemenin empedans, iletim ve yansıma parametrelerinin simülasyon ve ölçüm değerleri.	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Çaprazlama işleminin uygulandığı ebeveyn kromozomlar.....	42
Çizelge 3.2. Çaprazlama işleminden sonra oluşan yeni yavru kromozomlar	42
Çizelge 3.3. Mutasyon işlemi sonrasında oluşan yeni kromozom	43

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- ϵ :Dielektrik sabiti
 μ :Manyetik geçirgenlik katsayısı
DNG: Çift negatif
DPS:Çift pozitif
ENG: Epsilon negatif
MNG:Mu negatif
EPS:Epsilon pozitif
E:Elektrik alan Şiddeti
EM: Elektromanyetik
FEM: Sonlu Elemanlar Metodu
H: Manyetik alan Şiddeti
HFSS: Yüksek Frekans Yapı Simülatörü
CST:Bilgisayar Simülasyon Teknolojisi
MTM: Metamalzeme
LHM: Sol-elli ortam
n: Kırılma indisi
S11: Yansıma değerleri
S21: İletim değerleri
z: Dalga empedansı
w: Açısal hız
c:İşık hızı
NRW: Nicolson Ross Weir tekniği
T: İletim katsayısı
 λ_g : Kılavuz dalga boyu
k : Dalga numarası
VNA: Vektör Network Analizör

1.GİRİŞ

1.1.Giriş

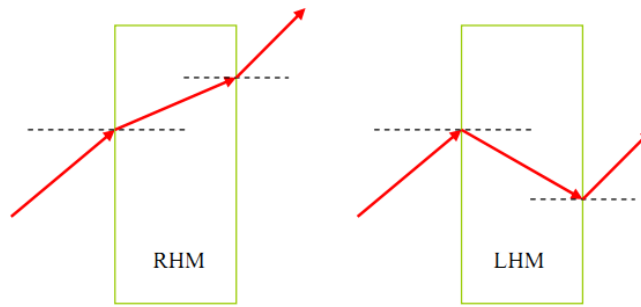
Sivil ve savunma sanayinde birçok uygulama alanı bulan elektromanyetik, son yıllarda bu alanda araştırma geliştirme yapmak isteyen insanlar tarafından büyük ilgi görmektedir. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin hızlı gelişimi de bu radyo frekanslarının kullanımını artırmakta ve çok daha düşük frekanslara sahip mikrodalgaların kullanım alanlarını sunmaktadır. Bu alanlar kablosuz (wireless) iletişim, radar sistemleri, tıbbi tanılama ve görüntüleme sistemleri gibi gerek askeri gerek sivil hayatta birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Teknolojinin ve paralelinde ihtiyaçların bu kadar hızlı değişmesi; yüksek frekanslarda performansı yüksek olması gereken daha gelişmiş malzemelere olan ihtiyacı doğurmuştur. Bu ihtiyaç sayesinde daha gelişmiş elektromanyetik malzemelerin üretimi gerçekleştirildi. Artık son teknoloji üretim tesislerinde talep edilen dielektrik ve manyetik özelliklerinde, doğada bulunmayan üstün özelliklerde malzemeler yapay olarak elde edilip geliştirilebilmektedir.

1.2.Metamalzemeler

Dielektrik katsayısı (ϵ) bir malzemeye yüklenen elektrik yükünün, yalıtkan bir ortam tarafından nasıl etkilendiğinin ölçümüdür. Manyetik geçirgenlik katsayısı (μ) ise manyetik alana karşı aynı ortamın etkisini ölçen bir katsayıdır. Dielektrik katsayısı (ϵ) ve manyetik geçirgenlik (μ) tüm malzemelerin elektromanyetik performansını yönetmek için iki önemli parametredir. Sıradan malzemelerin ϵ ve μ katsayıları genellikle pozitif değerlere sahiptir. Sıradan malzemelerin elektromanyetik ortam tepkilerinin çok az bir kısmına teorik olarak erişilebilmektedir. Bu malzemelerin tepkileri, yapay yapılar tasarlayarak mevcutta bulunmayan değerlere genişletilebilir. Bu şekilde istenilen ortam değerlerine göre tasarlanan yapay malzemelere metamalzemeler denir (Aydın,2008).

Veselago tarafından 1968 yılında bir malzemenin hem dielektrik katsayısının hem manyetik geçirgenlik katsayısının negatif olma olasılığının mümkün olabileceği teorik olarak önerilmiştir. O, bu negatif parametrelili malzemeleri sol el metamalzemeler (LHMs) olarak ifade etmiştir (Veselago, 1968). Bir elektromanyetik dalga bu

malzemelere nüfuz ettiğinde, elektrik alan vektörü (E), manyetik alan vektörü (H) ve dalga vektörü (k) sol el kuralına uyar, hâlbuki doğal materyallerde bu vektörler sağ el kuralına uyar ve pozitif malzeme parametrelerine sahiptirler. Dielektrik katsayısı (ϵ) ve manyetik geçirgenlik katsayısı (μ) pozitif olur. Pozitif parametrelili çoğu malzeme Sağ El Materyaller (RHMs) olarak tanımlanır. Konvansiyonel bir levhaya elektromanyetik dalga eğiliminin olduğu bir ortamda ışın yönü Şekil 1.1.'de gösterilmiştir (Sudhakaran, 2006).



Şekil 1. 1. Sağ el ve sol el ortamlarda elektromanyetik dalga yayılım yönünü gösteren ışın diyagramı (Sudhakaran, 2006)

Metamalzemeleri ortam değişkenleri olan dielektrik katsayısı (ϵ) ve manyetik geçirgenlik katsayısı (μ)' ye göre dört ana başlıkta gruplandırmak da mümkündür.

1.2.a. Çift Negatif Malzemeler (DNG)

Bu malzemelerin ϵ ve μ değerlerinin reel kısmı ikisinde de negatiftir. ($\epsilon < 0$, $\mu < 0$). Çift negatif malzemeler literatürde negatif kırılma indisli ortam, geriye dalga ortamı ve sol el metamalzemeler gibi birçok isim ve kavramla da adlandırılmaktadır. Negatif kırılma indisi özelliği sayesinde metamalzemelerin en çok ilgi gören çeşidi bu malzemelerdir. Birçok araştırmacı bu malzemeler üzerinde yoğun çalışmalar yapmakta ve gelecekteki uygulamalar için birçok fikir ve tavsiyeler ileri sürmektedir.

1.2.b. Çift Pozitif Malzemeler (DPS)

Bu malzemelerin ϵ ve μ değerlerinin reel kısmı ikisinde de pozitiftir.

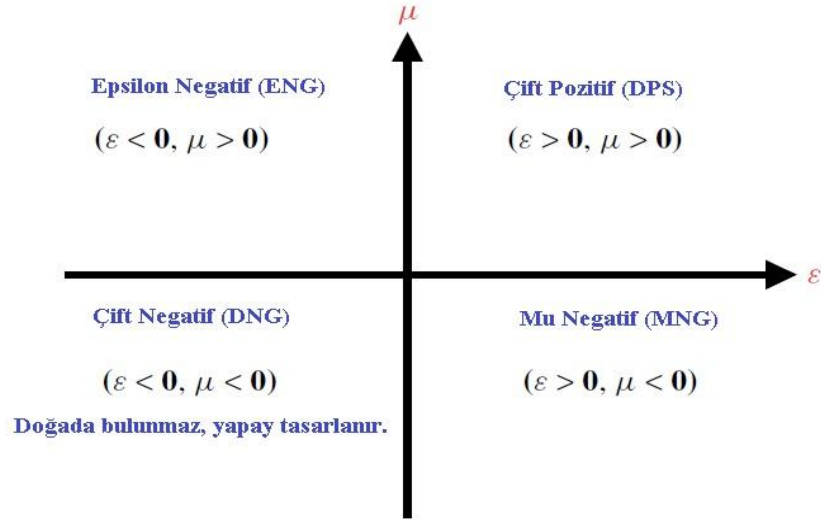
($\epsilon > 0$, $\mu > 0$). Yalıtkan malzemeler doğada en çok bulunan DPS malzeme örneğidir.

1.2.c. Epsilon Negatif Malzemeler (ENG)

Bu malzemelerin ϵ değerlerinin reel kısmı negatif olup μ değerinin pozitifdir. ($\epsilon < 0$, $\mu > 0$). Belirli bir frekansta çoğu plazmalar bu özelliği gösterir. Örneğin altın, gümüş gibi soy metaller; kızılötesi, görünür frekans etki alanları gibi ortamlarda bu özelliği sunarlar (Engheta, 2006).

1.2.d. Mu Negatif Malzemeler (MNG)

Bu malzemelerde manyetik geçirgenlik katsayısı olan μ değerinin reel kısmı negatif olup ϵ değerinin pozitifdir ($\epsilon > 0$, $\mu < 0$).



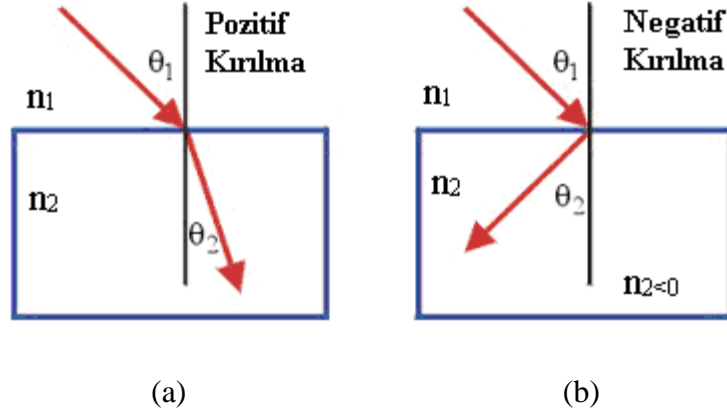
Şekil 1. 2. Metamalzemelerin ortam değişkenlerine göre gruplandırılması

1.3. Negatif Kırılma İndisli Ortamlar

Bir maddenin kırılma indisi, o maddede yol alan ışığın ya da diğer elektromanyetik dalgaların boşlukta yol alan ışığa göre ne kadar yavaş ilerlediğini gösteren bir katsayıdır ve n sembolü ile gösterilip, Snell yasasıyla ifade edilmektedir.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (1.1.)$$

Işığın geldiği ortamın kırılma indisi n_1 , gittiği ortamın kırılma indisi ise n_2 ile ifade edilir. Snell yasasına göre ışığın kırılma indisi negatif olduğu durumda ışık normalin diğer tarafına geçemez.



Şekil 1. 3. Snell yasasına göre ışığın farklı ortamlarda davranışı

a) Pozitif kırılma indisli ortam,

b) Negatif kırılma indisli ortam.

(<http://www.trnmag.com/Stories/2006/051506/VFTHG%20--20John%20Pendry.html>)

Şekil 1.3.a.' da kırılma indisi pozitifdir ve kırılan ışık normalin sağ tarafına geçmektedir. Şekil 1.3.b.'de ise n_2 kırılma indisi negatif olduğundan ışık normalin sağ tarafına geçemeyip geriye doğru kırılmaktadır.

$$n = \sqrt{\epsilon\mu} \quad (1.2.)$$

$$n^2 = \epsilon\mu \quad (1.3.)$$

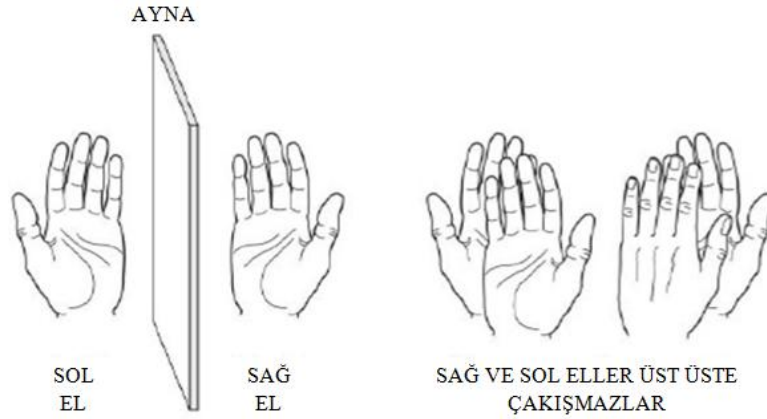
Maxwell denklemlerinde kırılma indisi, denklem 1.2. ve denklem 1.3. şeklinde ifade edilmektedir. ϵ ve μ değerlerinin reel kısımlarının işaretleri aynı anda pozitif veya negatif olması durumunda kırılma indisinin karesinde herhangi bir işaret farklılığına neden olmayacaktır (Doğan, 2012).

Metamalzeme tasarımı genelde deneme-yanılma yöntemi temel alınarak yapılabilir de ϵ , μ gibi önemli parametrelerin sonuçları gözlenerek yapılacak bir yapay zekâ algoritması ile de istenen değerleri sağlayacak malzemeye ulaşmak mümkündür. Bunun için simülasyon yazılımları ile yapay zekâ algoritmaları bütünleşik olarak

çalıştırılmalıdır. Metamalzemelerden oluşturulacak araçlar ϵ, μ gibi parametrelerin değerlerine göre genellikle anten, soğurucu ve iletim donanımları olarak kullanılırlar.

1.4. Bakışsızlık ve Bakışsız Metamalzemeler

Bakışsızlık ifadesi bir nesnenin kendisi ile aynadaki görüntüsünün üst üste geldiğinde aynı olmaması yani çakışmaması özelliğidir ve bu terim ilk kez 1873 yılında Lord Kelvin tarafından derslerinde ellilik kavramını açıklarken kiralite (chirality) olarak kullanılmıştır (Wang ve ark., 2009). Ellilik kavramının kullanılması bakışsızlık terimini ifade ederken oldukça önemlidir. Sağ el ve sol el düşünüldüğünde, bu eller yan yana dururken birbirinin arasından geçen bir eksene göre ayna görüntüsünü teşkil eder ve eller üst üste geldiğinde sağ elin başparmağı ile sol elin kuş parmağı üst üste gelecektir. Bu kavram bakışsızlığı açıklarken kullanılan en somut örneklerden biridir. Şekil 1.4.'te üst üste çakışmazlık daha net anlaşılabilir.



Şekil 1. 4. Ellilik ve bakışsızlık (üst üste çakışmazlık) (Anonim, 2010)

Bakışsız bir malzemede, kendi iç asimetrisinden dolayı sağ ve sol dairesel polarizasyon dalgaları farklı tepkilere sahiptir ve bakışsız bir ortama geçerken elektrik alan ile manyetik alan arasında çapraz bir bağ vardır. Boyutsuz bir bakışsızlık parametresi olarak kullanılan k değişkeni, bu çapraz bağlama etkisini tanımlamak için kullanılır. Sağ dairesel polarizasyon ve sol dairesel polarizasyon dalgalarının kırılma indisleri, bu k değişkeninden dolayı farklıdır.

$$k = \frac{n_R - n_L}{2} \quad (1.4.)$$

Burada n_R , n_L sağ ve sol eli dairesel polarizasyon dalga durumunda ortamın kırılma indisidir (Zhao ve ark., 2011).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

1968 yılında Rus fizikçi malzemelerde hem dielektrik katsayısının hem manyetik geçirgenlik katsayısının negatif olma olasılığının olabileceğini önermişti. O bu negatif parametrelili malzemeleri sol el malzemeler (Left Handed) olarak ifade etmiştir. (Veselago, 1968) Negatif kırılma ve geriye doğru dalga yayılımının yanı sıra ters Doppler etkisi ve geriye doğru radyasyon gibi bazı yeni özellikler de Veselago tarafından ifade edilmiştir (Veselago, 1968). Bu öngöründen sonra, sol el malzeme parametreleri ile birleşik malzeme gerçekleştirmek otuz yıl gibi bir zaman alacaktır.

Pendry ve arkadaşları negatif manyetik geçirgenlik katsayısı (pozitif ϵ /negatif μ) (1996) ve negatif dielektrik katsayısı (negatif ϵ /pozitif μ) (1999) gösteren yapay malzemeler, makroskobik boyutlarda yapı üretme teknolojisini kullanarak, çeşitli dalga boylarında negatif özelliklere sahip malzemeler üretilmiştir (Karaaslan, 2009). Üretilen bu iki malzeme de negatif ortam değişkenlerine sahip metamalzemelerdir. Bir dizi bölünmüş halka rezonatörlerinde (Split Ring Resonators) ve bir dizi iletken telde negatif geçirgenliğe, negatif dielektriğe sahip olma fikrini (Pendry ve ark., 1999) takiben, Smith ve arkadaşları, aralıklı iletken manyetik olmayan bölünmüş halka rezonatörleri ve kesintisiz tellerden oluşan periyodik bir diziyi içeren tek boyutlu birleşik bir ortamdan oluşan sol el malzemeleri 2000 yılında deneysel olarak ortaya çıkarmışlardır (Smith, 2000).

2001 yılında da Shelby ve arkadaşları, negatif kırılma olgusunu ve bölünmüş halka ve tellerden oluşan iki boyutlu dizi içeren kompozit ortamdaki negatif manyetik geçirgenlik ve negatif dielektrik sabitinin varlığını ilk kez deneysel olarak doğrulamıştır (Shelby ve ark., 2001).

Shelby'nin negatif kırılmayı deneysel olarak ilk doğrulamasından beri, son birkaç yıldır sol el malzeme özelliklerinin ölçümlerinin doğrulanması konusuna yoğun ilgi duyulmuştur. Bölünmüş halka rezonatörleri ve tellerin birleşiminden oluşan sol el malzemelerin iletim ölçümleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır (Bayındar ve ark., 2001).

Sürekli olmayan teller ve bölünmüş halkalardan oluşan çift negatifli bir ortam için iletim ve yansıma ölçümleri ise Özbay tarafından araştırılmıştır (Ozbay ve ark., 2003).

Sol-elli metamalzemelerin anten uygulamalarında yeterince araştırma yapılmamıştır. Metamalzemenin kullanıldığı bir anten 2002 yılında Enoch ve arkadaşları tarafından ileri sürülmekle beraber (Enoch ve ark., 2002), ilk olarak 2005 yılında anten teknolojilerinde kullanılmıştır. Aynı yıl Erentok ve Ziolkowski tarafından HFSS elektromanyetik simülasyon programı kullanılarak çift pozitif ve epsilon negatif malzemelerden oluşan (eng kaplamalı) dipol anten tasarlanmış ve elektriksel olarak küçük ve etkin bir antenin nasıl elde edilebileceği öne sürülmüştür (Erentok, 2005). Yine 2005 yılında önemli bir gelişme olarak Çinli araştırmacılar Sun ve Wang tarafından parametre optimizasyonu bazlı genetik algoritma ve HFSS simülasyon programı kullanılarak bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma ile HFSS programında tasarımı gerçekleştirilen bir mikroşerit anten uygulaması için Matlab ortamında çalıştırılan bir genetik algoritma ile örnek antenin optimum kalınlığı ve genişliği bulunmuştur (Sun, 2005). Anten tasarımında ve optimizasyonunda kullanılan bu yöntemler metamalzeme tasarımı için de kullanılmaya başlanmış, simülasyon yazılımlarının optimizasyon algoritmalarıyla bütünleşik kullanımıyla da tasarlanan malzemeler bu şekilde optimize edilmiştir.

Buell ve arkadaşları yüzey dalgalarını bertaraf etmek için elektromanyetik yalıtkan bir metamalzeme tasarlamışlardır (Buell, 2005). Bu metamalzemelerden oluşan bir izolasyon duvarındaki son derece düşük kayıplar sayesinde mükemmel yakın yayılım verimliliği elde edilmiştir. Çalışmada; en iyi uyarım katsayılarını elde etmek için genetik algoritma kullanılarak optimum uyarım katsayıları bulunmuştur.

2007 yılında Erentok ve Ziolkowski, metamalzeme temelli elektriksel küçük anten analizi için karma bir optimizasyon yöntemi uygulamışlardır (Erentok, 2007). Sonuçta çok katmanlı bir metamalzeme kabuk sistemden oluşan elektriksel olarak küçük elektrikli dipol anten analitik olarak geliştirilip bu sistemden toplam yayılan güç genetik algoritma ve Matlab optimizasyonu birleşiminden oluşan bir yaklaşımla optimize edilmiştir.

Huang ve arkadaşları tarafından 2009 yılında ultra ince metamalzeme soğurucu analizi ve tasarımı gerçekleştirilmiştir (Huang, 2009). Metamalzeme soğurucuların mikroşerit hat genişliği, mikroşerit hatlar arasındaki boşluk, yüzey kalınlığı, manyetik geçirgenlik ve dielektrik katsayısı gibi elektromanyetik tepkilerine etki eden birçok faktör vardır. Huang ve arkadaşları çalışmalarında HFSS programında tasarlanan soğurucu için çok amaçlı bir genetik algoritma kullanarak bu faktörlerin iyileştirmesini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak metamalzeme emicilerin nihai bant genişliği sınırının kendi alt taşlarına göre belirlendiği bulunur.

Ouedraogo 2011 yılında yaptığı çalışmasında pikselizasyon yöntemi ile ikili arama algoritması olarak genetik algoritmayı birleştirerek bölünmüş halka rezonatörleri ve onun geliştirilmiş modellerinden oldukça farklı rezonant yapılar oluşturmuştur (Ouedraogo, 2011). Pikselizasyon yöntemi ile malzeme birim hücrelere ayrılır ve her birim hücre rassal olarak metal veya dielektrik olarak tanımlanır. En iyi ortam değişkenlerine sahip malzemeyi bulmak için genetik algoritma kullanılarak sıralama yapılmıştır. Çalışmadaki genetik algoritma maliyet fonksiyonu manyetik geçirgenlik değeri olan μ 'dür. En küçük (negatif) μ değerine sahip yapıyı tasarlamak için HFSS simülasyon programı ile Matlab üzerinde çalıştırılan bir genetik algoritma kullanılıp sonuçta negatif manyetik geçirgenlik değerine sahip yapılar tasarlanmıştır. Ouedraogo; önerdiği birim hücre boyutlarında aynı frekansta rezonant görevi yapan farklı manyetik geçirgenlik değerlerine sahip birçok yapı oluşturmanın mümkün olduğunu göstermiştir (Ouedraogo, 2011).

Bakışimsız ortam çalışmaları ise uzun bir tarihçeye sahiptir. Lindemann tarafından 1910'da görünür ışıktaki radyo dalgalarının optik aktivite olgusu, sarmal bobin görevi sunan bir koleksiyon ile gösterilmiştir (Couchman, 1977) ve mikrodalga rejimindeki bakışimsız ortam çalışmaları; antenler, polarizatörler ve dalga kılavuzları gibi birçok alanda uygulama imkânı bulmuştur. 2003 yılında Tretyakov ve arkadaşları bakışimsızlıktan oluşan negatif kırılmanın gerçekleşme ihtimalini araştırmıştır. Bakışimsızlığın olmaması fikri; bakışimsız bir ortamın dielektrik ve manyetik geçirgenlik değeri sıfırdan küçük veya sıfıra çok yakınsa bakışimsızlığın bir dairesel

polarizasyon için bakışimsızlık küçük olsa bile kırılma indisini negatif yapabilir olmasıdır (Wang ve ark., 2009).

Bakışimsızlığın yokluğuna (chiral nihility) dayalı metamalzeme bakışimsız metamalzemenin özel bir durumudur. 2004'te Pendry genel olarak bakışimsız metamalzemde negatif kırılmanın elde edilme olasılığını araştırmıştır (Pendry, 2004). O, bakışimsız metamalzemelerde negatif kırılmayı gerçekleştirecek durumları analiz ettiğinde bunu elde etmenin; elektrik ve manyetik geçirgenliğinin ikisinin de negatif ϵ ve μ 'ye ihtiyaç duyan düzgün metamalzemelerden daha kolay olduğunu göstermiştir (Pendry, 2004). Bakışimsız metamalzemelerde ne ϵ ne de μ 'nün negatif olma zorunluluğu vardır, bakışimsızlık yeterince büyük olduğunda, bakışimsız metamalzemelerde negatif kırılma sağlanabilir (Wang ve ark., 2009).

Bakışimsız malzemeler; negatif kırılma, asimetrik iletim ve dairesel çift renklilik (çift taraflılık) gibi birçok ilginç olaylar gösterir (Wang ve ark., 2009). Bu özellikler, dairesel polarizör (kutuplaştırıcı), asimetrik iletimli metamalzeme yüzeyi ve 90° polarizasyon dönüştürücü gibi malzemeleri üretmek için gereklidir.

Bu çalışmada güçlü ve doğal bakışimsızlığa sahip bir malzeme elde edebilmek için genetik algoritma tekniği kullanılıp, genetik algoritma tabanlı bakışimsız ortam tasarımındaki ilk çalışma olacaktır. Ayrıca bu tez çalışmasında negatif kırılmayı gerçekleştirecek bakışimsız metamalzeme tasarımı gerçekleştirilip fabrikasyonu sağlanarak ortam değişkenlerinin performansı değerlendirilecektir. Genetik algoritma ile istenilen bakışimsızlık değerleri için optimizasyon yapılarak tasarlanacak bu malzeme için çeşitli frekans aralıklarında ortam değişkenlerinin değerlerindeki değişim incelenecek ve simülasyon aşaması tamamlandıktan sonra tasarlanan malzemenin fabrikasyonu da gerçekleştirilecektir. Yapılacak çalışmalar için Ansoft HFSS (Yüksek Frekans Yapı Simülatörü) ve Matlab nümerik programlama dili interaktif olarak kullanılacaktır. Optimizasyon için kullanılacak genetik algoritma, Matlab tarafında çalıştırılacaktır.

