

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİKDÖRTGEN MİKROŞERİT ANTENLERİN BİLGİ –
TABANLI DESTEK VEKTÖR ANALİZİ**

Elektronik ve Haberleşme Müh. Ali KUŞ

**FBE Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı Haberleşme Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet KIZILAY (YTÜ)

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	ii
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMALAR	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. DESTEK VEKTÖR REGRESYON MAKİNELERİ	3
2.1 Öznitelik Uzayında Doğrusal Öğrenen Makineler.....	3
2.2 Birincil Optimizasyon Problem Formülasyonu	4
2.3 Lagrange Fonksiyonu ve Çift Gösterimi.....	5
3. MİKROŞERİT ANTENLER	8
3.1 Mikroşerit Yama Anten	8
3.2 Mikroşerit Antenlerde Işıma	9
3.3 Mikroşerit Anten Tipleri	11
3.3.1 Mikroşerit Yama Antenler	11
3.3.2 Mikroşerit Yürüyen Dalga Antenler	12
3.3.3 Mikroşerit Yarık Antenler.....	13
3.4 Mikroşerit Antenlerin Besleme Teknikleri	14
3.4.1 Eş Eksenli Hat ile Besleme	14
3.4.2 Mikroşerit Hat ile Besleme	15
3.5 Mikroşerit Yama Anten Tasarımı	15
3.5.1 Yama Uzunluğu	16
3.5.2 Yama Genişliği	17
3.5.3 Mikroşerit Anten Besleme Pozisyonu Hesabı	17
3.5.4 Besleme Hattı Geometrisi	22
3.5.4 Mikroşerit Antenlerde Besleme Hattının Etkisi.....	24
4. MİKROŞERİT ANTENLERİN EI3D ile TASARIMI ve ANALİZİ	28
4.1 IE3D	28
4.1.1 IE3D ile Simülasyon Adımları.....	28
4.2 IE3D ile Tasarım	29
4.2.1 Temel Değişkenler (Basic Parameters).....	29
4.2.2 Dikdörtgen Yama Anten Boyutları Belirleme	31
4.2.3 Besleme Hattı Oluşturma	32

4.2.4 Antenin Simülasyonu	33
5. MİKROŞERİT ANTENLERİN BİLGİ-TABANLI DESTEK VEKTÖR ANALİZİ.....	35
5.1 Mikroşerit Antenlerin DVM ile Analizi için Yaklaşım	35
5.2 Kaba Veri Üretimi.....	35
5.3 Kaba DVRM Modeli.....	37
5.4 Hassas Destek Vektör Üretimi.....	39
5.5 Hassas Destek Vektör Modeli.....	39
6. SONUÇ	45
KAYNAKLAR	46
EKLER.....	48
Ek 1: Besleme Noktası Hesaplayan MATLAB Kodu	48
Ek 2: Eğitim Verisi İçin Kullanılan MATLAB Kodu.....	49
ÖZGEÇMİŞ	50

SİMGE LİSTESİ

b	Bias
B	Süseptans
c	Işık hızı
C	Cost parametresi
E	Elektrik Alan
F	Öznitelik Uzayı
f_r	Rezonans frekansı
G	İletkenlik
G_{12}	Karşılıklı iletkenlik
h	Dielektrik tabakanın kalınlığı
H	Manyetik alan
J_0	Bassel fonksiyonu
k_0	Serbest uzay için faz sabiti
L	Dikdörtgen mikroşerit antenin uzunluğu
$\emptyset$	Eşleme vektörü
P_{rad}	Işıma gücü
R_{in}	Antenin istenen giriş direnci
R_{in0}	Antenin mevcut giriş direnci
S	Çentik genişliği
$\tan \gamma$	Kayıp tanjant
w	Ağırlık vektörü
W	Dikdörtgen mikroşerit antenin genişliği
W_f	Besleme hattının genişliği
W_n	Normalize edilmiş besleme hattı boyu
Y	Admitans
Y_c	Karakteristik admitans
y_i	i 'inci verinin hedef değeri
Z_c	Karakteristik empedans
Z_{in}	Giriş empedansı
α_i	i 'inci verinin Lagrange katsayısı
Δl	Hat genişlemesi (saçak alan uzunluğu)
$\mathcal{E}$	duyarsız kayıp fonksiyonu
ε	DVRM kayıp fonksiyonu
ε_r	Dielektrik sabiti
ε_e	Efektif dielektrik sabiti
λ	Dalga boyu