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Nicolson-Ross-Weir Metodu

Elektromanyetik ortam değişkenleri olan dielektrik katsayısı, manyetik geçirgenlik katsayısı gibi değerleri hesaplamak için birkaç yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerin tamamı iletim ve yansıma katsayılarından hesaplanan S parametrelerine dayanır. Nümerik hesaplamalarla veya simülasyon programlarıyla elde edilebilen S parametreleri üzerinden ortam değişkenlerinin değerleri bulunabilir (Nicolson, 1970).

Ortam değişkenlerini hesaplamak için kullanılan en yaygın yöntemlerden biri de Nicolson Ross Weir metodudur (Meeusen, 2004).

Bu tez çalışmasında metamalzeme tasarımı yapılırken ortam değişkenleri olan manyetik geçirgenlik katsayısı (μ) ile dielektrik katsayısının hesaplanması (ϵ) için Nicolson Ross Weir metodu kullanılmıştır. Bu yöntem ile S11 (yansıma) ile S21 (iletim) parametrelerinin, yansıma katsayısının (Γ), iletim katsayısının (T), manyetik geçirgenlik katsayısının (μ) ve dielektrik katsayısının (ϵ) hesaplanması; aşağıdaki denklemlerle gerçekleştirilmiştir (Nicolson, 1970).

$$S_{11} = \frac{\Gamma(1 - T^2)}{1 - \Gamma^2 T^2} \text{ ve } S_{21} = \frac{T(1 - \Gamma^2)}{1 - \Gamma^2 T^2} \quad (3.1.)$$

S11, S21 değerleri yüksek frekans simülasyon programları olan HFSS, CST gibi programlarda otomatik hesaplatılarak da elde edilebilir.

$$\Gamma = X \pm \sqrt{X^2 - 1} \quad (3.2.)$$

$$X = \frac{S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1}{2S_{11}} \quad (3.3.)$$

$$T = \frac{S_{11} + S_{21} - \Gamma}{1 - (S_{11} + S_{21})\Gamma} \quad (3.4.)$$

Manyetik geçirgenlik katsayısının reel kısmı;

$$\mu_r = \frac{1 + \Gamma_1}{\Lambda(1 - \Gamma) \sqrt{\frac{1}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}}} \quad (3.5.)$$

λ_0 Boşluktaki dalga boyunu, λ_c kesim dalga boyunu ifade etmektedir.

$$\frac{1}{\Lambda^2} = \left(\frac{\epsilon_r * \mu_r}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2} \right) = - \left(\frac{1}{2\pi L} \ln\left(\frac{1}{T}\right) \right)^2 \quad (3.6.)$$

Dielektrik sabiti de aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$\epsilon_r = \frac{\lambda_0^2}{\mu_r} \left(\frac{1}{\lambda_c^2} - \left[\frac{1}{2\pi L} \ln\left(\frac{1}{T}\right) \right]^2 \right) \quad (3.7.)$$

Dalga empedansı (z)'nin S11 ve S21 ile ilişkisi aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$z = \sqrt{\frac{(1 + S11)^2 - S21^2}{(1 - S11)^2 - S21^2}} \quad (3.8.)$$

Kırılma indisi ise aşağıdaki formüllerden hesaplanabilir.

$$n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \text{ veya } \epsilon = n/Z, \mu = nZ \quad (3.9.)$$

3.5. ve 3.7. denklemlerinden elde edilen sonuçlar tasarlanan malzemelerin epsilon negatif veya çift negatif özelliğini gösterip göstermediğinde kullanılmıştır. Epsilon negatif (ENG) malzeme için $\epsilon_r < 0$ olması sağlanacak, aranan bakışimsızlık değerleri ile $\epsilon_r < 0$ ortam değişkenleri koşullarının aynı zamanda gerçekleşmesi sağlanacaktır.

3.2. Bakışsız Ortam Parametreleri

Dairesel çift renklilik ve optik aktivite özellikleri bakışsız bir ortamın en önemli özellikleridir. Dairesel çift renklilik, bakışsız bir ortam içindeki emilim ve iki polarize dalga yayılımının sapma değerleri arasındaki farkları ifade eder.

Optik aktivite ise doğrusal bir polarize dalganın polarizasyon düzleminin dönmesi olarak ifade edilir. Bu önemli özellikler bakışsız bir ortamda gözlenebilir. Bu sebeple yapılan çalışmadaki optimizasyon işlemi, bakışsız metamateryalinin mutlak bakışsızlık değerini istenilen büyüklüğe iyileştirmek için gerçekleştirilmiştir.

Ortamın bakışsızlık kabulü aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R_e(k) = \frac{\phi_+ - \phi_- + 2m\pi}{2k_0d}; \quad lm(K) = \frac{\ln|T_-| - \ln|T_+|}{2k_0d} \quad (3.10.)$$

Burada, $R_e(k)$ bakışsızlık değerinin reel kısmını, $lm(K)$ ise bakışsızlık değerinin sanal kısmını ifade etmektedir. T_+ ve T_- sağ ve sol dairesel iletim katsayılarını ϕ_+ ve ϕ_- sağ ve sol polarizasyon azimut rotasyonunu, k_0 vakum içindeki dalga vektörünü, d ise malzeme yüzey kalınlığını ifade etmek için kullanılır. Bakışsızlığın mutlak değeri 11GHz, 6GHz ve 14.5GHz frekansları için elde edilecektir. Bu amaçlar için genetik algoritma amaç fonksiyonunda aranan uyum değerleri ise her bir frekans için sırasıyla bakışsızlık değişkeni olarak kullanılan k için, $k > 1.25$, $k > 1$ ve $k > 0.25$ şeklindedir. Eng veya mng metamateryale için ortam değişkenlerini negatif yaparken bakışsızlığı da negatif yapmak amaçlanmıştır. Sonuçta ortam değişkenleri negatif iken bakışsızlık negatif olsa bile mutlak bakışsızlık her zaman pozitif olacağından optimizasyondaki temel amaç ağırlıklı toplam fonksiyonu olarak belirlenecek ortam değişkenleri ve bakışsızlık değerlerinin toplamından oluşacak değeri negatif yönde büyütmek olacaktır.

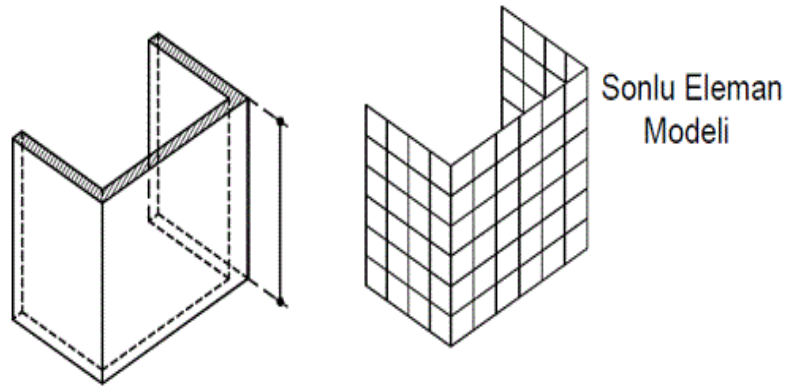
3.3. Sonlu Elemanlar Metodu (FEM)

Sonlu elemanlar metodu (FEM) diferansiyel denklemlerle tanımlanabilen özellikleri çok sayıda daha basit alt fonksiyonlar olarak çözümlenip daha sonra bu

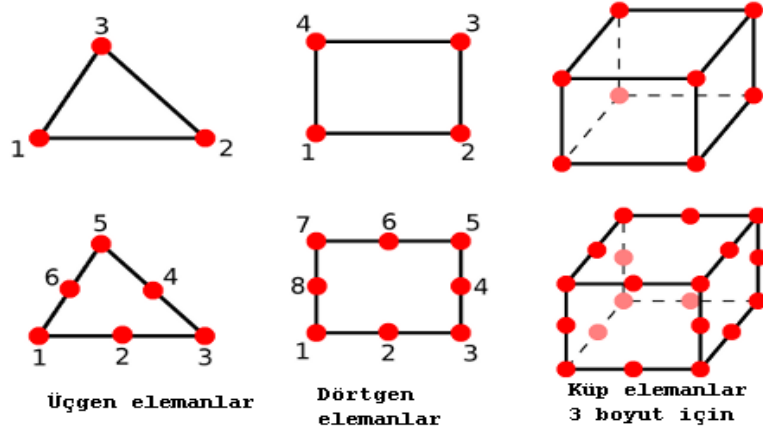
çözümleri birleştirerek yaklaşık çözümleri hesaplamak için kullanılan bir sayısal yöntemdir. Özellikle düzgün olmayan geometriye sahip yapıların çözümlenmesinde ve karmaşık sınır koşullarına sahip yapılarda oldukça yararlıdır. Elektromanyetizma, ısı transferi, akustik, katı mekaniği gibi birçok mühendislik alanlarında kullanılabilen bir yöntemdir. Problemlerin sonlu elemanlar metoduyla çözülmesi için şu aşamalar gerçekleştirilmelidir (Sadıku,1989):

1. Çözüm bölgesinin sonlu sayıda alt bölgeye ve elemanlara ayrılması
2. Tek bir eleman için eşitliklerin elde edilmesi
3. Çözüm bölgesindeki tüm elemanlar için elde edilen denklemlerin birleştirilmesi
4. Elde edilen denklem sisteminin çözülmesi

Genel çalışma aşamalarına bakıldığında; (1) düzgün olmayan yapı geometrisi Şekil 3.1.'deki gibi sonlu bir sayıda küçük düzgün geometrili yapılara bölünerek bilinmeyen çözüm bölgesinin sonlu sayıda alt bölge ve elemanları küçük fonksiyonlarla ifade edilir. (2) Bunun neticesinde yapı için esas çözülmesi gereken eşitlik; her bir eleman için ayrı ayrı oluşturulmuş olur. (3) Elde edilen bu eşitlikler birleştirilerek ortaya yeni bir eşitlik sistemi çıkarılır. (4) Bu sayede eşitlik sisteminin çözülmesiyle de homojen olmayan yapının özellikleri matematiksel olarak ifade edilebilip hesaplanmış olur.

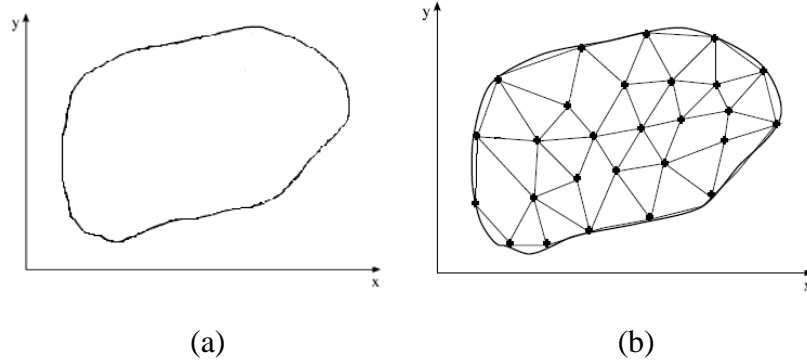


Şekil 3. 1. Bir yüzeyin sonlu elemanlara ayrılması
(http://www.vektorelbilisim.com/m53_sap2000%27de_kullanilan_kavramlar_ve_arayuz_kullanimi.aspx)



Şekil 3. 2. Üçgen, dörtgen ve küp şeklinde elemanlar ve düğüm noktaları
(http://homepages.dias.ie/~js/000_finiteElement.php)

İki boyutlu bir yapı için potansiyel dağılımı $V(x,y)$ ifade edilecek olursa, yapı Şekil 3.2.'deki gibi üçgen veya dörtgen elemanlardan oluşan sonlu elemanlara bölünerek Şekil 3.3.b.'deki gibi bir yapı haline döndüğünde gerekli hesaplamalar yapılabilir. Aynı hesaplamalar simülasyon programları tarafından kolaylıkla yapılmaktadır (Sadıku, 2000).



Şekil 3. 3. İki boyutlu bir yapının çözüm bölgesi ve sonlu elemanlar ayrıştırması
(Doğan, 2012) a)Çözüm bölgesi, b) Sonlu elemanlar ayrıştırılmış hali

Herhangi bir e elemanı için yaklaşık bir potansiyel değeri aranıp elemanlar arası sınırdaki bu potansiyel dağılımları sürekli olacaktır. Bundan dolayı bütün elemanlar için elde edilen potansiyel eşitlikleri ilişkilendirilmelidir. Bütün bölgeler için yaklaşık çözüm aşağıdaki gibidir (Sadıku, 2000; Karaaslan, 2009; Doğan, 2012).

$$V(x, y) \cong \sum_{e=1}^N V_e(x, y) \quad (3.11.)$$

Burada N, çözüm bölgesinin bölündüğü üçgenlerin sayısını, V(x,y) iki boyutlu yapının potansiyelini V_e(x,y) ise oluşan alt bölgelerin potansiyelini ifade eder. İki boyutlu yapıların sonlu elemanlar yöntemiyle analizi için genellikle üçgen veya dikdörtgen elemanlar kullanılmaktadır. Bu elemanlar polinom halinde şu şekilde ifade edilebilir;

$$V_e(x, y) = a + bx + cy \quad , \quad V_e(x, y) = a + bx + cy + dxy \quad (3.12.)$$

3.12 denkleminde a,b,c,d sabitleri hesaplanacaktır. Genelleme olarak elemanların V_e potansiyeli elemanın içerisinde sıfırdan farklı, dışında ise sıfırdır. Potansiyel bulunduktan sonra elektrik alan değerini bulmak için gradyan işlemi kullanılabilir. Üçgen olarak tanımlanan birim elemanların her biri içerisindeki herhangi bir nokta için potansiyel değeri, köşe noktaların potansiyellerine ve eleman şekil fonksiyonuna (α) bağlı olarak ifade dileyebilir (Karaaslan, 2009);

$$V_e = \sum_{i=1}^3 \alpha_i(x, y) V_{ei} \quad (3.13.)$$

$$\alpha_i = \frac{1}{2A} [(x_j y_k - x_k y_j) + (y_j - y_k)x - (x_k - x_j)y] \quad (3.14.)$$

A, birim elemanın alanını ifade etmektedir (Sadiku, 2000). Laplace eşitliği birim uzunluk başına düşen enerji ile birlikte ifade edilecek olursa;

$$W_e = \frac{1}{2} \int \epsilon |E_e|^2 da = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \epsilon V_{ei} \left[\int \nabla \alpha_i \cdot \nabla \alpha_j da \right] V_{ej} \quad (3.15.)$$

Şeklinde olur. W_e e birim elemanına düşen enerjiyi, E; e birim elemanındaki potansiyel değişimini, a ise elemanların şekil fonksiyonunu ifade eder.

Burada;

$$\int \nabla \alpha_i \cdot \nabla \alpha_j da = C_{ij}^e \quad (3.16.)$$

$$W_e = \frac{1}{2} \varepsilon [V]^t [C] [V] \quad (3.17.)$$

C eleman matrisidir. İterasyon yöntemi kullanılarak bulunan değerler ile bilinmeyen değerler kullanılarak elde edilen iki değerden birine en yakın sonuç çıkana kadar işlemlere devam edilir. En son çıkan değer sonuç olarak alınır ve bütün elemanları içeren enerji matrisi (3.17.)'deki gibi ifade edilir (Karaaslan, 2009).

3.4. Yüksek Frekans Yapı Simülatörü (HFSS) ve Özellikleri

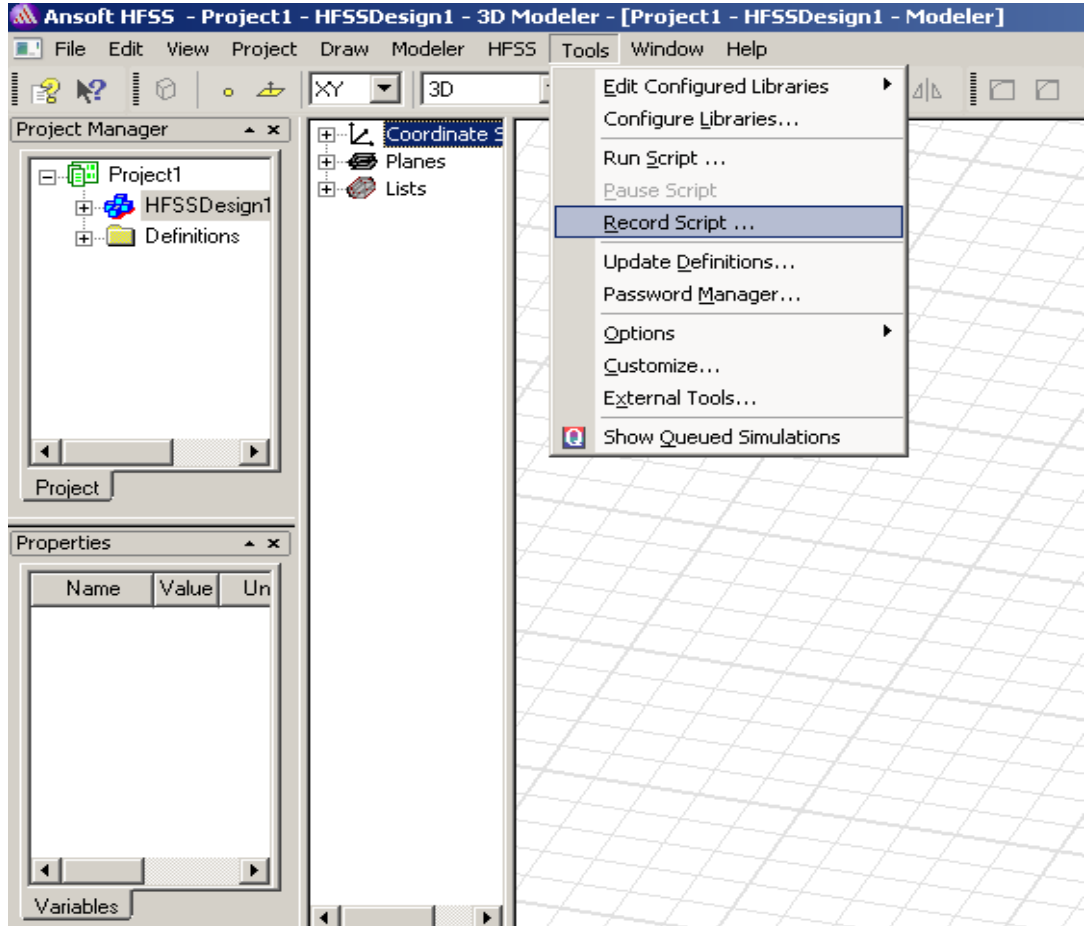
HFSS üç boyutlu veya iki boyutlu yapıların elektromanyetik davranışlarını çözümlenmede kullanılan, sonlu elemanlar metodu ile çalışan bir simülasyon yazılımıdır. Bir yapının elektrik ve manyetik alanları, S parametreleri, uzak ve yakın alan yayılım değerleri, yansıma kayıpları gibi ihtiyaç duyulabilecek her türlü elektromanyetik parametre bu simülasyon yazılımı aracılığı ile elde edilebilmektedir. Anten ve mikrodalga malzeme tasarımlarında, biyomedikal cihazlar gibi hassas teknolojilerin tasarımında gerçeğe çok yakın değerleri hesaplayabildiği için sıklıkla kullanılmaktadır.

HFSS programında elektromanyetik hesaplamalar yapılırken düzgün geometriye sahip olmayan yapılar sonlu elemanlar metodu kullanılarak üçgenlere, dikdörtgenlere bölünerek oluşan yeni geometrik haritaya göre hesaplamalar yapılır ve tüm yapının değerleri çözümlenmiş olur. Çözümün güvenilirliği oluşturulan alt elemanların sayısı ile orantılıdır. Yapı ne kadar çok sayıda alt elemanlarla haritalanırsa, sonuçta hesaplanan değerlerin güvenilirliği o kadar yüksek olacaktır. Birim elemanın boyutları küçüldükçe hassaslık da aynı oranda artacaktır.

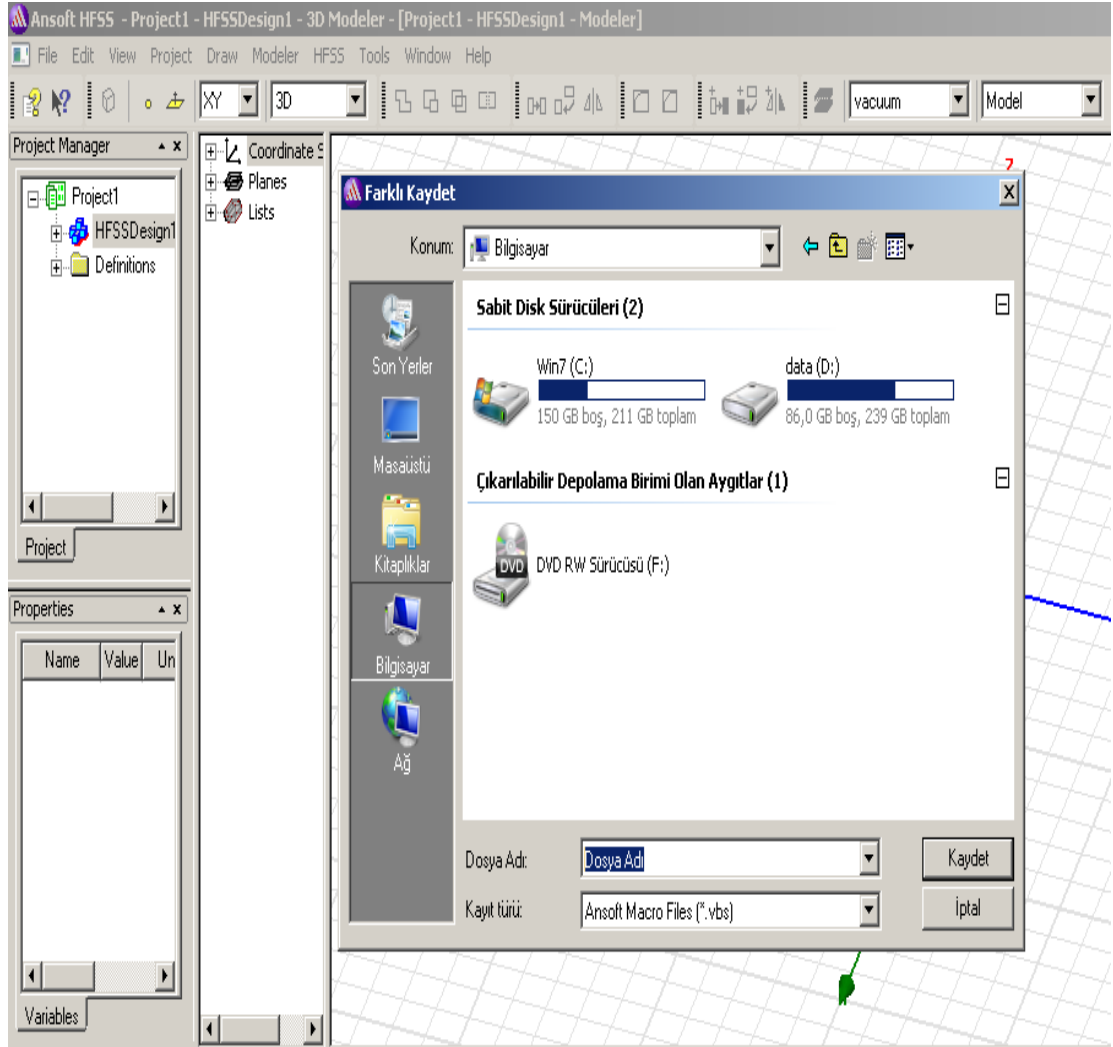
Bu tez çalışmasında tasarlanacak metamezmler için HFSS simülatörü kullanılacaktır. Yapı HFSS ortamında manüel olarak oluşturulmayıp, HFSS ve Matlab'dan oluşturulan bir ara yüz içerisinde HFSS skript kodları ile programlanacaktır.

3.4.a. HFSS Skript

HFSS programında kullanılan bütün özellikler bir skript olarak kaydedilebilmektedir. HFSS programının varsayılan ayarlarında skript komutlarının kullanımı pasif durumdadır. Bu komutları aktif olarak kullanabilmek için Şekil 3.4.'te gösterildiği gibi, "Araçlar" (Tools) menüsü altında "Skript Kaydet" (Record Script) seçeneği tıklanmalıdır. Ardından kaydedilecek skript komut dosyası için Şekil 3.5.'te gösterildiği gibi isim ve kayıt yeri belirtilerek kayıt işlemi başlatılabilir.

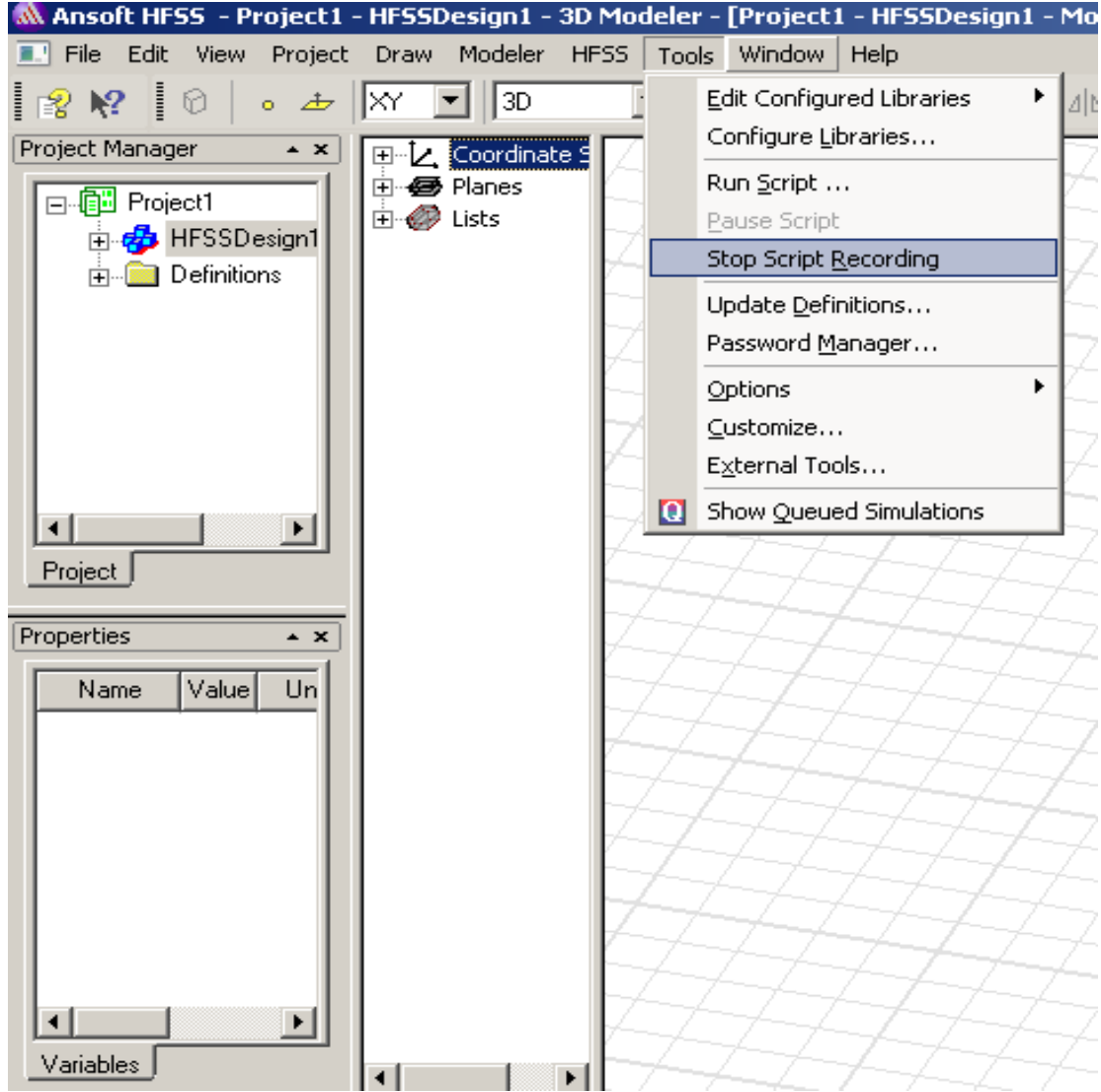


Şekil 3. 4. HFSS programında skript kaydını aktif etmek için 1. adım



Şekil 3. 5. HFSS programında kaydedilecek skript dosyası için konum ve isim belirleme

Bir kere skript aktifleştirildikten sonra HFSS ortamında yapılan bütün olaylar skript kaydı tamamlanana kadar belirtilen dosyaya komut olarak kaydedilmeye devam eder. Skript kaydını durdurmak için ise Şekil 3.6.'daki gibi yine “Araçlar” (Tools) menüsü altında “Skripti durdur” (Stop Script Recording) seçeneği tıklanır veya HFSS programı kapatılır.



Şekil 3. 6. HFSS programında skript kaydının durdurulması

HFSS programından örnek bir yapı olarak bir kutu nesnesi oluşturup yapıya bir elektromanyetik özellik olan mükemmel iletken özelliğini tanımlayacak olursak, yapılacak işlemlerin aynı anda skript dosyası olarak kaydedilmesi sağlandığında, .vbs uzantılı (visual basic script) dosyanın içeriği Şekil 3.7.'deki gibi olacaktır.

```

'-----
' Script Recorded by Ansoft HFSS Version 11.1.1
' 9:21 Ara 02, 2013
'-----

Dim oAnsoftApp
Dim oDesktop
Dim oProject
Dim oDesign
Dim oEditor
Dim oModule

Set oAnsoftApp = CreateObject("AnsoftHFSS.HFSSScriptInterface")
Set oDesktop = oAnsoftApp.GetAppDesktop()
oDesktop.RestoreWindow
Set oProject = oDesktop.SetActiveProject("Project1")
Set oDesign = oProject.SetActiveDesign("HFSSDesign1")
Set oEditor = oDesign.SetActiveEditor("3D Modeler")

oEditor.CreateBox Array("NAME:BoxParameters", "CoordinateSystemID:=", -1,
"XPosition:=", "-0.4mm", "YPosition:=", "-0.4mm", "ZPosition:=", "0mm", "XSize:=",
"1mm", "YSize:=", "0.8mm", "ZSize:=", "0.8mm"), Array("NAME:Attributes",
"Name:=", "Box1", "Flags:=", "", "Color:=", "(132 132 193)", "Transparency:=", 0,
"PartCoordinateSystem:=", "Global", "MaterialName:=", "vacuum", "SolveInside:=",
true)

Set oModule = oDesign.GetModule("BoundarySetup")
oModule.AssignPerfectE Array("NAME:PerfE1", "Objects:=", Array("Box1"),
"InfGroundPlane:=", false)

```

Şekil 3. 7. Kaydedilen HFSS skript dosyasının içeriği

Yukarıdaki kod bloğundaki "oEditor.CreateBox Array" komutuyla başlayan satırda, HFSS programında çizilen kutu nesnesinin koordinat parametreleri ve özellik

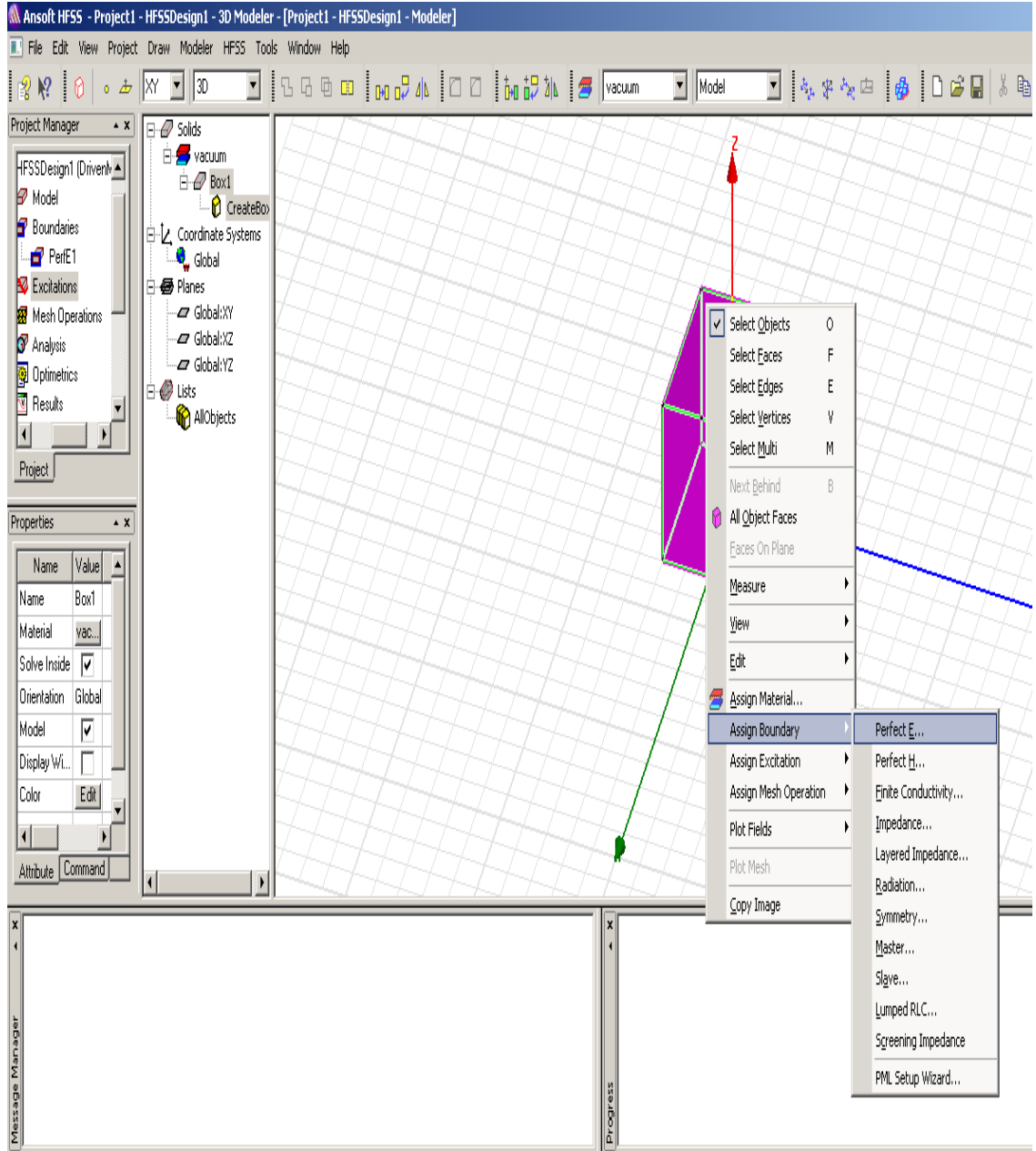
parametreleri yer almaktadır. "oModule.AssignPerfectE Array" komutuyla başlayan satırda ise çizilen kutuya atanan mükemmel elektrik iletkeni özelliğinin bilgisi yer almaktadır.

Örnek skript komutlarından da görülebileceği üzere HFSS programında yapılan her işlem HFSS komut dosyaları haline dönüştürülerek saklanabilmektedir. HFSS programında kullanılan bütün özelliklerin ve olayların komutlara dönüştürülmesi, bu tez çalışmasında da kullanılacağı üzere Matlab-HFSS arayüzünün oluşturulmasını sağlayacaktır.

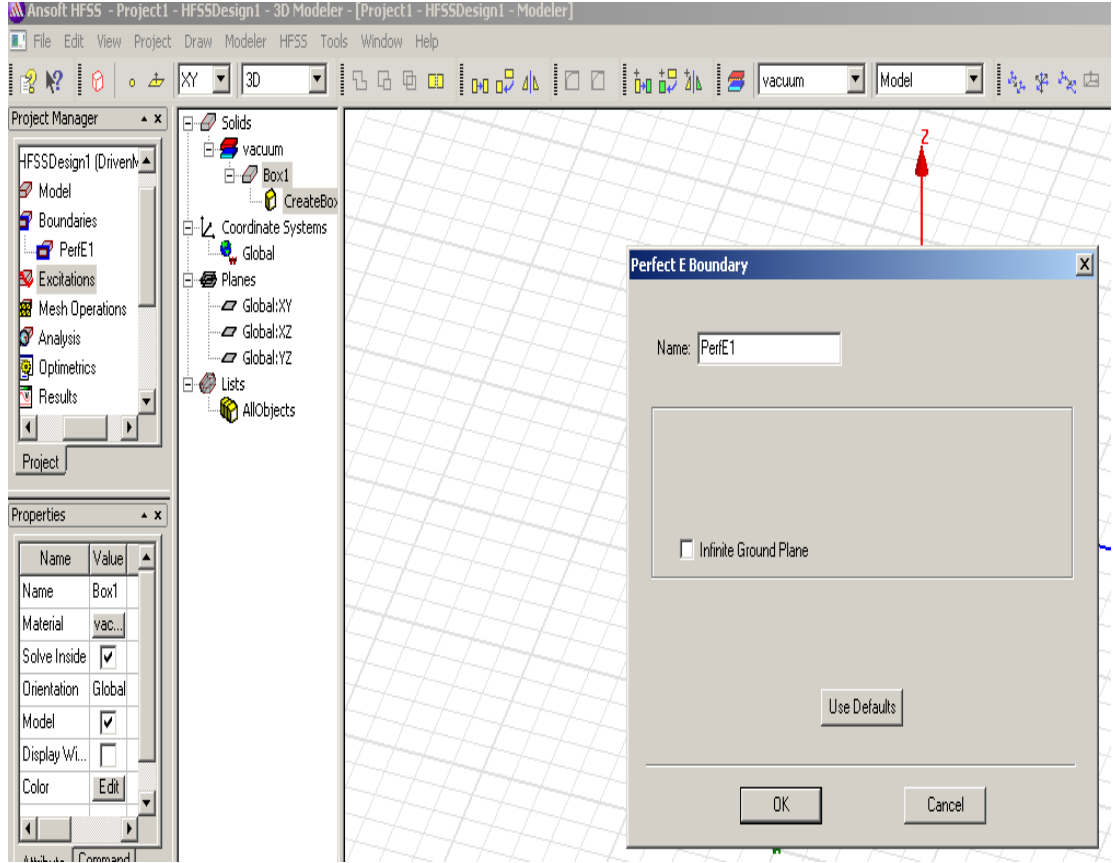
Matlab-HFSS arayüzü sayısal hesaplamaların kullanıldığı Matlab programı ile simülasyon ortamı olan HFSS programlarının birleşimiyle oluşmaktadır. Yapılar Matlab içerisinde çalıştırılacak HFSS fonksiyon programları ile tanımlanacaktır. Bir başka deyişle, Matlab ortamında hazırlanan HFSS'deki her bir komuta karşılık gelecek fonksiyon programları, HFSS skript dosyasını komutlarla oluşturacaktır.

Bunun için HFSS programında kullanılan her bir olayın ve komutun skript karşılığını oluşturan bir Matlab fonksiyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. HFSS ortamında kullanılan komutların birçoğu için Matlab fonksiyonları açık kaynak olarak temin edilebilse de, temin edilemeyen HFSS özellikleri için gerekli Matlab fonksiyonları oluşturulacaktır.

Bu sebeple HFSS programından bir skript oluşturulduğunda bir sonraki adım, aynı skripti oluşturabilecek Matlab fonksiyonunu oluşturmak olacaktır. Örneğin bir yapıya mükemmel elektrik iletkeni özelliğini tanımlamak için gerekli işlem HFSS programından şu şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.8.);



Şekil 3. 8. HFSS programında yapıya mükemmel elektrik iletkenliği özelliği tanımı-1



Şekil 3. 9. HFSS programında yapıya mükemmel elektrik iletkenliği özelliği tanımı-2

Şekil 3.8.'den görülebileceği gibi oluşturulan kutu nesnesine sağ tıklanıp açılan menüden "Assign Boundary" seçeneğini seçerek açılan yandaki menüden de "Perfect E" ifadesi tıklanır. Daha sonra Şekil 3.9.'da görülen pencereden "OK" seçeneği tıklanır. Yapılan bu işlem skript olarak kaydedildiğinde Şekil 3.7.'de belirtildiği gibi Şekil 3.10'da gösterilen komutlar ilgili dosyaya kaydedilir:

```
Set oModule = oDesign.GetModule("BoundarySetup")
oModule.AssignPerfectE Array("NAME:PerfE1", "Objects:=", Array("Box1"),
"InfGroundPlane:=", false)
```

Şekil 3. 10. HFSS'de mükemmel elektrik iletkenliği atandığında oluşan skript dosyası.

Bu özellik için Matlab fonksiyonu oluşturmak için verilen bir ".vbs" uzantılı skript dosyasına bu komutları yazdırmakla da ifade edilebilir. Oluşturulan Matlab

fonksiyonu Şekil 3.11'deki gibi olmalıdır. Matlab fonksiyonunda kullanılan "fid" değişkeni bu komutların yazdırıldığı HFSS ana skript dosyasının tutulduğu dosya bilgisini içerir.

```
function HFSSAssignPE(fid, Name, ObjectList, infGND)
fprintf(fid, '\n');
fprintf(fid, 'Set oModule = oDesign.GetModule("BoundarySetup")\n');
fprintf(fid, 'oModule.AssignPerfectE _\n');
fprintf(fid, 'Array("NAME:%s", _\n', Name);
fprintf(fid, "Objects:=", _\n');
fprintf(fid, 'Array(');
fprintf(fid, ')\n');
fprintf(fid, "InfGroundPlane:=", false, _\n');
```

Şekil 3. 11. Şekil 3.10'da gösterilen skriptin Matlab fonksiyonu.

Tez çalışmasında ihtiyaç duyulan HFSS olay ve özelliklerini HFSS komutu olarak skript dosyasına kaydedecek Matlab fonksiyonlarının büyük çoğunluğu açık kaynak olarak internet ortamında Matlab-HFSS kütüphanesi olarak temin edilebildiyse de Şekil 3.12'deki iki Matlab fonksiyon dosyaları bu kütüphanede mevcut olmadığından sonradan oluşturulmuştur.

```
function HFSSAssignFiniteCond(fid,nameBound,nameObj)
fprintf(fid, '\n');
fprintf(fid, 'Set oModule = oDesign.GetModule("BoundarySetup")\n');
fprintf(fid, 'oModule.AssignFiniteCond Array("NAME:',nameBound,'" _\n',...
' "Objects:=", Array('"', nameObj,'"'), _\n',...
' "UseMaterial:=", true, _\n',...
' "Material:=", "copper", _\n',...
' "Roughness:=", "0um", _\n',...
' "UseThicknss:=", false, _\n',...
' "InfGroundPlane:=", false) _\n');
```

```

function HFSSAssignPH(fid, Name, ObjectList)
nObjects = length(ObjectList);
fprintf(fid, '\n');
fprintf(fid, 'Set oModule = oDesign.GetModule("BoundarySetup")\n');
fprintf(fid, 'oModule.AssignPerfectH _\n');
fprintf(fid, 'Array("NAME:%s", _\n', Name);
fprintf(fid, "Objects:=", _\n');
fprintf(fid, 'Array(');
for iObj = 1:nObjects,
    fprintf(fid, "%s", ObjectList{iObj});
if (iObj ~= nObjects)
    fprintf(fid, ',');
end;
end;
fprintf(fid, '))\n');

```

Şekil 3. 12. HFSS-Matlab arayüzü için oluşturulan matlab fonksiyonları.

3.5. Matlab – HFSS Arayüzü

Çalışmada oluşturulan arayüzde Matlab ile HFSS programının interaktif şekilde çalışması sağlanmıştır. Giriş parametre tanımları Matlab ana dosyasında tanımlanır ve Matlab'da kullanılacak genetik algoritma için giriş popülasyonunun başlangıç değerleri Matlab tarafında atanır. Başlangıç değerleri atanan genetik algoritma bireyleri, optimizasyon döngüsü içerisinde yapının analizi için Matlab'dan çağrılan HFSS fonksiyonları ile yapının HFSS'de oluşturulabilmesi için ana skript dosyası oluşturulur ve her bir döngü için bu skript dosyası tarafından HFSS'de yapı oluşturulup analiz edilir. Matlab tarafında yapılacak işlemler;

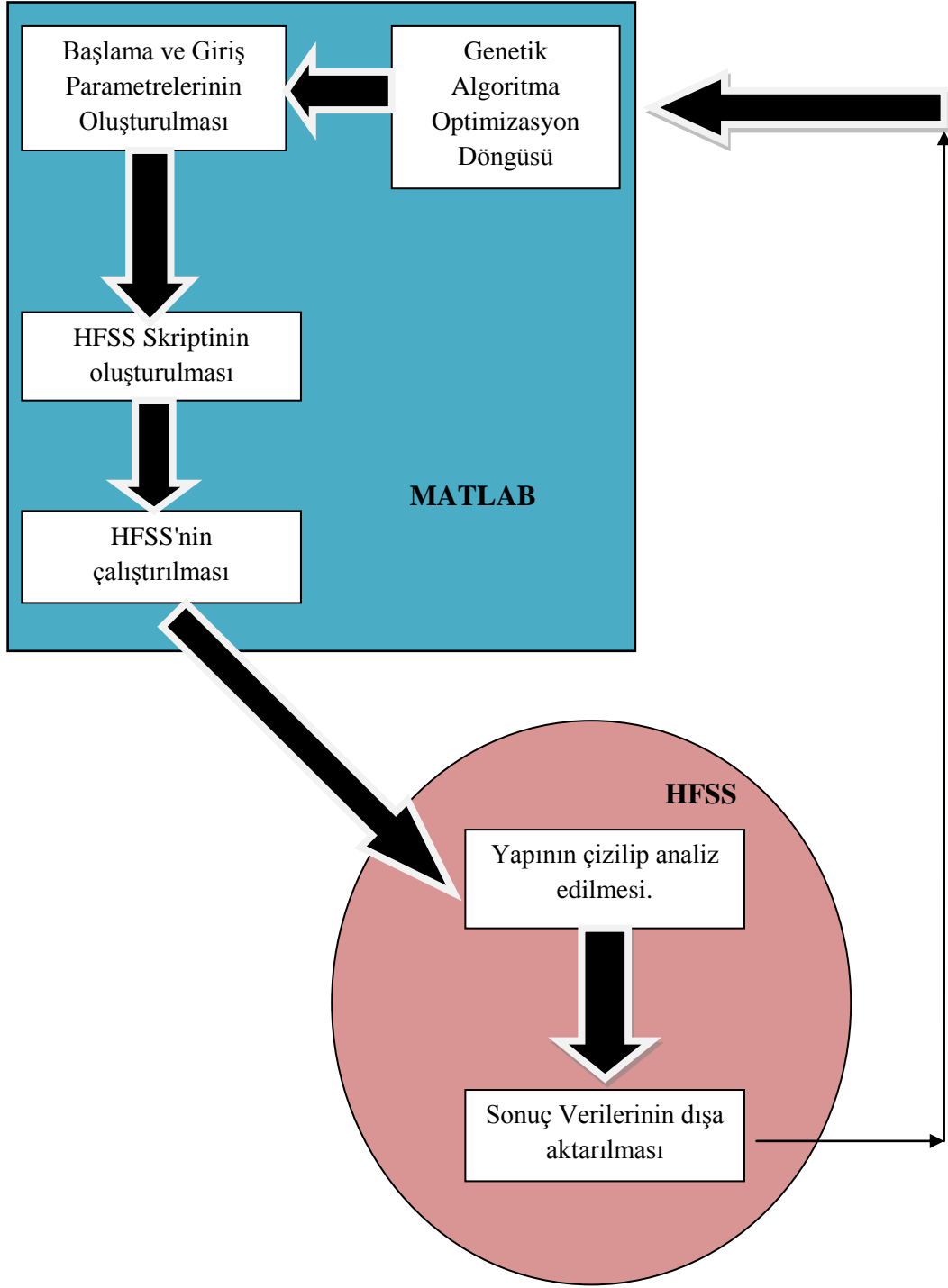
- Gerekli sabit ve değişkenlerin tanımlanması,
- Optimize edilecek yapı için HFSS skriptinin oluşturulup HFSS programının çalıştırılması,

- Analiz yapıldıktan sonra hesaplanan S parametreleri gibi çıkış parametrelerinin HFSS'den alınması,
- Alınan analiz sonuçları ve S parametrelerinden gerekli hesaplamaların yapılması
- Genetik algoritmanın çalıştırılıp elde edilen değerlerin uygunluğunun tespiti şeklindedir.

Oluşan yapıda HFSS tarafında yapılacak işlemler ise;

- Yapının çizdirilmesi,
- Çözümlemenin yapılması,
- Tasarımın analiz edilmesi
- Verilerin dışarı aktarılması şeklindedir.