KISALTMALAR

DV	Destek Vektör
DVM	Destek Vektör Makineleri
DVRM	Destek Vektör Regresyon Makineleri
EM	Elektromanyetik
FEM	Finite Element Method
MIC	Microwave Integrated Circuit
MoM	Method of Moments
PTFE	Politetrafloretillen
RFIC	Radio Frequency Integrated Circuit
SV	Support Vector
SVRM	Support Vector Regression Model
TLM	Transmission Line Method
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1	Dikdörtgen mikroşerit yama anten.....	8
Şekil 3.2	Şerit beslemeli mikroşerit anten.....	9
Şekil 3.3	Anten üzerinde elektrik alan çizgileri.....	10
Şekil 3.4	Elektrik alan çizgilerinin üstten ve yandan görünüşü.....	10
Şekil 3.5	Dikdörtgen mikroşerit anten üzerinde meydana gelen yansımalar.....	11
Şekil 3.6	Mikroşerit yama anten çeşitleri.....	12
Şekil 3.7	Mikroşerit yürüyen dalga anten şekilleri.....	13
Şekil 3.8	Mikroşerit yarık anten örnekleri.....	13
Şekil 3.9	Eş eksenli hat ile besleme.....	14
Şekil 3.10	Mikroşerit hat beslemeli anten.....	15
Şekil 3.11	Mikroşerit hat yapısı.....	16
Şekil 3.12	Mikroşerit antenin iletim hattı modeli için eşdeğer devresi.....	18
Şekil 3.13	Mikroşerit hat ile beslenen mikroşerit anten.....	21
Şekil 3.14	Şerit beslemeli mikroşerit anten geometrisi.....	22
Şekil 3.15a	50 Ω 'luk ve 100 Ω 'luk besleme hatlı hava alttaşı yamaların simülasyon sonuçları, S=1.854 cm.....	24
Şekil 3.15b	50 Ω 'luk ve 25 Ω 'luk besleme hatlı yamaların simülasyon sonuçları, S=0.62 cm $\epsilon_r = 10.2$	24
Şekil 3.16	Besleme noktası hesabı yapılmadan tasarlanan mikroşerit hat beslemeli anten.....	25
Şekil 3.17	Besleme hattının bir uydurma devresi olarak hesaplanarak tasarlanan anten.....	26
Şekil 3.18	Besleme noktası hesaplanmayan antenin 2.5 GHz'de ışıma paterni.....	26
Şekil 3.19	Besleme noktası hesaplanmayan antenin 2.5 GHz'de akım dağılımı.....	27
Şekil 3.20	Besleme hattının hesaplanarak tasarlandığı antenin 2.5 GHz'de ışıma paterni.....	27
Şekil 3.21	Besleme hattının hesaplanarak tasarlandığı antenin 2.5 GHz'de akım dağılımı.....	28
Şekil 4.1	Zeland program manager.....	30
Şekil 4.2	Mgrid program görüntüsü.....	31
Şekil 4.3	Temel parametreler (Basic Parameters).....	32
Şekil 4.4	Dikdörtgen yama anten için boyutların girilmesi.....	33
Şekil 4.5	Besleme Hattı Boyutlarının Girilmesi.....	34
Şekil 4.6	Antenin son hali.....	35

Şekil 4.7	Simülasyon tablosu.....	36
Şekil 4.8	Frekans-Zayıflama grafiği.....	36
Şekil 5.1	Kaba ve hassas veri üretici kullanan bilgi-tabanlı DVRM yaklaşımı.....	37
Şekil 5.2	Kaba DVRM modelinde Test1 için Target-DVM değerlerinin grafiği.....	40
Şekil 5.3	Kaba DVRM modelinde Test2 için Target-DVM değerlerinin grafiği.....	41
Şekil 5.4	Kaba DVRM modelinde Test3 için Target-DVM değerlerinin grafiği.....	41
Şekil 5.5	$h = 2.5\text{mm}$ için L ile f_r 'nin değişiminde hassas veri ile eğitilmiş DVRM sonuçlarının EM simülatör sonuçları ve kaba DVRM model sonuçları ile karşılaştırılması.....	43
Şekil 5.6	$h = 4\text{mm}$ için L ile f_r 'nin değişiminde hassas veri ile eğitilmiş DVRM sonuçlarının EM simülatör sonuçları ve kaba DVRM model sonuçları ile karşılaştırılması.....	43
Şekil 5.7	$L = 35\text{mm}$ değeri için h ile f_r 'nin değişiminde hassas veri ile eğitilmiş DVRM sonuçlarının EM simülatör sonuçları ve kaba DVRM model sonuçları ile karşılaştırılması.....	44
Şekil 5.8	$L = 40\text{mm}$ değeri için h ile f_r 'nin değişiminde hassas veri ile eğitilmiş DVRM sonuçlarının EM simülatör sonuçları ve kaba DVRM model sonuçları ile karşılaştırılması.....	44
Şekil 5.9	$L = 45\text{mm}$ değeri için h ile f_r 'nin değişiminde hassas veri ile eğitilmiş DVRM sonuçlarının EM simülatör sonuçları ve kaba DVRM model sonuçları ile karşılaştırılması.....	45
Şekil 5.10	$L = 50\text{mm}$ değeri için h ile f_r 'nin değişiminde hassas veri ile eğitilmiş DVRM sonuçlarının EM simülatör sonuçları ve kaba DVRM model sonuçları ile karşılaştırılması.....	45
Şekil 5.11	$h = 1\text{mm}$ için EM simülatör ve hassas DVRM modelin sonuçlarının karşılaştırılması.....	46
Şekil 5.12	$h = 2.5\text{mm}$ için EM simülatör ve hassas DVRM modelin sonuçlarının karşılaştırılması.....	47
Şekil 5.13	$h = 4\text{mm}$ için EM simülatör ve hassas DVRM modelin sonuçlarının karşılaştırılması.....	47