Şekil 3.13'te tasarlanan platformun yapısı gösterilmiştir. Oluşturulan Matlab ana program dosyasında genetik algoritma için giriş parametreleri popülasyon değişkenleri tanımlanmıştır. Gerekli tanımlamalar yapıldıktan sonra HFSS ana skript dosyasını oluşturacak Matlab fonksiyonları tasarlanan yapı için çağrılmıştır. HFSS programında çizdirilecek yapının bütün parametreleri belirlendikten sonra HFSS.exe dosyasının çalışması Matlab tarafından tetiklenir ve HFSS programı açılır. Matlab tarafından HFSS skript dosyasına kaydedilen yapı skript dosyası üzerinden HFSS'de çizdirilir ve gerekli analizler yapılır. Hesaplanan S11 iletim ve S21 yansıma değerleri .txt uzantılı dosyaya kaydedilir ve tekrar Matlab ana programı kaldığı yerden bu .txt uzantılı sonuç dosyasını okuyarak işlemlere devam eder. Alınan değerler S11 ve S21 değişkenlerine atanarak bu parametreler üzerinden genetik algoritma için gerekli değerlerin hesaplanması sağlanarak bir genetik algoritma döngüsü tamamlanmış olur.



Şekil 3. 13. Matlab – HFSS arayüzünde yapılan işlemlerin akış grafiği

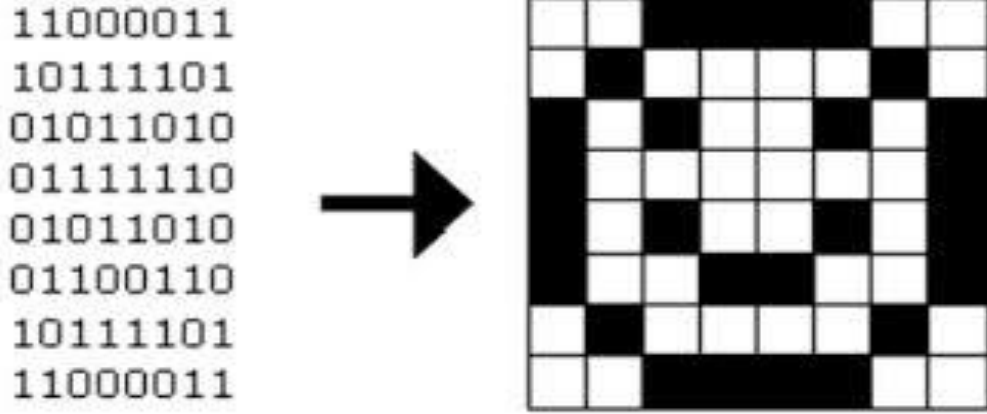
3.6. Pikselleme Yöntemi

Çalışmada tasarlanan yapının optimize edilecek parametrelerinin, genetik algoritma içerisinde işlenebilmesi için kromozomlara kodlanması gerekmektedir. Kromozomların uzunluğu, optimizasyonun arama uzayını belirler ve karmaşık yapılar için çok uzun kromozomların tanımlanmasına ihtiyaç duyulur. Bu çalışmada tasarlanan yapı için levha yüzeyler küçük piksellerden oluşan geometrilere bölünecek, oluşan her bir pikselin metal veya dielektrik olması durumu ise genetik algoritmanın bireylerini oluşturan kromozomlarda ikili sayı sistemleri ile ifade edileceği için 1 veya 0 olarak tanımlanacaktır.

Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'te siyah ve beyaz piksellerin nasıl 1 ve 0 olarak temsil ettiği örnek olarak gözlemlenebilir. Genetik algoritmanın başlangıç değerlerini oluştururken her bir birey için temsil ettiği yapının geometrisini oluşturan pikseller rastgele 1 veya 0 değeri alarak metal veya dielektrik olarak tasarlanacaktır.

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

Şekil 3. 14. Piksellerin 1 ve 0 olarak ifade edilmesi -1
(<https://www.library.cornell.edu/preservation/tutorial/intro/intro-01.html>)



Şekil 3. 15. Piksellerin 1 ve 0 olarak ifade edilmesi-2
(<http://nifty.stanford.edu/2011/malan-bmp-puzzles/>)

Her bir pikseli temsil eden birim hücrenin boyutları ise; 0.5mm genişlik ve 0.5mm yükseklik olacak şekilde tasarlanmıştır. Kutu içerisine yerleştirilen levhaların önünde ve arka tarafında aynı piksel geometrisi kullanılacaktır. Levha yüzeyi yatay olarak 16, dikey olarak 16 pikselden oluşacak şekilde 256 pikselden oluşan birim hücre boyutlarına ayrılarak her bir hücrenin rastgele metal veya dielektrik olması prensibi ile başlangıç yapısı oluşturulur. Her bir piksel hücre 1 veya 0 değerini alarak kromozomda kodlandığı için kromozoma yapının geometrisini şifrelemek için 256 bit uzunluğunda bir dizi değişkeni tanımlanır.

Şekil 3.16'da rastgele piksellenen bir geometrinin görüntüsü izlenmektedir. Burada tasarlanan yapı da benzer şekilde rastgele atanan piksel hücrelerin aranan değerler için optimize edilmiş halinden oluşacaktır.



Şekil 3. 16. Rastgele piksellenen örnek bir geometri (karekod)
(<http://www.jennyreadresearch.com/misc/sciart/binaryrandomdotpattern/>)

3.7. Genetik Algoritma Optimizasyonu

Genetik algoritma, karmaşık problemlerin çözümünde oldukça işlevsel olan bir yapay zekâ yöntemidir ve elektromanyetik hesaplamalarında oldukça rağbet görmektedir. Genetik algoritmanın temeli Darwin'in Evrim Teorisi'ne dayanmaktadır. Darwin'in teorisine göre her zaman en iyi uyumu gösterenler hayatta kalmaktadır. Buna doğal seçim de denmektedir (Darwin, 1859). Bu teoriye göre bir canlı topluluğunda daha iyi olanın hayatta kalma şansı daha yüksektir. Bu sebeple iyiler ve genetik özelliklerini kısmen ya da tamamen onlardan alan yavrular daha yüksek ihtimalle yeni nesiller oluşturacak ve genetik bilgilerini yeni nesillere aktarma şansı bulacaklardır (Arslanoğlu, 2006). Canlılarda süregelen bu genetik süreç 1975 yılında Holland tarafından bilgisayar ortamında denenmiştir (Holland, 1975). 1989 yılında ise Holland'ın öğrencisi Goldberg genetik algoritmanın pratikte kullanılabileceğini kanıtlayarak çalışmalarını bir kitap halinde yayınlamıştır (Goldberg, 1989).

Genetik algoritma kullanarak çözüm aranan problemin kendi doğasından kaynaklanan herhangi bir bilgiye ihtiyaç duyulmaz sadece problemin parametre değerlerine ve bu parametrelerin uygunluğunu kıyaslayabilmek için bir kodlama sistemine ihtiyaç duyulur (Daban ve Özdemir,2004). Çünkü genetik algoritma geleneksel optimizasyon yöntemlerinden farklı olarak problemin parametre kümesini değil bu parametrelerin kodlanmış biçimlerini kullanır. Birçok karmaşık yapıdaki problemlere kolayca adapte edilebilir bir yöntemdir. Çünkü doğrusal yapıdaki algoritmalarındaki kısıtlamaları yoktur. Problem ve parametreleri aranan uyum fonksiyonuna göre doğru bir şekilde kodlanabildiği takdirde, genetik algoritma diğer arama ve optimizasyon yöntemlerinden daha etkin kullanılır.

3.7.a. Basit Genetik Algoritma

Genetik algoritmalar, parametrelerin kodlanması, başlangıç popülasyonunun oluşturulması, çoğalma, uygunluk değerlerinin hesaplanması, seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinin gerçekleştirilmesinden meydana gelir. (Emel ve Taşkın, 2002) Bu işlemler genetik algoritma içerisinde şu sırayla yapılmaktadır:

- Tüm mümkün çözümler kodlanıp belli bir sayıda çözüm kümesi rastgele seçilerek bir popülasyon oluşturulur. Bu popülasyonun bireyleri algoritmanın başlangıç popülasyonunu oluşturur.
- Popülasyondaki bireylerin uygunluk değeri hesaplanır.
- Belli bir sayıda bir grup birey rastgele seçilip çaprazlama ve mutasyon işlemlerine tabii tutularak yeni bireyler oluşturulur.
- Yeni bireylerin oluşturduğu yeni popülasyonun uygunluk değeri hesaplanır.
- Aranan kriter sağlanana kadar veya iterasyon sayısı tamamlanıncaya kadar işlemler döngü içerisinde devam eder ve en son bulunmuş en iyi uygunluk değerine sahip birey çözüm olarak seçilir.

Genetik algoritma doğası gereği uyum göstermeyen bireyleri operatörleri ile elemektedir. Bu doğal eleme süreci şu kazanımları beraberinde getirir (İşlier, 2006):

- Uyum değeri az olan yani başarısız bireylerin çoğalma şansı azaldığı için popülasyon neslinin daha kötü bir uyuma doğru gidişi zorlaşır.
- Genetik algoritmanın yapısı bireylerin daha kötüye gitmesi engellemekle kalmayıp zaman içinde daha ivmeli olarak iyileştirmeye gidişi de gerçekleştirmektedir. Bu sayede yeni nesiller her zaman daha iyi uyuma sahip, problemin çözümünü daha iyi gerçekleyen bir yapıya doğru ilerler.

3.7.b. Kodlama

Bir problemin genetik algoritma ile çözümünün sağlanabilmesi için, problemin ilgili parametrelerinin algoritma içerisinde kullanılabilir bir bilgiye kodlanması gerekmektedir. Bu bilgi de genelde ikili sayı sistemini oluşturan 1 ve 0 şeklindedir. Kodlama aşamasında arama uzayındaki tüm mümkün çözümler bir dizi olarak kodlanır. Her bir olası çözüm bir bireyi oluşturur ve arama uzayı içerisindeki rastgele oluşturulan bireyler genetik algoritmanın kodlanmış ham verisi olan popülasyonunu oluşturmaktadır. Bir popülasyondaki her birey, iyileştirilmesi planlanan parametreleri içeren kodlanmış bilgiye sahip olmalıdır. Bu bilgilere genetik kavram olarak kromozom denmektedir. Kromozomların uzunluğu arama uzayını tanımlar ve karmaşık yapıların çözümü daha uzun kromozom bilgilerini gerektirir.

Bu çalışmada tasarlanacak malzemenin yüzeyini oluşturan levhalar pikselleme yöntemiyle küçük piksel geometrilerine bölünmüştür. Her bir piksel dijital bilgi olarak 1 veya 0 şeklinde kromozomlara kodlanmıştır. 1 ile kodlanan bir piksel metal yüzeyi, 0 ile kodlanan pikseller ise dielektrik yüzeyi temsil etmektedir. Dolayısıyla kromozom uzunluğu çalışmada levhanın bölündüğü piksel sayısına eşittir. 16 yatay 16 düşey olmak üzere 256 piksel için 256 bit uzunluğundaki bir kromozom genetik algoritmada her bir bireyin kodlanmış bilgisini ifade etmektedir.

3.7.c. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

Problemin çözümü için olası çözümleri bulunduran bir çözüm grubu oluşturulur ve bu çözüm grubu genetik algoritma içerisinde popülasyon olarak isimlendirilmiştir. Başlangıç popülasyonu oluşturulurken rastgele 1 ve 0 değerleri kodlanır. Programda 0 ile 1 arasında rastgele ondalıklı sayı üretilir. Üretilen sayı 0,5'ten küçük ise kromozom değeri 0 olarak kodlanır, değilse 1 olarak kodlanır (Yeo ve Agyel, 1996). Yapılan çalışmada başlangıç popülasyonu olarak rastgele 100 birey oluşturulmuştur. Her bir birey 256 pikseli içeren kod sistemine sahip olduğundan 256 bit uzunluğundaki kromozomlarında rastgele atanan 1 ve 0'lardan oluşturulur. Başlangıç popülasyonunu oluşturan Matlab programında kullanılan kodlar Şekil 3.17'deki gibidir.

```
size_pop=100;
size_crm=256;
forp = 1:size_pop           //populasyonun birey sayısı kadar
    forr = 1:size_crm       //her bireye kromozom sayısı kadar
        if rand() <0.5
            populasyon(p, r) = 0;
        else
            populasyon(p, r) = 1;
        end
    endend
```

Şekil 3. 17. Başlangıç popülasyonunu oluşturan Matlab kodları.

Başlangıç popülasyonu için önceden tanımlanmış bir kromozom havuzu da kullanılabilir. Yapılan çalışmada genetik algoritma iterasyon süresi uzun olduğundan ve

optimizasyonun yapıldığı bilgisayar donanımının elektrik kesintisi gibi dış faktörlerden dolayı kesintiye uğramasından dolayı her iterasyon sonrasında popülasyon bilgisi kayıt altına alınmıştır. Sistem yeniden çalışır hale getirildiğinde bir önceki iterasyonun en son popülasyonu yeni başlatılacak iterasyon için başlangıç popülasyonu olarak atanmıştır. Bu sayede her kesintide optimizasyonun en baştan başlaması önlenmiştir.

3.7.d. Uygunluk Değerlerinin Hesaplanması (Amaç Fonksiyonu)

Uygunluk değeri genetik algortmada bireylerin bir argüman olarak kullanıldığı amaç fonksiyonudur. Bir minimize problemi için p. bir üyenin uygunluk değeri $fit(p)$, o iterasyondaki amaç fonksiyonunun karşılığıdır. Doğada her bireyin uygunluğu onun dayanıklılığı baz alınarak belirlenir ve daha uyumlu olan, koşullara karşı daha fazla dayanıklılık gösterir. Yapılan çalışmada oluşturulmak istenen optimum çözüm için aranan amaç fonksiyonu her bir uygulama için farklı olmak üzere üç tanedir. Bunlar aşağıdaki gibidir.

$$fit_1(p) = \varepsilon_r < 0 \wedge k > 1.25 \quad (3.18.)$$

$$fit_2(p) = \varepsilon_r < 0 \wedge k > 1 \quad (3.19.)$$

$$fit_3(p) = \mu_r < 0 \wedge k > 0.25 \quad (3.20.)$$

Her bir amaç fonksiyonunun çözümü için ayrı çalışma yapılmıştır. fit_1 fonksiyonu için $\varepsilon_r < 0$ olan ortama sahip bakışsızlık değeri 1.25'ten büyük olacak metalmazeme tasarımı, fit_2 fonksiyonu için $\varepsilon_r < 0$ olan ortama sahip bakışsızlık değeri 1'den büyük olacak metalmazeme tasarımı, fit_3 fonksiyonu için ise hem $\mu_r < 0$ hem de $k > 0.25$ özelliklerinin ikisinin de sağlandığı bakışsız ortam tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Bu üç amaç fonksiyonunu da gerçekleştirmek için çok amaçlı genetik algoritma kullanılmıştır. Genetik algortmada her bir birey için aranan amaç fonksiyonu yani uygunluk değerlerini hesaplamak; başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra sıradaki aşamadır. Her bir uygunluk değeri için farklı amaç fonksiyonlarına sahip algortmalar ayrı zamanlarda çalıştırılmıştır.

3.7.e. Çok Amaçlı Genetik Algoritmalar

Eğer genetik algoritmanın çözmek istediği problemin amacı birden fazla ve farklı fonksiyonları iyileştirmeyi amaçlıyorsa bu tür durumlarda çok amaçlı bir uygunluk (amaç) fonksiyonu tanımlamak gereklidir. Yapılan çalışmada denklem 3.18. , 3.19. ve 3.20.'de gösterilen iyileştirmeleri gerçekleştirebilmek için tasarlanacak malzemenin ortam değişkenlerinden hem reel epsilonun negatif olması hem de bakışimsızlık değerinin mutlak büyüklüğünün belirlenen sınır değerlerinden (sırasıyla 1.25, 1 ve 0.25) büyük olması amaçlanmıştır. Üç amaç ta farklı iki fonksiyondan meydana gelmektedir. Her iki fonksiyona da hizmet edecek genetik algoritmayı doğru kurgulayabilmek için kromozomların uygunluk değerinin hesaplandığı uyum fonksiyonu (fitness function) problemin çözülmesi istenen parametrelerinin toplamı şeklinde yazılmalıdır.

Murata'nın 1997 yılında önerdiği çok amaçlı genetik algoritma yaklaşımında (moga) çoklu amaçlar, değişken ağırlıklı katsayılarla çarpılarak toplamalarının sayısal bir fonksiyon içerisinde ifade edilmesi esasına dayanır (Murata, 1997). Bu yöntemde esas olan çözülecek problemin her bir amacına karşılık gelen uygunluk kriterlerinin toplamından oluşan yeni bir birleşik amaç fonksiyonu yazabilmektir ve bunun neticesinde de yöntem ağırlıklı toplam yaklaşımı (weighted sum approach) olarak isimlendirilmiştir. Çözülecek problem fonksiyonlarını içeren yeni uyum fonksiyonu şu şekilde tanımlanır;

$$F(x) = \sum_{m=1}^M W_m \cdot f_m(x) \quad (3.21.)$$

Burada W_m toplam uyum fonksiyonunu oluşturan her bir uyum fonksiyonunun ağırlık katsayısıdır. F , oluşturulan yeni ağırlık fonksiyonunu ifade eder f_m ise iyileştirilmesi planlanan her bir parametreyi belirtir.

$W_m \in [0,1]$ ve $\sum_{m=1}^M W_m = 1$ olmalıdır.

Bu noktadan itibaren artık diğer operasyonlar tek amaçlı genetik algoritma gibi aynı yöntemle çözülür. Değişen tek şey genetik algoritmanın amaçladığı fonksiyonun birden fazla parametre ile ağırlıklı toplam şeklinde yazılmasıdır. Yapılan çalışmada bunu sağlamak için yeni amaç fonksiyonu aşağıda belirtilmiştir.

Denklem 3.18. için dönüştürülen yeni amaç fonksiyonu;

$$W(x) = 0,2 * \epsilon_r(x) + 0,8 * k(x) \quad (3.22.)$$

Yeni amaç fonksiyonu oluşturulurken her bir amacın ağırlıklı toplam fonksiyon içerisindeki ağırlık katsayısı gerçek epsilon için 0,2 ; k bakışsızlığı için ise 0,8 olarak belirlenmiştir.

Denklem 3.19. için dönüştürülen yeni amaç fonksiyonu;

$$W(x) = 0,25 * \epsilon_r(x) + 0,75 * k(x) \quad (3.23.)$$

Denklem 3.20. için dönüştürülen yeni amaç fonksiyonu;

$$W(x) = 0,4 * \mu_r(x) + 0,6 * k(x) \quad (3.24.)$$

Burada belirlenen ağırlık katsayıları rastgele seçilmemiştir. İlk uyarlamalarda epsilonun k'dan çok daha hızlı iyileşme gösterdiği izlenmiş olmakla beraber, her iki parametrenin aynı dengede iyileşme gösterebilmesi için epsilonun ağırlığı oldukça azaltılıp, bu ağırlık k'ya devredilmiştir. Artık yeni amaç fonksiyonu W(x) olarak belirlenmiş, bu matematiksel toplam değerini gittikçe küçülterek negatif değere minimize edecek bir optimizasyon gerçekleştirmek amaçlanmıştır. Negatife giden iyileştirme, eng ve mng malzeme ortamlarında ϵ ve μ 'nün negatif reel değere sahip olması bakımından zorunluluktur. Ama bakışsızlık değerinin mutlak büyüklüğünün temelde her üç uygulamada da $k > 0$ olması beklendiğinden, bakışsızlık da negatif

yönde iyileştirilmeye tabi tutulacak ve sonuç olarak elde edilen negatif bakımsızlığın mutlak değeri alınacaktır.

3.7.f. Çoğalma

Çoğalma işlemi üreme operatörü olarak da adlandırılabilir. Her bireyin uygunluk değeri hesaplandıktan sonra ortalama bir uygunluk değeri belirlenir. Ortalama uygunluk değerinin üstündeki bireyler, sonraki nesillere daha büyük uygunluk değerleri aktararak yeni neslin daha uyumlu olması olasılığını yükseltmek için kopyalanarak bir havuza kaydedilir. Yapılan çalışmada başlangıç popülasyonu olarak oluşturulan 100 bireyin uygunluk değeri hesaplandıktan sonra uygunluk değerinin negatif değere indirgenmesi amaçlandığı için küçükten büyüğe sıralama işlemi yapılır ve en iyi ilk elli birey başka bir diziyeye kopyalanarak bundan sonraki genetik algoritma operasyonları bu yeni nesil üzerinde uygulanmıştır.

```
[W, index] = sort(W);  
populasyon=populasyon(index,:);  
size_pop/=2;  
for p = 1:size_pop  
    populasyon(p,:) =populasyon(p,:)  
    W(p,:)=W(p);  
end
```

Şekil 3. 18. Çoğalma işleminin gerçekleştirildiği Matlab kodları.

Şekil 3.18'deki kod bloğunda önce popülasyonun uyum değerleri sıralanır. Bu sıralama işlemi sonrasında popülasyonu da eşleştirip sıralamak için "index" isimli bir matrise her elemanın indis değeri atanır. Ve bu indis değerine karşılık gelecek şekilde popülasyon yeni sıralamaya uyarlanır. Bu şekilde ayrı dizilerde tutulan uyum değerleri ile popülasyon bilgileri hem sıralanmış hem tekrar eşleştirilmiş olur. Daha sonra popülasyon büyüklüğü yarıya indirilerek en iyi değere sahip bireylerin genetik operasyonlar için yeni bir jenerasyon olarak çoğaltılması sağlanır.

3.7.g. Seçim İşlemi

Bir sonraki nesle yeni yavru oluşturmak için mevcut bireyler arasından rastgele belirli sayıda bireyin seçimi yapılır. Seçme işleminin amacı yeni nesli oluşturacak ebeveynleri belirlemektir. Bu durum doğal seçimdeki en uygun olanın yaşaması prensibiyle uyusmaktadır yani ortalama uygunluk değerinin üstüne sahip bireylere daha çok çoğalma fırsatı tanımak amaçlanır. Yeni neslin daha iyi uygunluk değerine sahip olması düşünüldüğü için o nesli türetecek ebeveynlerin de uygunluk değerinin iyi olması bu amaca hizmet eder. O yüzden seçim işlemi yapılırken rastgele seçilen bireyler kendi içerisinde uygunluk değerine göre karşılaştırılmalı ve iyi olan bireyler sonraki genetik algoritma operasyonlarına katılarak yavruları oluşturmalıdır. En çok kullanılan seçim yöntemleri; elitist seçim, rulet tekerleği seçimi ve turnuva seçimidir.

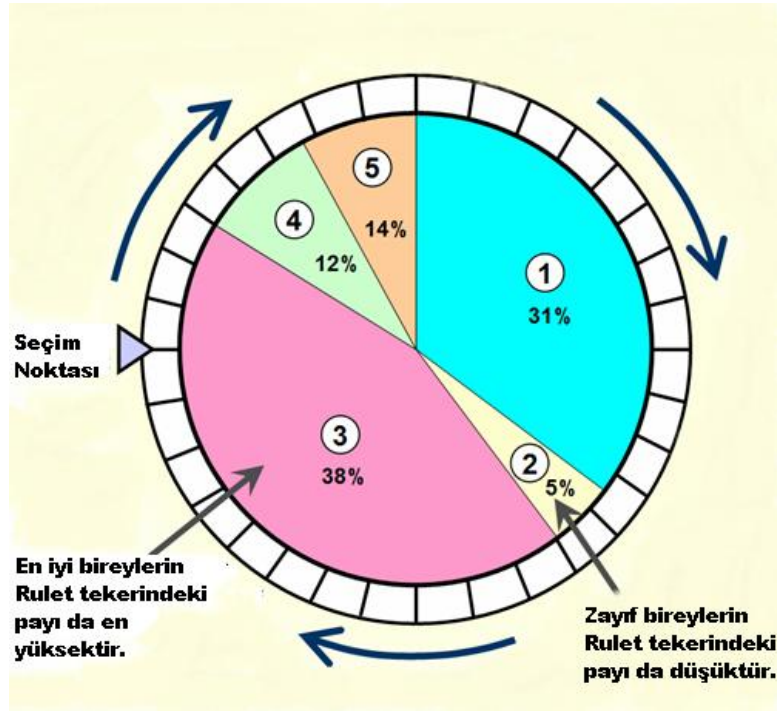
3.7.g.1 Elitist Seçim Yöntemi

Bu seçim mekanizmasının temel prensibi, kromozomların uygunluk değerine göre sıralanıp en iyi olanın istenilen sayıda seçilmesi şeklindedir. Bu sebeple en iyi uygunluk değerine sahip olan kromozomlar bir sonraki nesli oluşturmak için ebeveyn olarak belirlenebilir ve üstün özellikli bireyler, yeni nesli belirlemede aktif rol almış olur. i sayıdaki en iyi kromozomlar içerisinde bir kromozom seçilecekse 0 ile $i-1$ sayısı arasında rastgele oluşturulan bir p tam sayısı kullanılarak popülasyonun en iyileri sıralamasındaki p . elemanı seçerek de aynı işlem gerçekleştirilebilir. Yapılan tez çalışmasında popülasyonun en iyi 5 değeri saklanarak bir sonraki nesillere aktarılmıştır. Bu sayede aynı zamanda $i+1$. iterasyonda daha kötü uygunluğa sahip bireylerin oluşmasının önüne geçilmiştir.

3.7.g.2. Rulet Teker (Uygunluk Orantılı) Seçim Yöntemi

Bu seçim yönteminde uygunluk değeri yüksek olan kromozomların diğerlerine oranla seçilme şansı daha yüksektir. Bütün bireylerin uygunluk değerleri toplanır. Her bireyin sahip olduğu uygunluk değeri toplam uygunluk değerinin yüzde kaçını oluşturduğu belirlenir. En iyi uygunluk değerine sahip olanların yüzde oranı, diğerlerine göre daha fazla olacaktır.

Varsayılan bir rulet tekeri alanı % 100 kabul edilerek her bireyin uygunluk değerine karşılık gelen oranda bu rulet tekerinin üzerinde yer aldığı kabul edilir. Seçim işlemini gerçekleştirmek için bir bilye rulet üzerine bırakıldığında bilyenin durduğu yerdeki uygunluk değerine sahip kromozomun seçildiği esas kabul edilir. Anonim (2013)'den alınan Şekil 3.19'da kromozomların uygunluklarına göre rulet tekerinde nasıl yerleştirildiği görülmektedir.



Şekil 3. 19. Rulet tekeri (<http://www.edc.ncl.ac.uk/highlight/rhjanuary2007g02.php/>)

Rulet üzerindeki bütün dilimlerin seçilme şansının, dilimlerin genişliği ile orantılı olduğu görülmektedir. Negatif uygunluk değerine sahip genetik algoritmalarda rulet tekeri seçim yöntemi uygulanamamaktadır. Yapılan çalışmada da uygunluk değeri olarak kullanılan fonksiyonların değeri minimize edilmeye çalışıldığı ve negatif değerler beklendiği için bu seçim yöntemi kullanılmamıştır.

3.7.g.3 Turnuva Seçim Yöntemi

Bu yöntemde iki veya daha fazla birey, mevcut kromozomlar arasından rastgele seçilir. Seçilen kromozomlar içerisindeki en iyi uygunluk değerine sahip kromozom bir sonraki operasyonlarda kullanılmak üzere seçilmiş olur. Turnuva yönteminde rastgele

seçilen kromozomlar kendi içlerinde uygunluk değerlerine göre karşılaştırılır ve en iyilerin yeni nesli oluşturmaya katkı sunması planlanmıştır. Yapılan çalışmada 100 kromozom içerisinde rastgele 4 kromozom seçilmiştir. 4 kromozomun ilk ikisi kendi içerisinde uygunluk değerine göre karşılaştırılıp daha iyi olanı sonraki operasyonlar için seçilmiştir. Son iki kromozom da aynı yöntemle kendi içerisinde karşılaştırılıp daha iyi olan kromozom, ilk iki kromozomdan üstün gelen kromozom ile birlikte sonraki operasyonlara devam etmek üzere seçilmiş olurlar.

```
% TURNUVA SEÇİMİ
for turnuva = 1:4
turnuva[i] = round(rand()*50);
end
% KARŞILAŞTIRMALAR

if W[turnuva[1]] < W[turnuva[2]] %1. Karşılaştırma
kazananlar[1] = turnuva[1];
else
kazananlar[1] = turnuva[2];
end

if W[turnuva[3]] < W[turnuva[4]]%2. Karşılaştırma
kazananlar[2] = turnuva[3];
else
kazananlar[2] = turnuva[4];
end
```

Şekil 3. 20. Turnuva seçimini gerçekleştiren Matlab kodları.

Yapılan çalışmada turnuva seçimini gerçekleştirmek için Şekil 3.20'de görülebileceği üzere popülasyonun 50 bireyi içerisinde rastgele 4 tane bireyin indis numarası "rand()" fonksiyonunu kullanarak 0 ile 1 arasında rastgele sayı üretip bunu 50 ile çarpmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Rastgele elde edilen bu indisler turnuva isimli dizide tutularak bu indis numaralarına karşılık gelen iyileştirmeler karşılaştırılacaktır.

İlk iki indis kendi içerisinde son iki indis de kendi içerisinde karşılaştırılarak en iyi uyum değerine sahip (minimum W değeri) bireyler kazanan olarak ilan edilecek ve bu bireylerin indis numaraları kazananlar isimli 2 elemanlı bir dizide saklanacaktır. Bundan sonraki genetik algoritma operasyonuna girecek bireyler artık belli olmuştur.

3.7.h. Çaprazlama

Seçim işleminde elde edilen iki kromozomun genetik algoritma içerisindeki misyonu kendi genetik özelliklerini yavrularına aktarmaktır. Bu amaçla bu iki kromozom ebeveyn olarak muamele görür ve çaprazlama işlemi ile birlikte yeni yavrular meydana getirirler. Böylelikle bazı kalıtsal özellikler yavru kromozomlara aktarılmış olur. Çaprazlama işlemi yürütmek için seçim operatöründe elde edilen ebeveyn kromozomlar içerisinde bir ayırım noktası belirlemek öncelikli yapılması gerektirir. Kromozom uzunluğu n kabul edilirse, $1 < a < n-1$ aralığında olacak bir a noktası ayırım noktası olarak rastgele belirlenir. Daha sonra her iki kromozomda 1. genden itibaren a. gene kadar olan kısım karşılıklı olarak yer değiştirilir ve böylelikle yeni iki birey yani iki yavru oluşturulmuş olur.

$$E_1 = X_1X_2X_3X_4X_5X_6X_7X_8 \quad (3.25.)$$

$$E_2 = Y_1Y_2Y_3Y_4Y_5Y_6Y_7Y_8 \quad (3.26.)$$

Denklem 3.25. ve 3.26.'nın örnek ebeveyn kromozomlarını temsil eden genler olduğu düşünülürse, ayırım noktası (a) 1 ile 7 arasında rastgele belirlenip 3 değerini aldığını varsayarsak çaprazlama işlemi sonrasında oluşan yavrular 3.27. ve 3.28. denklemlerinde gösterildiği gibi olacaktır.

$$Y_1 = Y_1Y_2Y_3X_4X_5X_6X_7X_8 \quad (3.27.)$$

$$Y_2 = X_1X_2X_3Y_4Y_5Y_6Y_7Y_8 \quad (3.28.)$$

Denklem 3.25.'ten 3.28.'e kadar olan kromozomların çaprazlanmasını çizelge ile ifade etmek gerekirse, Çizelge 3.1.'de örnek çaprazlama işlemi için kullanılan bireylerin kromozom bilgisi görünmektedir. Çizelge 3.2.'de ise çaprazlama işlemi sonrasında

oluşan yeni yavru bireylerin kromozom bilgisi görünmektedir. Ayrım noktası olarak belirlenen 3. sıra çizgi ile belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Çaprazlama işleminin uygulandığı ebeveyn kromozomlar

Ebeveyn1	1	1	0	1	1	0	1	0
Ebeveyn2	0	0	1	1	0	1	0	0

Çizelge 3.2. Çaprazlama işleminden sonra oluşan yeni yavru kromozomlar

Yavru1	0	0	1	1	1	0	1	0
Yavru2	1	1	0	1	0	1	0	0

Bu çaprazlama işlemi için yalnız 1 tane ayrım noktası kullanıldığından tek noktalı çaprazlama olarak isimlendirilmektedir (Arslanoğlu, 2006). Yapılan çalışmada çaprazlama yapılacak kromozom uzunluğu 256 bit uzunluğunda bireylerden meydana geldiği için iki noktalı çaprazlama işlemi kullanılmıştır. Birinci nokta çaprazlama işlemine tabi tutulacak bitlerin başlangıç noktasını belirlemek amacıyla seçilir. İkinci nokta ise çaprazlama işlemine tabi tutulacak bitlerin bitiş noktasını belirlemek amacıyla seçilir. Birinci nokta ile ikinci nokta arasındaki bitler turnuvada kazanan olarak seçilen bireyler arasında karşılıklı olarak yer değiştirilir ve çaprazlama işlemi tamamlanmış olur.

```
%ÇAPRAZLAMA
caprazlama_baslangic = round(rand()*256);
caprazlama_bitis = round(rand()*256);
for i=caprazlama_baslangic:caprazlama_bitis
    temp1 = populasyon[kazananlar[1],i];
    temp2 = populasyon[kazananlar[2],i];
    populasyon[kazananlar[1],i] = temp2;
    populasyon[kazananlar[2],i] = temp1;
end
```

Şekil 3. 21. Çaprazlama işleminin gerçekleştirildiği Matlab kodları.

Şekil 3.21'deki kod bloğunda görüleceği üzere, 0 ile 256 arasında rastgele bir sayı üretilerek çaprazlamanın başlangıç bitini, yine aynı yöntemle çaprazlamanın bitiş bitini belirlemek mümkündür. Daha sonra turnuvadan galip çıkan en iyi değere sahip ilk iki birey bu çaprazlama işlemine tabi tutulur. Seçilen iki nokta arasındaki bitleri karşılıklı olarak yer değiştirir. Yukarıdaki kod bloğunda bu yer değiştirme işlemi döngü içerisinde yapılmıştır. Yer değiştirecek birler öncelikle bir tampon hafızaya alınmış devamında karşılıklı olarak değiştirilmiştir.

3.7.i. Mutasyon

Çaprazlama işlemi bittikten sonra genetik algoritma içerisindeki uygulanacak adım mutasyon işlemidir. Mutasyon işlemi, kromozom içerisindeki rastgele seçilen bir genin değerini değiştirerek popülasyon içerisinde birbirine benzeyen bireyler arasında çeşitlilik oluşturulmasıdır. İkili kodlamayla oluşturulan n elemanlı kromozom dizilerinde çeşitlilik, kromozom dizisi içerisinde 1. gen ile n. gen arasında rastgele bir elemanı seçip, bu elemanın değerini değiştirerek gerçekleştirilir. İkili kodlama sisteminde elemanlar sadece 1 ve 0'lardan oluştuğu için seçilen kromozom elemanının değeri 1 ise 0, 0 ise 1 olacak şekilde değiştirme işlemi yapılır. Çaprazlama örneğinde oluşturulan Çizelge 3.2.'deki Yavru1 kromozomuna mutasyon işleminin uygulaması yapılacak olursa 8 elemanlı bir diziden oluşan kromozom için 1 ile 8 arasında rastgele bir k. elemanı belirlenerek, k'nın 4 olarak belirlendiğini varsayıldığında mutasyon işlemi sonrası oluşan yeni birey Çizelge 3.3.'te görülebilir.

Çizelge 3.3. Mutasyon işlemi sonrasında oluşan yeni kromozom

Yavru1	0	0	1	1	1	0	1	0
Mutasyondan Sonra	0	0	1	0	1	0	1	0

Mutasyon işlemi belirlenen bir mutasyon oranı ile popülasyon içerisinde mutasyon uygulanacak bireyleri seçerek gerçekleştirilebilir. Yapılan tez çalışmasında her biri 256 kromozomdan oluşan 50 birey içerisinde 0,01 mutasyon oranı ile genler seçilerek her iterasyonda 128 adet gen mutasyon operasyonuna tabii tutulmuştur.


```
%MUTASYON
for i=1:128
mutbirey=round(rand()*50);
mutbit=round(rand()*256);
    populasyon(mut_birey,mut_bit)=not(populasyon(mut_birey,mut_bit));
end
```

Şekil 3. 22. Mutasyon işlemini gerçekleştiren Matlab kodları.

Şekil 3.22'de belirtildiği gibi 50 birey arasından rastgele seçilen bir kromozomun yine rastgele seçilen bir bitinin değeri mutasyon işlemi ile 1 ise 0, 0 ise 1 olacak şekilde not operatörüne tabii tutuluyor. Bu işlem 0,01 mutasyon oranı seçildiği için 128 defa tekrar edilmiştir.

3.7.j. Değerlendirme ve Durdurma Kriteri

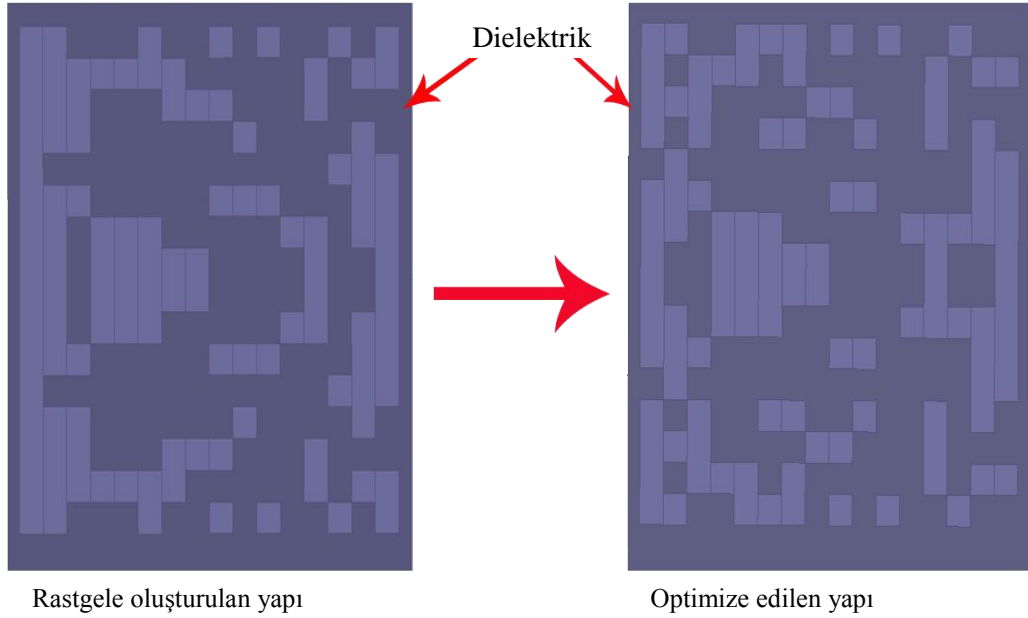
Çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden sonra genetik algortmada her bireyin uygunluk değeri yeniden hesaplanır. Yeniden hesaplama işleminin yapılmasındaki amaç, genetik operasyonlar sonrasında aranılan uygunluk değerine sahip birey var ise algoritma sonlandırılabilir ya da en başta belirlenen iterasyon sayısı kadar algoritma çalışmaya devam eder. Algoritmayı sonlandırmak amacıyla uygunluk değeri için aranılan bir değer varsa, durdurma kriteri olarak algoritmanın devam edip etmemesi hususunda programı yönlendirmek için kullanılabilir.

4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Simülasyonlar

4.1.a.Yüksek Bakışimsız Metamalzeme 15 GHz'e Kadar

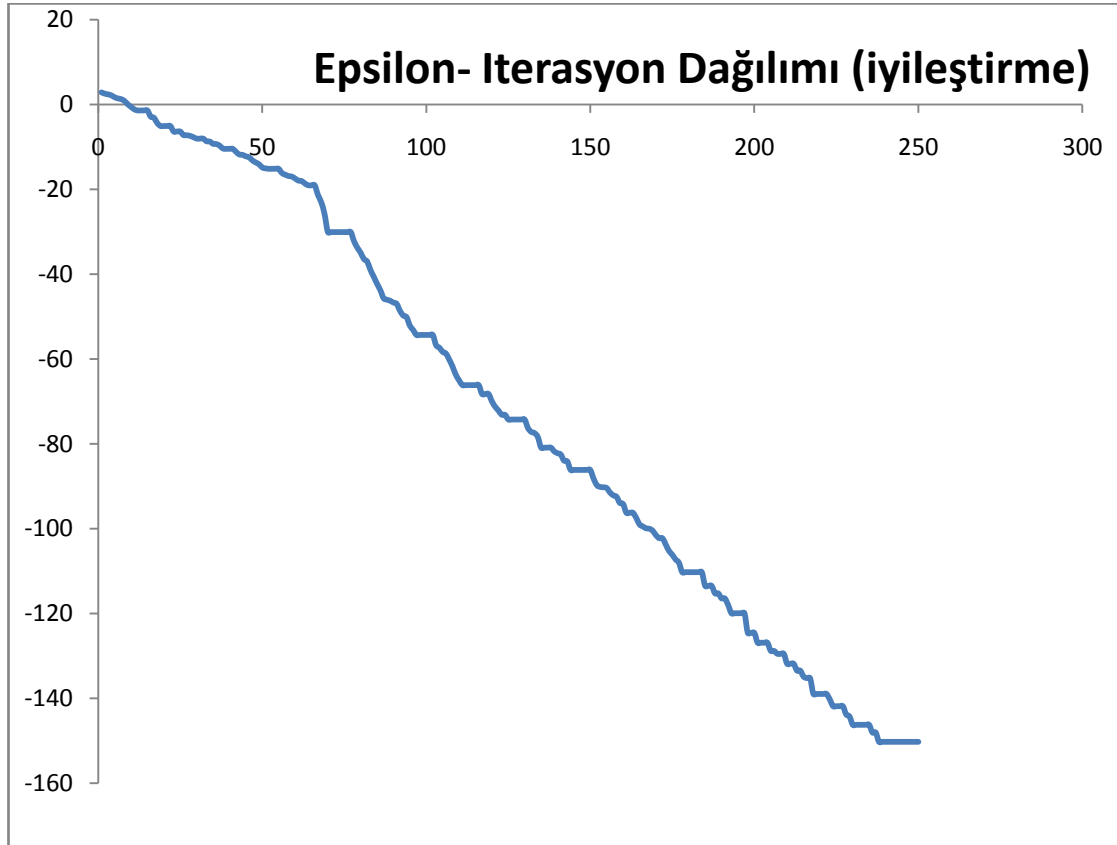
Optimizasyon neticesinde elde edilen bakışimsız eng metamalzemenin geometrisi Şekil 4.1.'de görülmektedir. Şeklin sol tarafında başlangıç değerleriyle rastgele oluşturulan geometri görülmektedir. Sağ tarafta ise optimize edilmiş hali sunulmuştur. Optimizasyon işlemi için 11.5 GHz frekansında çalışılıp negatif reel epsilon ve 1.25'ten daha büyük bir bakışimsızlık değeri için optimizasyon gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 1. 11.5 GHz frekansında yüksek bakışimsız metamalzemenin başlangıçtaki ve optimize edilmiş geometrisi

Genetik algoritmanın iyileştirme yaptığı epsilon parametresine ait değişim grafiği iterasyon bazında Şekil 4.2.'de gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde yaklaşık 2 değerinde ilk değere sahip olan en iyi değer iterasyonlar ilerledikçe negatif yönde iyileşme göstermektedir. 10. iterasyondan sonra hemen negatif değere ulaşan optimizasyon zaman zaman sabit değerde kalmaktadır. Optimizasyonun daha iyi değer kaydetmediği iterasyonlarda elitizmden dolayı en son elde edilen en iyi değer saklandığı

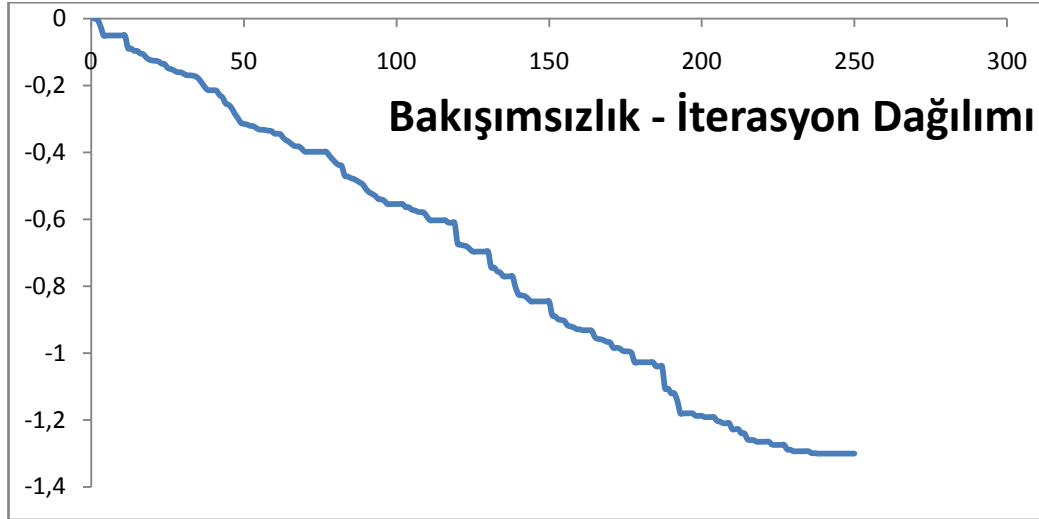
için en iyi değer olarak bu bireyin epsilon değeri gösterilmiştir. Yine Şekil 4.2'den görülebileceği gibi optimizasyon zaman zaman büyük kırılmalar gerçekleştirip ani iyileştirmeler kazandırmıştır. Son olarak 238. iterasyonda beklenen bakışsızlık ve epsilon değeri sağlandığı için ve bu iterasyondan sonra bir müddet çalışmasına devam ettirilen algoritma daha iyi sonuçlar elde etmediği için optimizasyon işlemini gerçekleştiren ana Matlab programı sonlandırılmıştır.



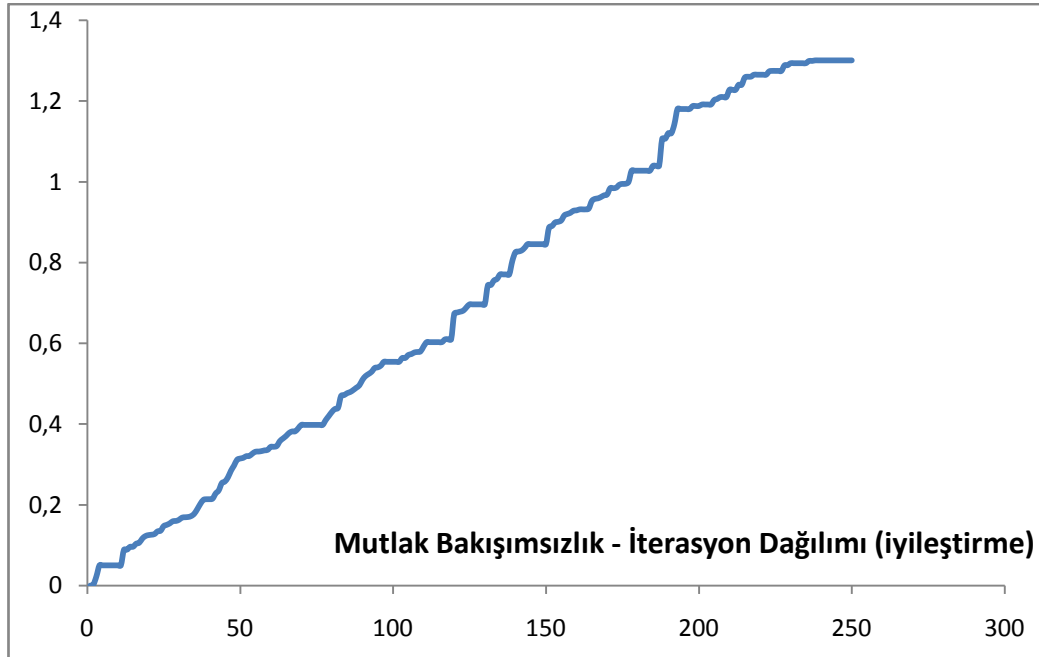
Şekil 4. 2. 11.5 GHz frekansında genetik algoritma epsilon iyileştirme grafiği

Genetik algoritmanın iyileştirmeyi planladığı bir diğer parametre olan bakışsızlık değerinin (k) optimizasyon boyunca göstermiş olduğu iyileştirme Şekil 4.3'ten takip edilebilir. Başlangıçta 0'a yakınsayan değerlere sahip olan bakışsızlık büyüklüğünde yapılması planlanan optimizasyonun sonucundaki beklenti büyüklük olarak (mutlak) 1.2'den büyük bakışsızlık değerine sahip eng metmalzemeyi tasarlamak. Bu amaçla gerçekleştirilen optimizasyonun neticesinde zaman zaman bazı iterasyonlar arasında iyileşme kaydedilemese de 178. iterasyonda 1 büyüklüğüne sahip

olan bakışsız eng metalmalzeme bulunmuş olup optimizasyon devam ettirilerek 200. iterasyonda istenen sınır değere ulaşılmıştır. Daha iyi sonuçlar aramak için optimizasyon devam ettiğinde 238. iterasyonda güzel bir sonuç olarak 1.3 büyüklüğüne sahip -1.3 k değeri olan bakışsız eng metalmalzemeye ulaşılmış olup Şekil 4.4.'te 238. iterasyonda bu sonuç görülebilmektedir.