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 5.1	Tasarlanacak antenlerin boyut aralıkları.....	38
Çizelge 5.2	Test1 kümesi için seçilen anten parametreleri.....	38
Çizelge 5.3	Test2 kümesi için seçilen anten parametreleri.....	39
Çizelge 5.4	Test3 kümesi için seçilen anten parametreleri.....	39
Çizelge 5.5	Kaba sentez veri kümesi ile eğitilen DVRM modeli için ε parametresine bağlı olarak DV sayısı ve doğruluk değişimi.....	39

ÖNSÖZ

Hızla gelişen bilgisayar teknolojisi, bilgisayarların kapasitelerini arttırmış ve veri işleme hızlarında büyük bir artışa sebep olmuştur. Bununla beraber karmaşık elektromanyetik alan problemlerinin çözümü üzerine çalışanlarda analitik yöntemleri takip etmekten ziyade sayısal teknikler üzerinde durmak daha yaygın hale gelmiştir.

Bu çalışmada da dikdörtgen mikroşerit antenlerin tasarımında kullanılan kaba formüller yerine Destek Vektör Regresyon Makineleri kullanılarak mikroşerit antenlerin analizi EM Simülatörlere paralel bir doğrulukta DVRM modeli kullanılarak oluşturulmuştur.

Bu çalışma umarım analitik yöntemler yerine sayısal teknikler ile dikdörtgen mikroşerit anten tasarlamak isteyen araştırmacılara bir nebze de olsa yardımcı olabilir.

Tez çalışmamda bana bu konuda çalışma fırsatı veren sayın Doç. Dr. Ahmet Kızılay'a, bana rehberlik eden sayın Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ'e ve Yrd. Doç. Dr. Nurhan TÜRKER TOKAN'a ve ayrıca bana her zaman destek olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ali KUŞ

ÖZET

Bu çalışmada, dikdörtgen mikroşerit antenlerin analizi için bilgi-tabanlı destek vektör makinesi modeli sunulmuştur. Kaba verileri oluşturmak için dikdörtgen mikroşerit antenin analitik fonksiyonları ve yüksek seviyeli teknik programlama paketi olan MATLAB kullanılmıştır. Kaba veriler ile oluşturulan Kaba DVRM modelinden Hassas DVRM modelinde kullanılacak Destek Vektörleri elde edilmiştir. Bu Destek Vektörler, tam dalga elektromanyetik simülasyon programı olan Zeland IE3D kullanılarak simüle edilmişlerdir. Simüle edilen DV'ler hassas veri kümesini oluşturmuş ve bu küme Hassas DVRM modelin eğitiminde kullanılmıştır. Böylelikle dikdörtgen mikroşerit antenlerin analizinde kaba modeller kadar hızlı, hassas modeller kadar yüksek doğruluklu bir analiz metodu geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Destek Vektör Makinesi, IE3D, Mikroşerit Anten

ABSTRACT

In this work, knowledge-based support vector machines model for analyzing rectangular microstrip antennas is presented. Analytic formulas of rectangular microstrip antennas and MATLAB, which is high-level technical programming packet, are used to generate coarse database. Support Vectors for the Fine SVRM model are produced by the Coarse SVRM model, which is prepared by coarse database. These Support Vectors are simulated by a full-wave electromagnetic simulation programme, Zeland IE3D. Simulated SVs are generated fine database and this database is used to train Fine SVRM model. Hereby, an analyze method is developed for analyzing rectangular microstrip antennas as fast as coarse models and as accurate as fine models.

Keywords: Support Vector Machines, IE3D, Microstrip Antenna

1. GİRİŞ

Günümüzde hareketli haberleşme sistemleri için kullanılan cihazların küçük ve hafif olması ve birden fazla fonksiyonu desteklemesi beklenen bir durumdur. Mikroşerit antenler, küçük hacimleri, hafif ve düzlemsel yapıları ve üretimlerinin kolay olması nedeniyle çeşitli uygulamalarda yoğun olarak kullanılmaktadır.

Mikroşerit yapıların ışıma yapan yayıcı bir eleman olduğu görüşü 1950'li yıllarda Deschamps tarafından ortaya atılmıştır (Deschamps, 1953). Bundan birkaç sene sonra Gutton ve Baissinot tarafından mikroşerit anten patenti alınmıştır (Gutton ve Baissinot, 1955). 1970'li yıllarda füzeler ve uzay mekikleri için ince, yüzeye uyumlu mikroşerit antenler üretilmiştir (Sainati, 1996). Günümüzde mikroşerit antenlerin uzay araçları, uçaklar, radarlar, uydu haberleşmesi, güdümlü mermi gibi birçok askeri alanda kolaylıkla kullanılabilir yapısı ve baskı devre teknolojisi ile üretilmesi gibi kolay üretim tekniği ile mikrodalga antenleri içinde başlı başına bir konu haline gelmiştir.