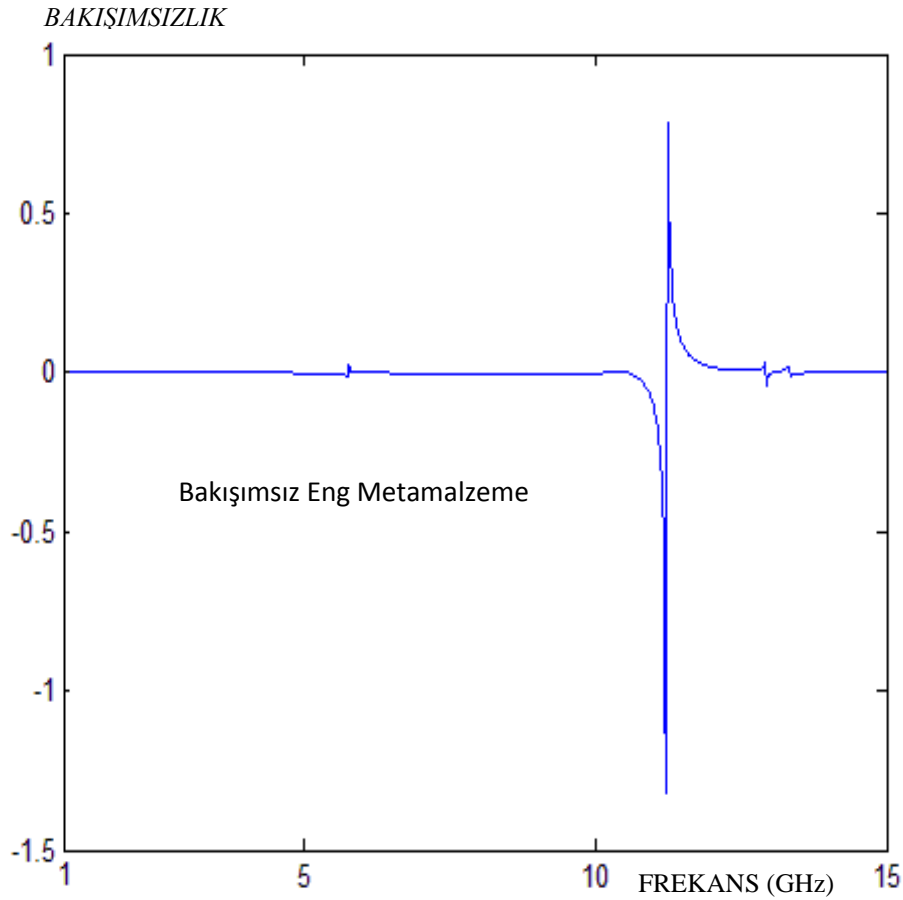


Şekil 4. 3. 11.5 GHz frekansında genetik algoritma bakışsızlık iyileştirme grafiği



Şekil 4. 4. 11.5 GHz frekansında genetik algoritma mutlak bakışsızlık iyileştirmesi

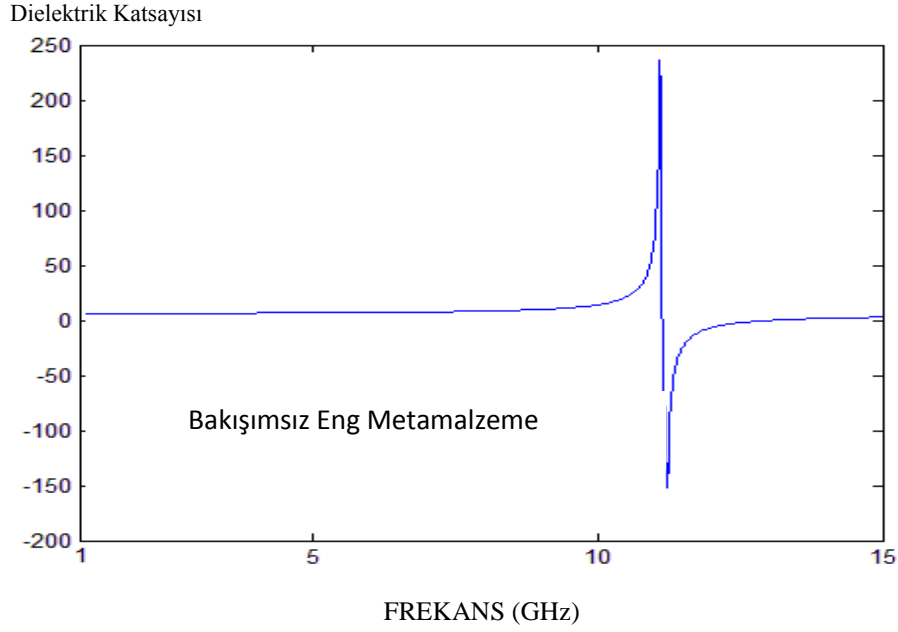
Birinci uygulama olan 11.5GHz frekansında epsilonun negatif olduğu ve yüksek bakışimsızlık değerine sahip metamalzeme için optimize edilen yapının 11.5GHz frekansındaki bakışimsızlık değeri Şekil 4.5.'de gözlenebilir. Bu frekansta amaçlanan $k > 1,25$ uygunluğunu sağlayacak bakışimsızlıktaki malzemenin -1,3 değerinde bakışimsızlığa sahip olduğu görünmektedir. Beklentinin mutlak bakışimsızlık büyüklüğünün 1,25'den büyük olmasıydı. Bulunan metamalzeme de 11.5GHz çalışma frekansında 1,3 büyüklüğünde güçlü bir bakışimsızlık değeri vermiştir.



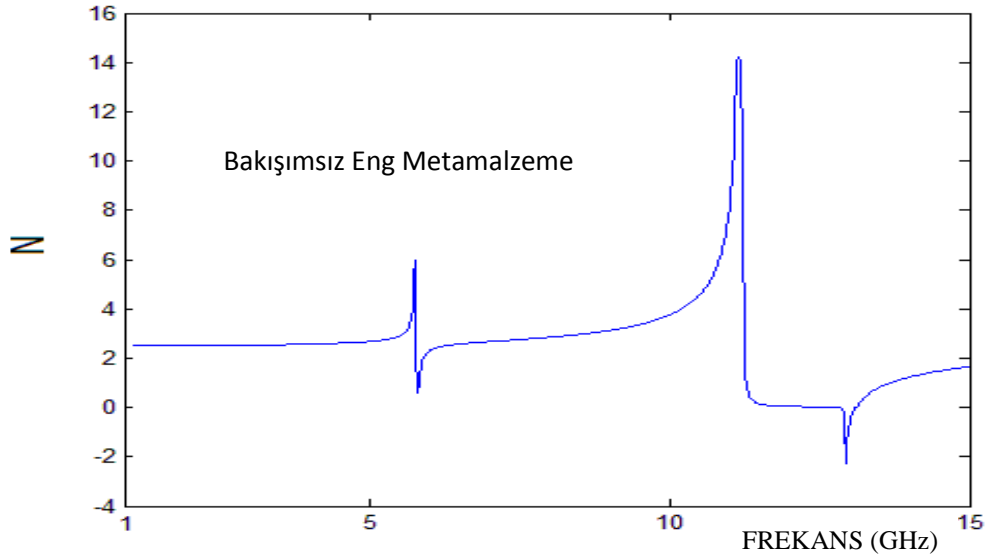
Şekil 4. 5. 11.5GHz uygulaması için frekans – bakışimsızlık dağılım grafiği

11.5 GHz frekansında elde edilen güçlü bakışimsız metamalzeme, aynı zamanda Şekil 4.6.'da izlenebileceği gibi epsilon negatif değerdedir. Ve yine 11.5 GHz'den sonra Şekil 4.8.'de görülebileceği üzere manyetik geçirgenliğin bu frekansta pozitif değere sahip olup epsilon ile birlikte aynı anda negatif olmamasına rağmen, yüksek bakışimsızlık büyüklüğünden dolayı malzeme bu frekansta negatif kırılma indisine

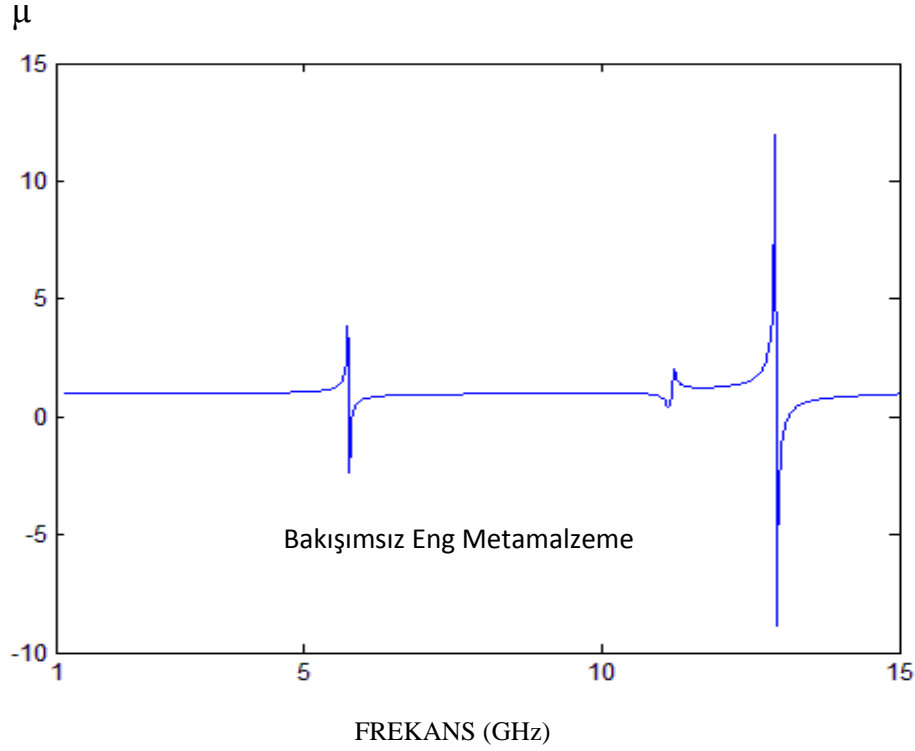
sahip olmuştur (Zhao ve ark., 2011). Şekil 4.7.'de bu negatif kırılma görülmektedir ki bakışimsız ortam sayesinde dielektrik ve manyetik geçirgenlik katsayıları aynı anda negatif olmasa bile negatif kırılma indisine sahip bir ortam elde edilmiştir.



Şekil 4. 6. 11.5 GHz uygulaması için frekans – dielektrik katsayısı dağılım grafiği



Şekil 4. 7. 11.5 GHz uygulaması için frekans-kırılma indisi (n) dağılım grafiği

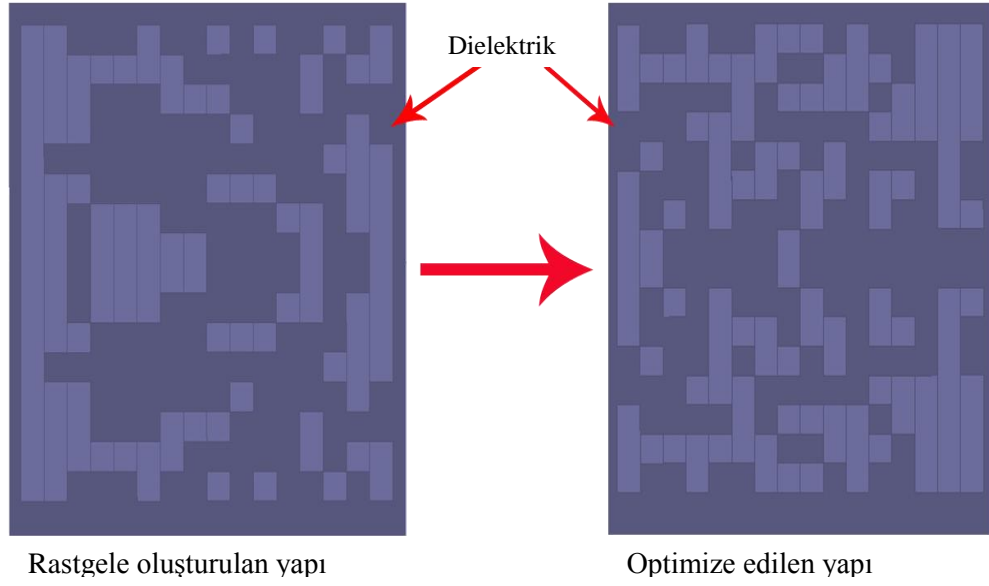


Şekil 4. 8. 11.5 GHz uygulaması için frekans – manyetik geçirgenlik dağılım grafiği

Genetik algoritma sayesinde negatif epsilon değeri ve yüksek bakışimsızlık büyüklüğüne sahip bakışimsız metamalzemenin çalışma frekansı olan 11.5GHz’de en küçük negatif epsilon değerine sahip olduğu Şekil 4.6.’da görülmektedir. 11.5GHz frekansında epsilon -150,01 değerinde hesaplanmıştır.

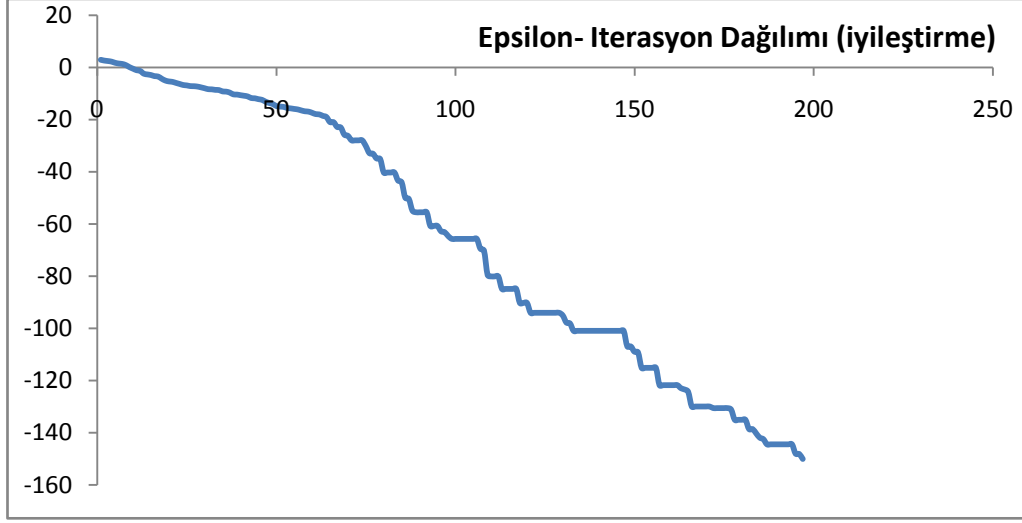
4.1.b. Yüksek Bakışimsız Eng Metamalzeme 15 GHz’e Kadar

Optimizasyon neticesinde elde edilen yüksek bakışimsız eng metamalzemenin geometrisi Şekil 4.9.’da görülmektedir. Şeklin sol tarafında başlangıç değerleriyle rastgele oluşturulan geometri görülmektedir. Sağ tarafta ise optimize edilmiş hali sunulmuştur. Optimizasyon işlemi için 6 GHz frekansında çalışılıp negatif reel epsilon ve 1’den daha büyük bir bakışimsızlık değeri için optimizasyon gerçekleştirilmiştir.



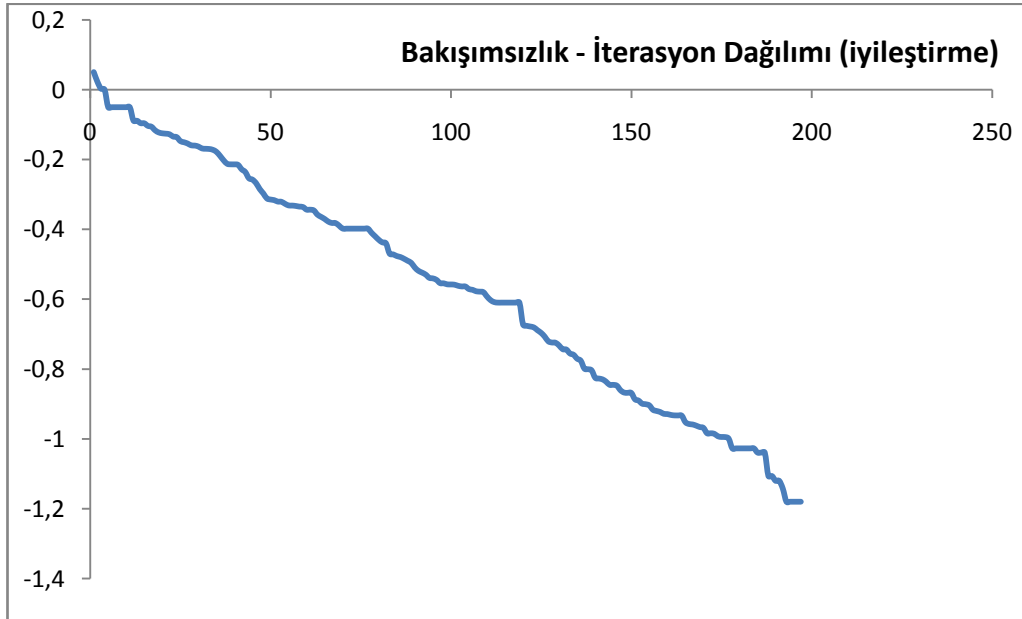
Şekil 4. 9. 6 GHz uygulaması için yüksek bakışimsız eng metamatzemenin başlangıçtaki ve optimize edilmiş geometrisi

Optimizasyon işlemi sırasında iyileşmesi beklenen epsilon ile mutlak bakışimsızlık değerine ait iyileştirmeler Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Epsilon değerinin iyileşmesi incelenecek olursa; 2,88 değerlerinde ilk başlangıç değerine sahip malzeme iterasyonlar arttıkça negatife doğru beklenen yönde iyileştirmeyi göstermiştir. 9. iterasyondan itibaren negatif değere ulaşılmıştır. İlk 50 iterasyon için yavaş bir iyileştirme olduğu söylenebilir ama 65. İterasyondan sonra optimizasyonun gerçekleştirdiği iyileştirme ivme kazanmıştır. Önceki iterasyonlara göre daha hızlı iyileştirmeler gözlemlenmiştir. Şekil 4.10’daki grafiğin kırılma noktalarından bu olay izlenebilir. Zaman zaman daha iyi değere ulaşamadığı için elitist değerler korunduğundan iyileştirme iterasyona göre değişim göstermemiştir. Bu tür durumlar için elitizm kullanılarak en iyi değere sahip birey saklı tutulmuştur. Daha kötü uyum değerine sahip bireylerin oluşması bu şekilde engellenmiştir. İterasyonlar sonucunda 197. iterasyonda beklenen en iyi değer olan -150 epsilon değerine ulaşılmış ve optimizasyon programı durdurulmuştur.

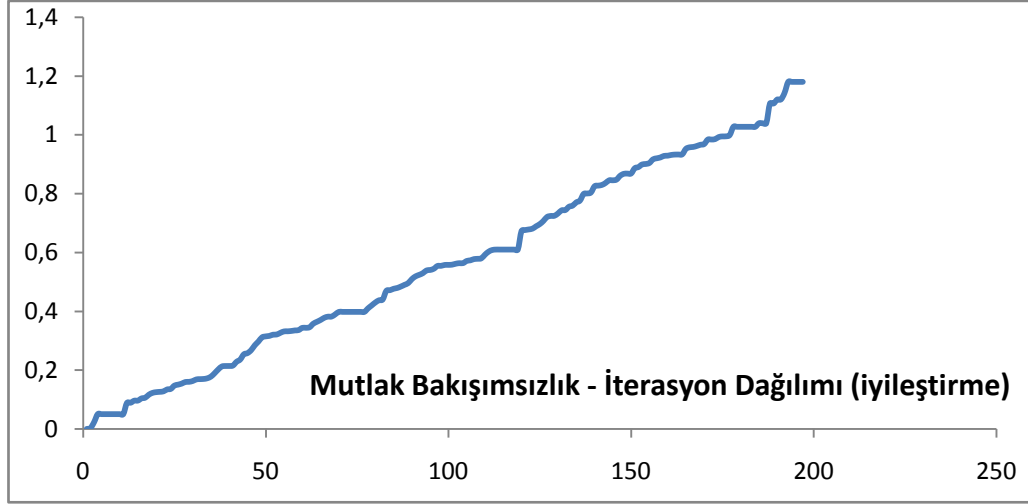


Şekil 4. 10. 6 GHz frekansında genetik algoritma epsilon iyileştirme grafiği

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'deki bakışsızlık ve iterasyon grafiklerine bakıldığı zaman, 197. iterasyonda beklenen en iyi bakışsızlık değerine sahip bireye ulaşıldığı görülmektedir. Bu iterasyondaki bakışsızlık değeri -1,18 olarak hesaplanmıştır. Beklenen değer 1'den büyük mutlak bakışsızlık değerine sahip olan malzemeyi elde etmek olduğundan optimizasyon bu aşamadan sonra işlemini tamamlayıp durdurulmuştur.

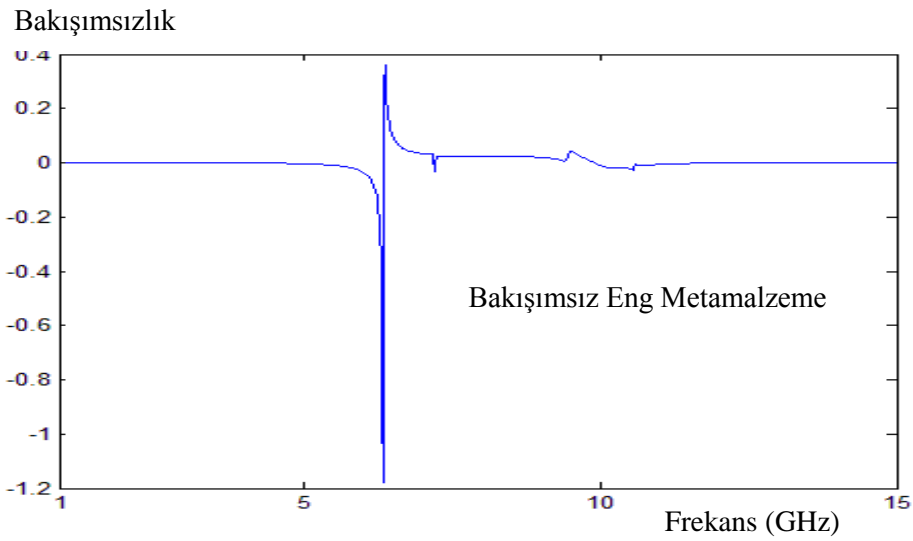


Şekil 4. 11. 6 GHz frekansında genetik algoritma bakışsızlık iyileştirme grafiği



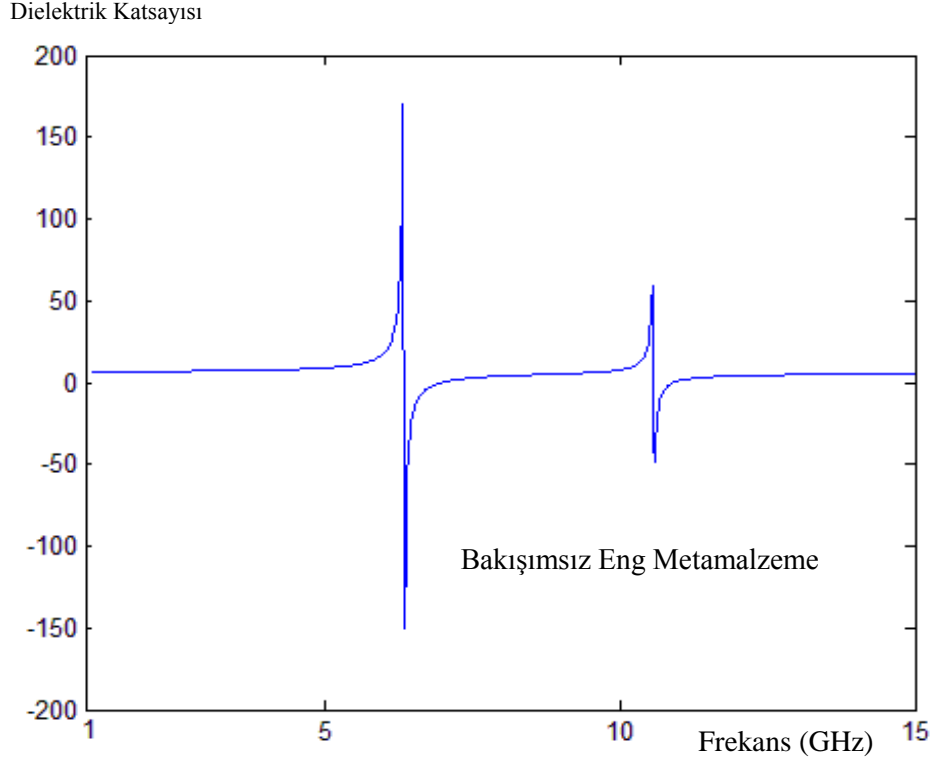
Şekil 4. 12. 6 GHz frekansında genetik algoritma mutlak bakışsızlık iyileştirme grafiği

İkinci uygulama olan 6 GHz frekansında epsilonun negatif olduğu ve yüksek bakışsızlık değerine sahip metamalzeme için optimize edilen yapının 6 GHz frekansındaki bakışsızlık değeri Şekil 4.13.'de gözlenebilir. Bu frekansta amaçlanan $k > 1$ uygunluğunu sağlayacak bakışsızlıktaki malzemenin -1,18 değerinde bakışsızlığa sahip olduğu görünmektedir. Beklenti yine mutlak bakışsızlık büyüklüğünün 1'den büyük olmasıydı. Bulunan metamalzeme de 6 GHz çalışma frekansında 1,18 büyüklüğünde güçlü bir bakışsızlık değeri vermiştir.



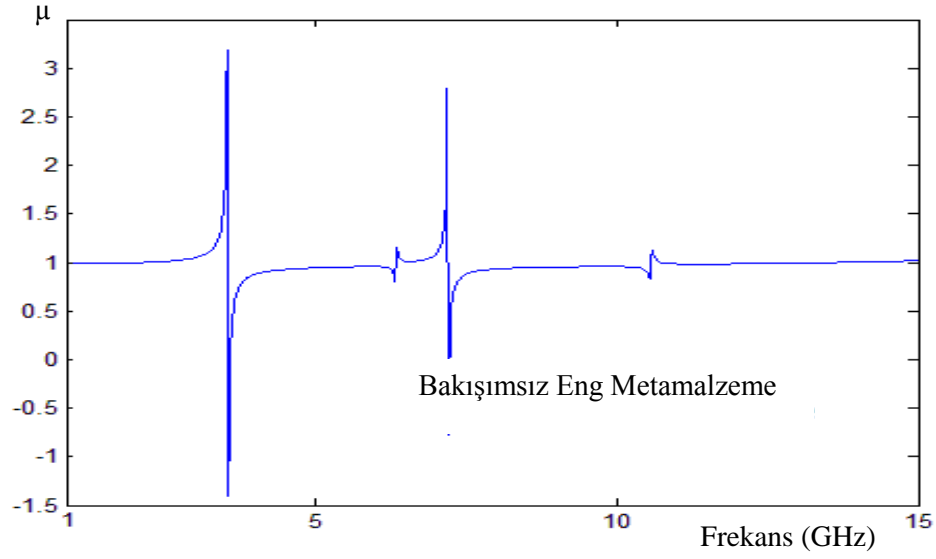
Şekil 4. 13. 6 GHz uygulaması için frekans – bakışsızlık dağılım grafiği

Şekil 4.14’de görüleceği üzere 6 GHz çalışma frekansı için tasarlanan malzemenin aynı frekanstaki epsilon değeri -150 olarak hesaplanmıştır. Bu uygulama sayesinde 11.5 GHz frekans uygulamasına ek olarak farklı frekans aralıkları için de yüksek bakışsımsızlık büyüklüğüne sahip eng metalmalzemeler tasarlanabilmiştir.



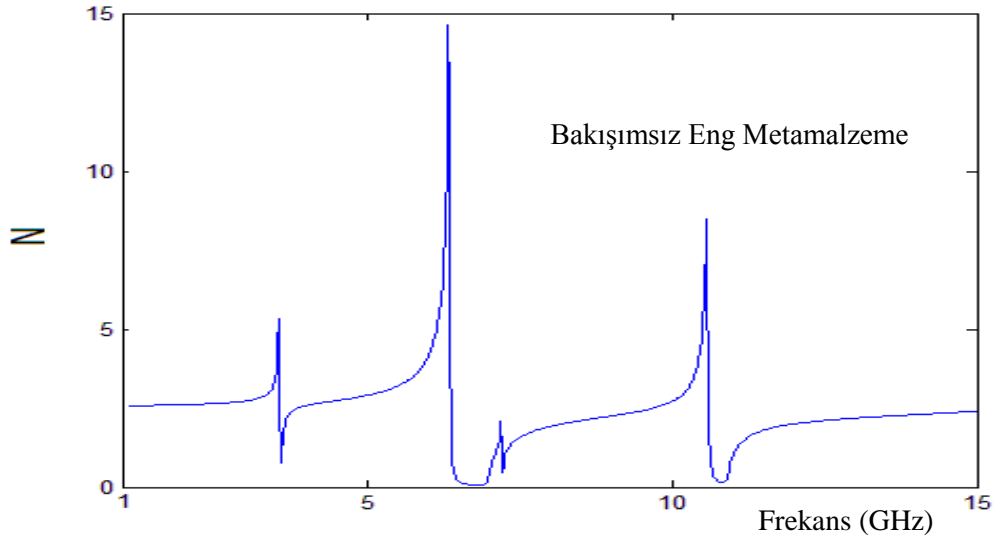
Şekil 4. 14. 6 GHz uygulaması için frekans-epsilon dağılım grafiği

Tasarlanan malzemenin manyetik geçirgenlik katsayısındaki değerler Şekil 4.15’te görülebilmektedir. Söz konusu şekil incelendiğinde 3 GHz ve 7 GHz frekanslarında negatif manyetik geçirgenlik katsayısının olduğu söylenebilir. 15 GHz frekansına kadar olan taramalarda zaman zaman negatiften pozitif değere veya pozitiften ani bir kırılma ile negatife geçişler olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4. 15. 6 GHz uygulaması için frekans-manyetik geçirgenlik dağılım grafiği

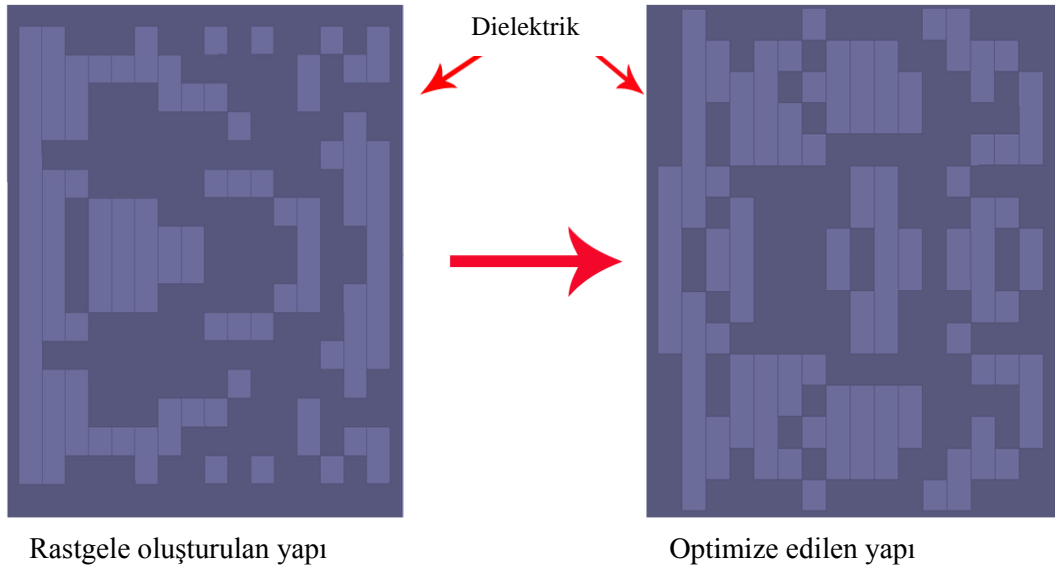
Şekil 4.16.'da malzemenin kırılma indisi değerlerinin frekans dağılımı sunulmuştur. Tasarlanan malzemenin kırılma indisi büyüklüğü bazı frekans noktalarında ani yükselişler sergilemiş olup 6 GHz frekansında maksimum değere ulaşmış ve 14,7 değerini almıştır. Hemen devamında sifıra yakınsasa da 15 GHz 'e kadar yapılan taramalarda farklı frekans noktalarında farklı kırılma indisi büyüklüklerine ulaşılmıştır.



Şekil 4. 16. 6 GHz uygulaması için frekans-kırılma indisi dağılım grafiği

4.1.c. Yüksek Bakışsız Mng Metamalzeme 15 GHz'e Kadar

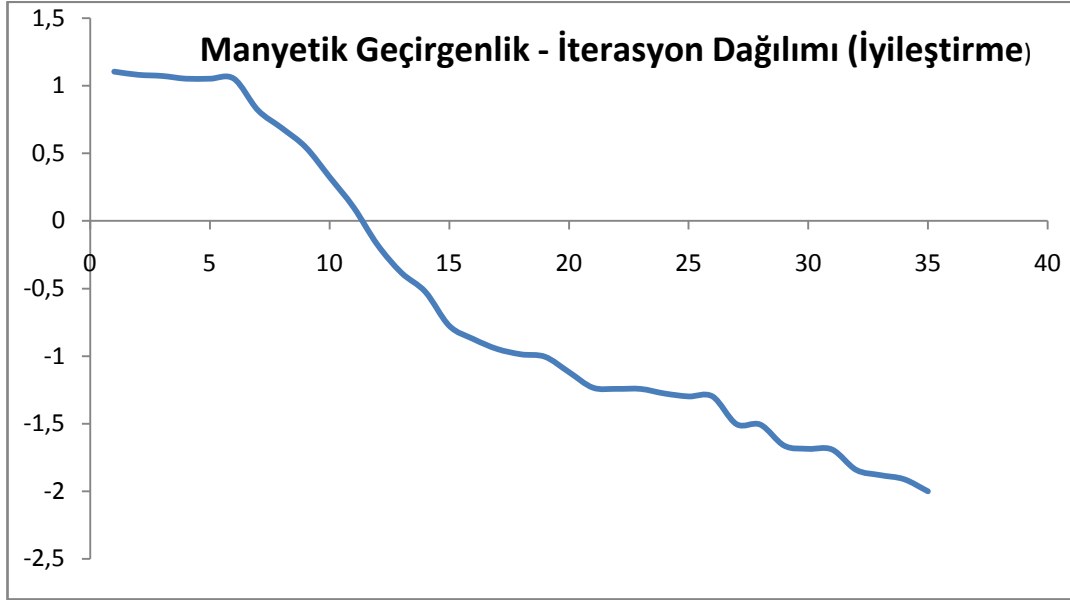
Optimizasyon neticesinde elde edilen bakışsız mng metamalzemenin geometrisi Şekil 4.17'de görülmektedir. Şeklin sol tarafında başlangıç değerleriyle rastgele oluşturulan geometri görülmektedir. Sağ tarafta ise optimize edilmiş hali sunulmuştur. Optimizasyon işlemi için 14.5 GHz frekansında çalışılıp negatif reel manyetik geçirgenlik ile 0'dan büyük bir bakışsızlık değeri için optimizasyon gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 17. 14.5 GHz uygulaması için bakışsız mng metamalzemenin başlangıçtaki ve optimize edilmiş geometrisi

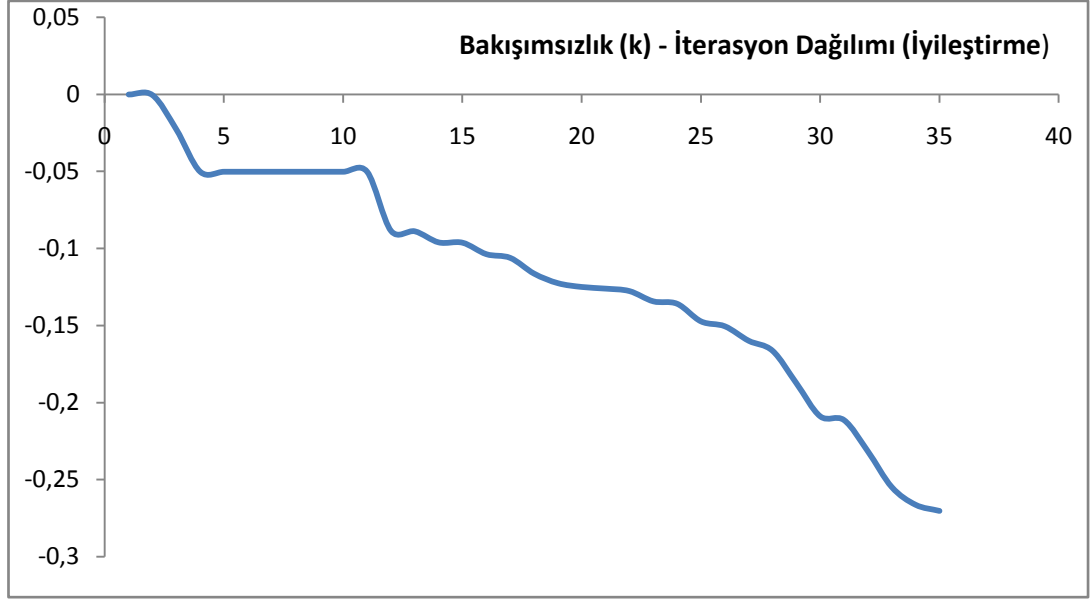
Yapılan çalışmanın üçüncü uygulaması olarak bakışsız mng metamalzeme tasarımı için gerçekleştirilen optimizasyonda manyetik geçirgenlik değerinin optimizasyon süresince gösterdiği iyileştirme Şekil 4.18'deki grafikte sunulmuştur. Bu uygulamada amaç negatif manyetik geçirgenlik katsayısına sahip bakışsız bir metamalzeme tasarlamaktır. Şekil 4.18'den görüleceği üzere 1.18 değerinden başlayan optimizasyon, 12. iterasyondan sonra negatif manyetik geçirgenlik katsayısına sahip metamalzemeyi oluşturacak bireylere ulaşmıştır.

Optimizasyon beklenen bakışsızlık değerine ulaşabilmek için devam ettirildiğinde zaman zaman dalgalanmalar göstererek 35. İterasyonda istenen değerler sağlanmış ve -2 olarak reel manyetik geçirgenlik katsayısına ulaşılmıştır.

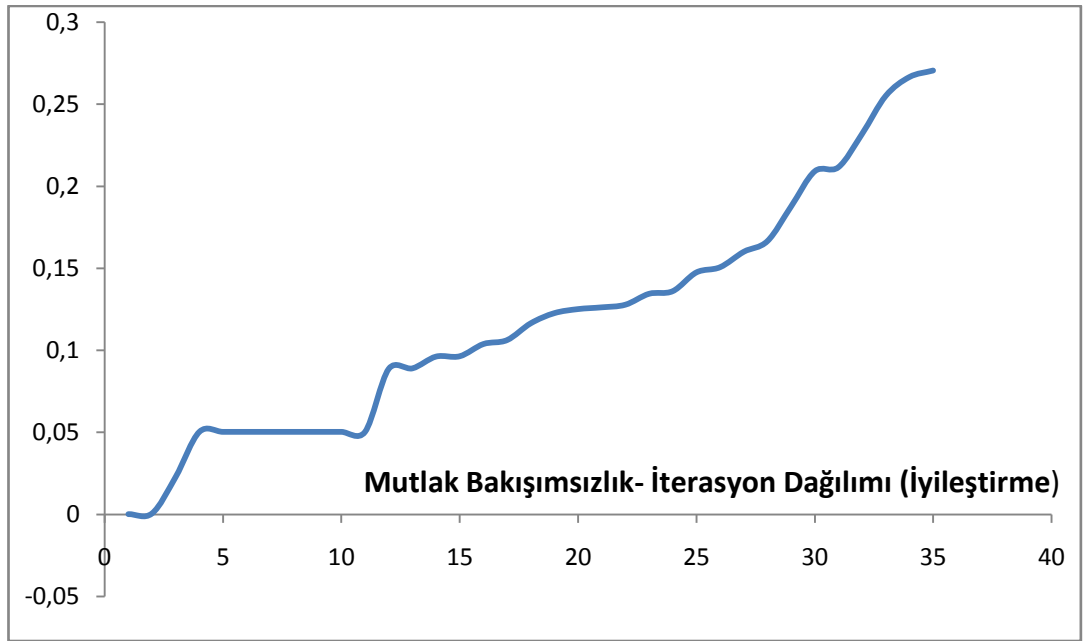


Şekil 4.18. 14.5 GHz frekansında genetik algoritma manyetik geçirgenlik iyileştirme grafiği

Bakışsız mng metamalzemenin elde edilebilmesi için optimize edilen bakışsızlık değeri 0.25'ten büyük olmasıydı. Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'den izlenebileceği üzere 0'a yakınsayan bir bakışsızlık değeriyle başlayan optimizasyon devam ettikçe zaman zaman bakışsızlık değerinde bir iyileştirme görülemese de 35. iterasyonda -0.27 değerinde mutlak 0.27 büyüklüğünde bakışsızlık değerine sahip metamalzeme tasarımına ulaşılmış ve optimizasyon tamamlanmıştır.

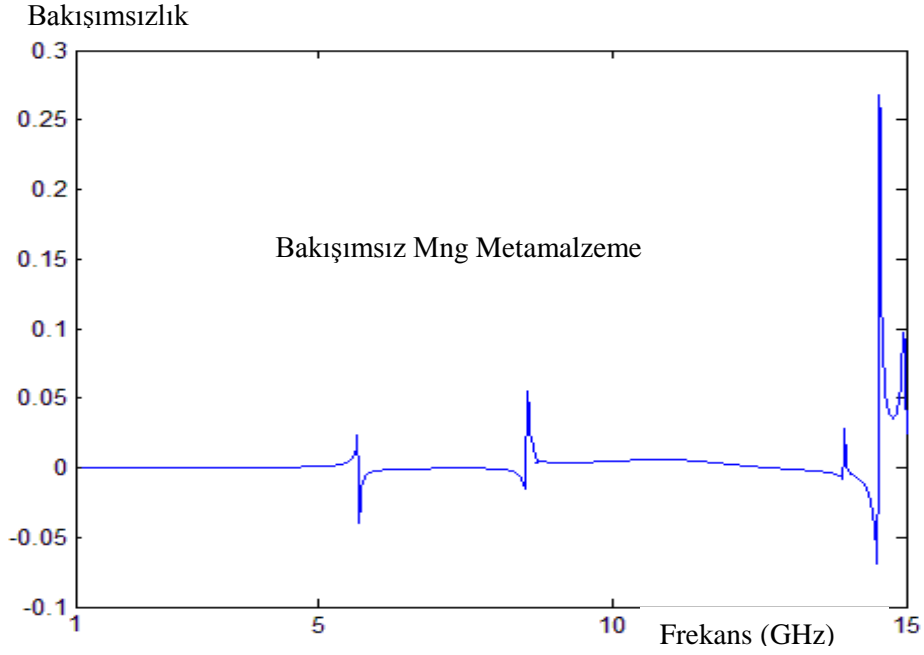


Şekil 4.19. 14.5 GHz frekansında genetik algoritma bakışimsızlık iyileştirme grafiği



Şekil 4.20. 14.5 GHz frekansında genetik algoritma optimizasyonu mutlak bakışimsızlık iyileştirme grafiği

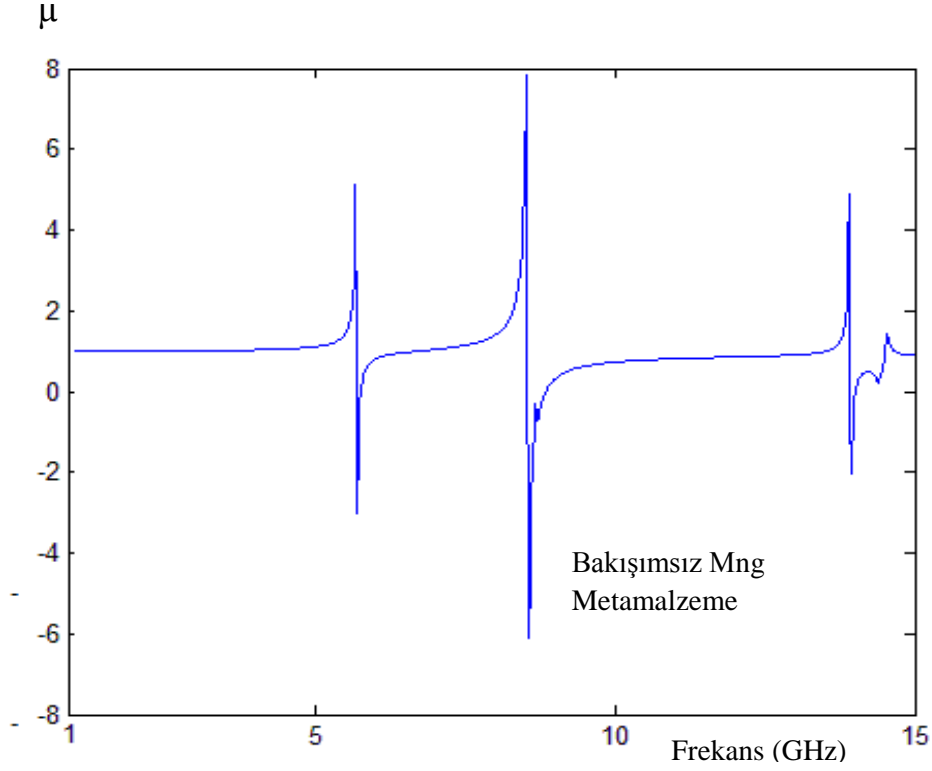
Üçüncü uygulama olan 14.5GHz frekansında manyetik geçirgenliğin negatif olduğu ve bakışimsızlık değerine sahip metalmalzeme için optimize edilen yapının 14.5 GHz frekansındaki bakışimsızlık değeri Şekil 4.21.'de gözlenebilir.



Şekil 4. 21. 14.5GHz uygulaması için mng metamalzemenin frekans-bakışimsızlık dağılım grafiği

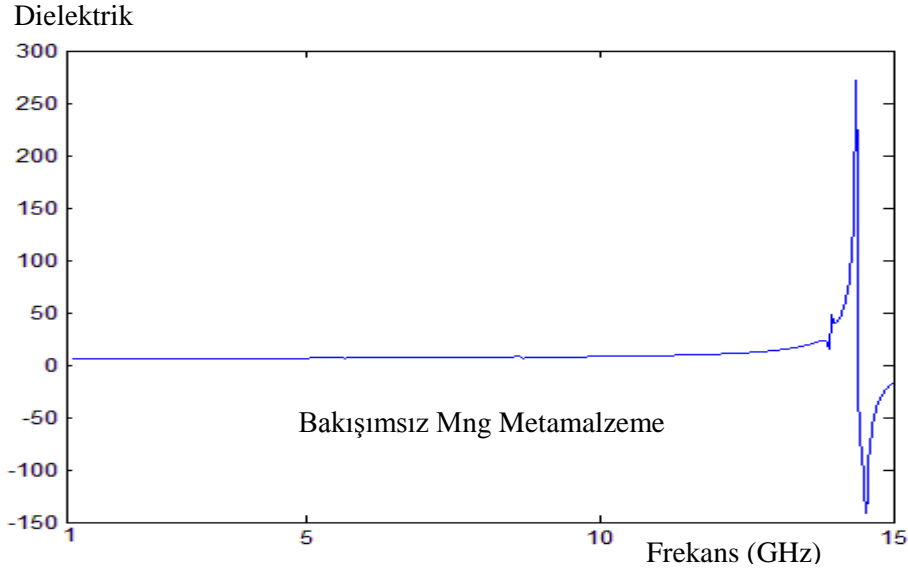
Bu frekansta amaçlanan $k > 0$ uygunluğunu sağlayacak bakışimsızlıktaki malzemenin -0.72 değerinde bakışimsızlığa sahip olduğu görünmektedir. Optimizasyonun amacı mutlak bakışimsızlık büyüklüğünün 0'dan büyük olmasıydı. Bulunan metamalzeme de 14.5GHz çalışma frekansında 0.72 büyüklüğünde doğal bakışimsız malzemeler gibi küçük bir bakışimsızlık değeri vermiştir.

14.5 GHz frekansında tasarlanan mng malzemenin manyetik geçirgenlik katsayısı $-0,82$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.21'de 14.5GHz'de bakışimsızlık büyüklüğüne sahip olan malzemenin aynı frekansta negatif manyetik geçirgenlik katsayısına sahip olduğu Şekil 4.22.'den izlenebilmektedir.



Şekil 4. 22. 14.5GHz uygulaması için mng metamalzemenin frekans-manyetik geçirgenlik dağılım grafiği

Yüksek bakışimsız mng metamalzemenin Şekil 4.23.'te gösterilen dielektrik katsayısındaki değişimler incelenecek olursa; 14.5 GHz frekans noktasında yüksek negatif değere ulaştığı, -146 değerini gösterdiği söylenebilir. Aynı frekans noktasında Şekil 4.18. ve Şekil 4.22.'den görülebileceği üzere manyetik geçirgenlik katsayısı değeri de -2 olarak negatif değer almıştır. Şekil 4.24'te mng metamalzemenin kırılma indisinin frekans dağılımı incelendiğinde çalışma frekansı olan 14.5 GHz'de ϵ ve μ değerlerinin ikisi de negatiftir.



Şekil 4. 23. 14.5GHz uygulaması için mng metamalzemenin frekans-epsilon dağılım grafiği

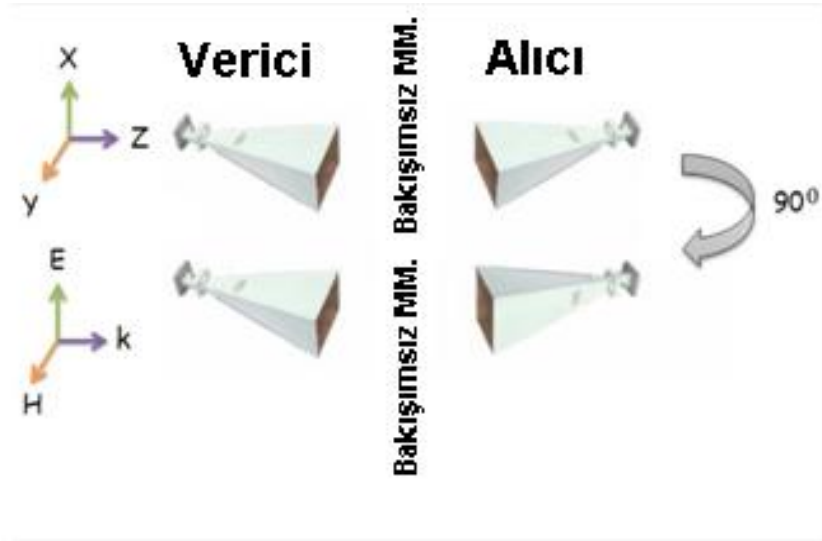
4.2. Üretim ve Ölçümler

4.2.a. Yüksek Bakışimsız Metamalzeme (4.1.a'daki) Üretim ve Ölçüm Sonuçları

Genetik algoritma tabanlı HFSS platformu kullanılarak tasarlanıp optimize edilen bakışimsız metamalzemelerin her iki yanındaki dielektriğin metal katmanları 58001×10^7 S/m elektrik iletkenliğine ve 0.036mm kalınlığa sahip bakır olarak tanımlanmıştır. Dielektrik katmanı için 1.6mm kalınlığıyla yaygın bir kullanıma sahip, bağıl ϵ değeri 4,2 olan FR4 kullanılmıştır. Sınır koşuluna periyodiklik ve açık eklenti alanı sağlanması için mükemmel uyumlu tabaka özelliği tanımlanmıştır.

Optimize edilen yapılarda 11.5 GHz, 6 GHz ve 14.5 GHz frekans aralıkları için aranan bakışimsızlık değerleri sırasıyla, $k > 1.25$, $k > 1$ ve $k > 0.25$ aralıklarındaydı. Simülasyon ortamında elde edilen hesaplamalar sonucunda 11.5 GHz frekansı için $k=1.3$, 6 GHz frekansı için $k=1.18$, 14.5 GHz için ise 0.27 olarak elde edilmiştir. Bu bakışimsızlık değerlerinin her biri doğal bakışimsız malzemelere göre oldukça yüksek bakışimsızlık değerleridir. Sonuç olarak optimize edilen her bir yapı hem ϵ hem de μ aynı anda negatif olmadan güçlü bir bakışimsızlık büyüklüğü sunar (Wang ve ark., 2011).

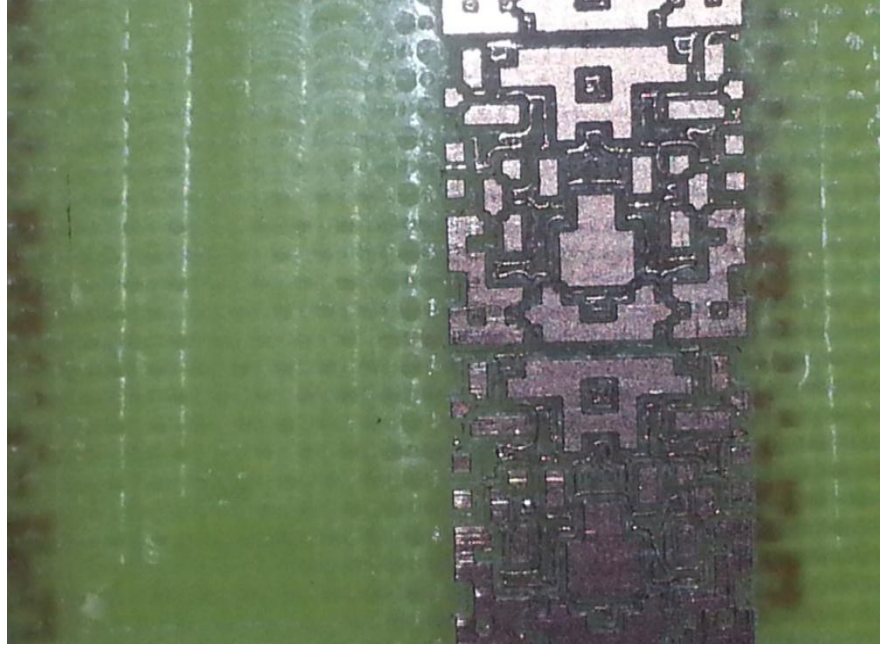
Simülasyon ortamında elde edilen olumlu sonuçlar sonrası 16x16 birim hücreden oluşan bakışsız metalmalzemeye, baskılı devre kartı yöntemi ile 8mm x 8mm numune boyutunda üretilmiştir. Üretimi yapılan bakışsız metalmalzemenin ölçümleri yankısız odada Rohde Schwartz marka vektör network analizörü (VNA) ve iki horn anten kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Etkin ortam karakteristiklerini elde etmek için yansıma ve doğrusal iletim bileşenlerinin ölçümü horn antenler ile 1 ile 6 GHz arasında Şekil 4.24.'teki gibi gerçekleştirilmiştir. Üretilen malzemenin fotoğrafı ise Şekil 4.25. ve Şekil 4.26.'da sunulmuştur. Simülasyon ortamında elde edilen grafikler ile ölçüm işlemi sonrası elde edilen grafiklerin tutarlılığı Şekil 4.27. ve Şekil 4.28.'de sunulan birleştirilmiş grafiklerde gösterilmiştir. VNA cihazı 6 GHz'e kadar ölçüm yapabildiği için sadece 0-6 GHz arasındaki değişimler izlenebilmiştir. Şekil 4.28. ve Şekil 4.29.'da mavi renk simülasyon ortamında elde edilen değerleri, alttaki kırmızı renk ise ölçüm esnasında elde edilen iletim ve yansıma değerlerinden hesaplanan değerleri temsil etmektedir.



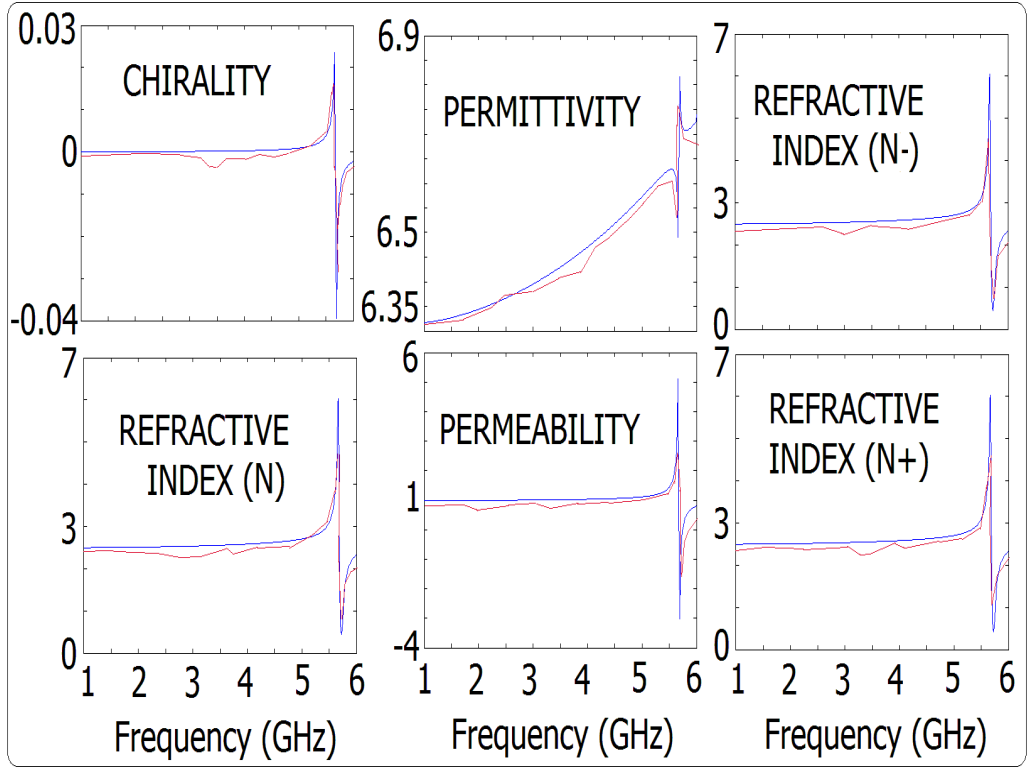
Şekil 4. 24. Bakışsız metalmalzemelerin horn antenler ile ölçülme şekli



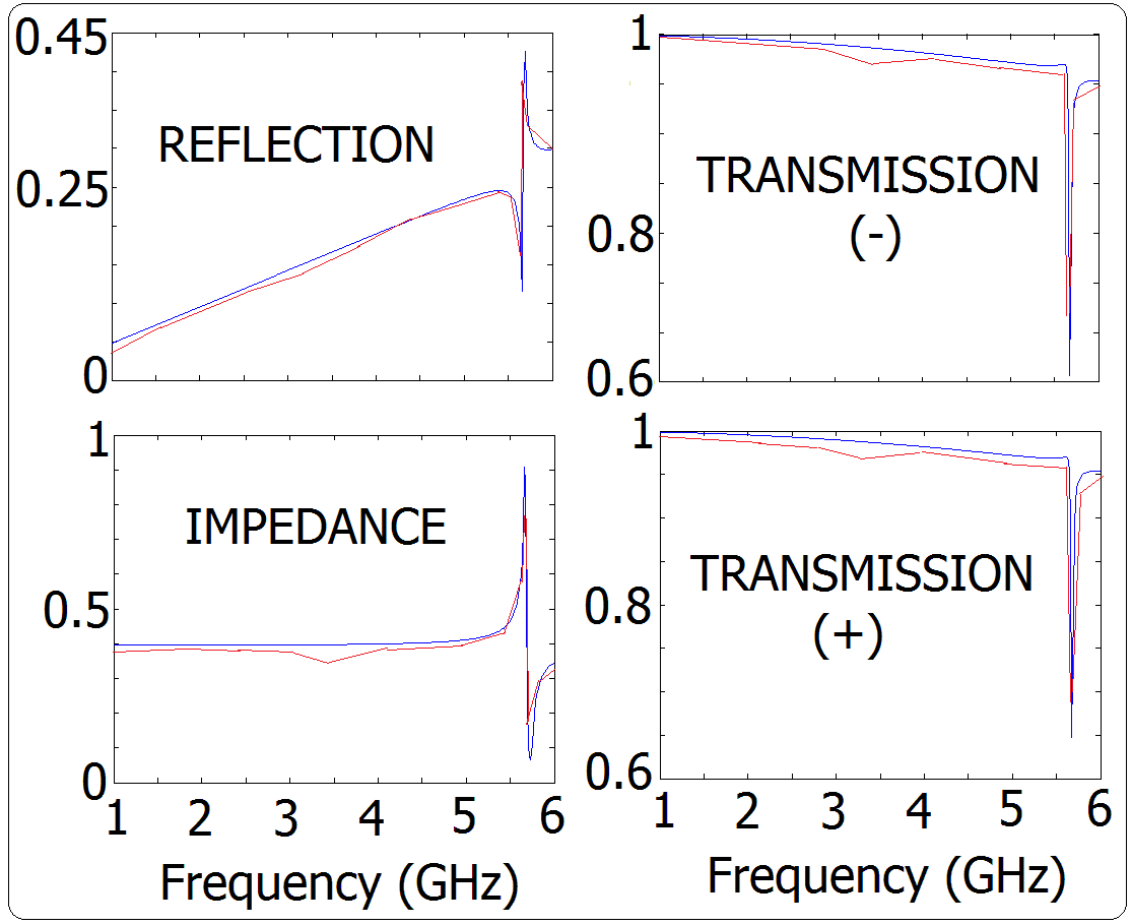
Şekil 4. 25. Üretilen yüksek bakışimsız metamazeme



Şekil 4. 26. Üretilen yüksek bakışimsız metamazemenin birim hücrelerinin yakından görünümü



Şekil 4. 27. Üretilen yüksek bakışimsız metamalzemenin bakışimsızlık, kırılma indisi, manyetik geçirgenlik ve dielektrik katsayısı parametrelerinin simülasyon ve ölçüm değerleri.



Şekil 4. 28. Üretilen yüksek bakışimsız metamalzemenin empedans, iletim ve yansımaya parametrelerinin simülasyon ve ölçüm değerleri.

Üretilen malzemenin 5.7 GHz'e kadar bakışimsızlık büyüklüğünü 0 iken simüle edilen ve ölçülen bakışimsızlık değerleri 0.04 civarındadır. Bu optik aktiviteye sahip doğal bakışimsız malzemelerinki gibi küçük bir bakışimsızlık değeridir. Bu sebeple yapılan çalışmanın yeniliği sadece genetik algoritma tabanlı ilk bakışimsızlık çalışması değildir, aynı zamanda, doğal bakışimsız maddelerdeki gibi küçük bakışimsız metamalzeme konusunda da yapılan ilk çalışmadır. Sonuçların fiziksel doğruluğu yapının empedans değerine bağlı olarak ispat edilebilir. Z frekans aralığı boyunca pozitif olduğundan, enerji korunumu ve nedensellik ilişkisi nedeniyle sonuçların doğruluğu kolaylıkla anlaşılabilir (Boutayeb, 2009).

Elde edilen yapının etkin dielektrik geçirgenliği (ϵ_r) 5.7 GHz frekansında 6.8 civarlarında pozitif iken aynı frekansta manyetik geçirgenlik -5 değerinde negatiftir. Bu

sebeple, üretilen genetik algoritma tabanlı bakışimsız metamalzemeler, negatif dielektrik katsayısına sahip metamalzemeler gibi dalga kılavuzu boyutlarının azaltılması, yapay ortam ve yapay olarak tasarlanan mükemmel manyetik ortamlar gibi farklı amaçlar için de kullanılabilirler.

Üretilen malzemenin metal katmanının ön ve arka yüzlerinin asimetrik olmasından dolayı yayılma yönü boyunca dalganın sol ve sağ dairesel polarize bileşenleri gibi çapraz bağlama iletimi arasında küçük değişiklikler gözlenebilir. Yüksek bakışimsız metamalzemenin içinde yayılan bir dalganın sağ ve sol dairesel polarize bileşenlerinin iletim spektrumları FR4 dielektrik malzemesinin düşük kaybindan dolayı hemen hemen aynıdır. Rezonans frekansındaki bu küçük fark yukarıda belirtildiği gibi küçük bir bakışimsızlığa yol açmıştır. Etkin ortam parametrelerinin reel kısımları ilgili frekans aralığında aynı anda negatif olmadığından etkin kırılma indisinin reel kısmı pozitif işaretlidir. Bunun yanında frekans aralığı boyunca bakışimsızlık değerinin küçüklüğü nedeniyle kırılma indisinin reel kısmının değeri pozitifdir.

İlgili frekans aralığında etkin ortam parametrelerinin reel kısımları aynı anda negatif olmadığı için, etkin kırılma indisinin reel kısmı da pozitifdir. Bununla beraber, frekans aralığındaki küçük bakışimsızlık değerinden dolayı kırılma indisinin reel kısmı pozitif değere sahiptir.

5.SONUÇLAR

Genetik algoritma tabanlı bakışimsız metamalzemeler, negatif ortam parametreleri ve küçük bakışimsızlık değeri ile birçok farklı uygulama için güçlü döndürücü bakışimsız ortam olarak kullanılabilirler. Küçük bakışimsızlık değerine sahip genetik algoritma tabanlı bakışimsız metamalzemeler, doğal malzemeler üzerine çalışan araştırmacılara birçok farklı imkân sunar. Birçok doğal bakışimsız malzeme sabit bakışimsızlığa sahip iken, tasarlanan bakışimsız metamalzeme ihtiyaca göre kolayca düzenlenebilir.

Bu çalışmada, güçlü bir bakışimsız ortamı elde etmek için genetik algoritma optimizasyonu ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yeni bir bakışimsız metamalzeme tasarım metodolojisi ilk kez ileri sürülmüştür. Farklı bakışimsızlık değeri ve farklı frekans noktalarında bakışimsız yapıları araştırmak için öne sürülen genetik algoritma optimizasyon modeli, sonlu elemanlar yöntemi temelli simülasyonlarla beraber kullanılmıştır. Bu yeni tekniğin gücü, tasarlanan bir yapı için simülasyon ve ölçüm sonuçlarını karşılaştırmalı olarak ortaya koymasındadır.

İleri sürülen yeni tasarım metodolojisi, araştırmacılara istenen ortam parametrelerine sahip bakışimsız metamalzeme yapılandırmasına imkân tanınması ile tecrübe ve tahmin gibi farklı ihtiyaçlara gereksinim duymaması bakımından çok etkili bir yöntemdir.

Bu çalışma sayesinde yapay olarak elde edilecek metamalzemelerin birçok elektromanyetik ortam parametresi için istenilen değer aralıklarına ve özelliklere sahip malzemenin tasarımını elde etmek mümkündür.

Çalışmadaki levha yüzeyi kare piksellere bölünerek bir araştırma yapılmıştır. Araştırmacılar farklı geometri büyüklüklerinde kare pikseller üzerine çalışmalar yürütebilirler, farklı ortam değişkenlerini optimize etmek için bu metodolojiyi kullanabilirler. Ayrıca levha yüzeyi kare pikseller yerine dairesel, üçgensel veya

dikdörtgensel elemanlara ayırıp bu şekilde bir optimizasyon çalışması yaparak farklı sonuçları araştırabilirler.

Sonuç olarak ortaya konulan metodoloji ile literatürde henüz yapılmamış bir yöntem geliştirilmiştir. Bir çok şekilde bakışsız metamalzeme üretilirken, genetik algoritma optimizasyonu ve pikselleme yöntemi ile simülasyon programını Matlab ile interaktif kullanarak oluşturulan bir platformla bakışsız metamalzemeler ilk kez geliştirilmiş olup bu konuda literatüre farklı bir bakış açısı da kazandırılmıştır.

KAYNAKLAR

Anonim, 2010, Bakımsızlık,

http://www.ahmettutar.com/all_upload/image/stereokimyatim2010-II.pdf

Arslanoğlu, Y., 2006. Genetic algorithm for personnel assignment problem with multiple objectives. **Doctoral dissertation**, Middle East Technical University, Ankara.

Aydin, K.. 2008. Characterization And Applications of Negative-Index Metamaterials.**Doctoral dissertation**, Bilkent University, Ankara.

Bayindir, M., Aydin, K., Ozbay, E., Markoř, P., & Soukoulis, C. M.. 2002. Transmission properties of composite metamaterials in free space. **Applied Physics Letters**, 81(1), 120-122.

Boutayeb, H., Wu, K., & Mahdjoubi, K.. 2009. Technique for reducing surface wave at an air/left-handed medium (LHM) interface or excitation of the forward wave in an LHM. **Microwave and Optical Technology Letters**, 51(2), 280-284.

Buell, K., Mosallaei, H., & Sarabandi, K.. 2005. Electromagnetic metamaterial insulator to eliminate substrate surface waves. **In Antennas and Propagation Society International Symposium**, 2005 IEEE (Vol. 2, pp. 574-577). IEEE.

Couchman, P. R., & Jessee, W. A. 1977. Comments on the melting mechanism for crystalline species. **Philosophical Magazine**, 35(3), 787-790.

Cui, T. J., Smith, D. R., & Liu, R. (Eds.). 2009. Metamaterials: theory, design, and applications. **Springer**.

Daban, F.,& Ozdemir, E.. 2004. Eđitimde Verimliliği Artıran Ders Programlarının Hazırlanması İçin Genetik Algoritma Kullanımı. **Journal of Educational Sciences & Practices**, 3(6).

Doğan, E.. 2012. Metamalzemelerin Anten Uygulaması. **Yüksek Lisans Tezi**, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay.

Emel, G. G.,& TAŞKIN, .. 2002. Genetik Algoritmalar Ve Uygulama Alanları. **Uludađ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, Cilt XXI, Sayı 1, 2002, s. 129-152.

Engheta, N.,& Ziolkowski, R. W. (Eds.). 2006. Metamaterials: physics and engineering explorations. **John Wiley & Sons**.

Enoch, S., Tayeb, G., Sabouroux, P., Guérin, N., & Vincent, P. 2002. A metamaterial for directive emission. **Physical Review Letters**, 89(21), 213902.

- Erentok, A., & Ziolkowski, R. W.. 2005. HFSS modeling of a dipole antenna enclosed in an epsilon-negative (ENG) metamaterial shell. **In Antennas and Propagation Society International Symposium**, 2005 IEEE (Vol. 3, pp. 22-25). IEEE.
- Erentok, A., & Ziolkowski, R. W.. 2007. A hybrid optimization method to analyze metamaterial-based electrically small antennas. **Antennas and Propagation, IEEE Transactions on**, 55(3), 731-741.
- Goldberg, D. E.. 1989. Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning Reading Menlo Park: **Addison-wesley**, Vol. 412.
- Holland, J. H.. 1975. Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence. **U Michigan Press**.
- Huang, R., Li, Z. W., Kong, L. B., Liu, L., & Matitsine, S.. 2009. Analysis and design of an ultra-thin metamaterial absorber. **Progress In Electromagnetics Research B**, 14, 407-429.
- İşlier, A. A.. 2001. Üretim Hücrelerinin Bir Genetik Algoritma Kullanılarak Oluşturulması. **Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 2(1), 137-157.
- Karaaslan, M., 2009, Negatif kırılma indisli meta-malzemelerin elde edilmesi, **Doktora tezi**, Çukurova Üniversitesi, 128 s , Adana.
- Meeusen, J. J.. 2004. Error Analysis of Material Characterization Using a Wave Guide Applicator, **Doctoral dissertation**, Michigan State University. Department of Electrical and Computer Engineering.
- Murata, T. 1997. Genetic Algorithms for Multi-Objective Optimization, **Doctoral Thesis**, Osaka Prefecture University.
- Nicolson, A. M., & Ross, G. F.. 1970. Measurement of the intrinsic properties of materials by time-domain techniques. **Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on**, 19(4), 377-382.
- Ouedraogo, R.O., 2011, Topology Optimization of Metamaterials and Applications to RF Component Design, **Doctoral dissertation**, Michigan State University.
- Pendry, J. B., Holden, A. J., Robbins, D. J., & Stewart, W. J.. 1999. Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena. **Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on**, 47(11), 2075-2084.
- Sadiku, M. N.. 1989. A simple introduction to finite element analysis of electromagnetic problems. **Education, IEEE Transactions on**, 32(2), 85-93.
- Sadiku, M., N., O., 2000, Numerical Techniques in Electromagnetics, **CRC press**.
- Shelby, R. A., Smith, D. R., & Schultz, S.. 2001. Experimental verification of a negative index of refraction. **Science**, 292(5514), 77-79.

- Smith, D. R., & Kroll, N.. 2000. Negative refractive index in left-handed materials. **Physical Review Letters**, 85(14), 2933.
- Sudhakaran, S. 2006. Negative Refraction from Electromagnetic Periodic Structures and Its Applications. **Doctoral dissertation**, University of London.
- Sun, S. H., & WANG, B. Z.. 2005. Parameter optimization based on GA and HFSS. **Journal of Electronic Science and Technology of China**, Vol, 3, 46.
- Ozbay, E., Aydin, K., Cubukcu, E., & Bayindir, M.. 2003. Transmission and reflection properties of composite double negative metamaterials in free space. **IEEE Transactions on antennas and propagation**, 51(10), 2592-2595.
- Wang, B., Zhou, J., Koschny, T., Kafesaki, M., & Soukoulis, C. M.. 2009. Chiral metamaterials: simulations and experiments. **Journal of Optics A: Pure and Applied Optics**, 11(11), 114003.
- Veselago, V. G.. 1968. The Electrodynamics Of Substances With Simultaneously Negative Values Of ϵ and μ . **Physics-Uspexhi**, 10(4), 509-514.
- Yeo, M. F., & Agyei, E. O.. 1998. Optimising engineering problems using genetic algorithms. **Engineering Computations**, 15(2), 268-280.
- Zhao, R., Zhang, L., Zhou, J., Koschny, T., & Soukoulis, C. M. 2010. Conjugated gammadion chiral metamaterial with uniaxial optical activity and negative refractive index. **arXiv preprint arXiv:1008.5172**.

ÖZGEÇMİŞ

Yazar 1985 yılında Kilis'te doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise eğitimini burada tamamladı. 2003 yılında Mersin Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'ne okul birincisi kontenjanından yerleşti. Lisans eğitimini 2008 yılında tamamlayarak mezun oldu. Özel sektörde ve kamuda mühendislik görevini bir süre yaparak 2010 yılında Kilis 7 Aralık Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Bilişim Teknolojileri Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak işe başladı. 2011-2012 Akademik yılı içerisinde Güz yarıyılında Mustafa Kemal Üniversitesi Enformatik Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı. Halen Kilis 7 Aralık Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Bilişim Teknolojileri Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır.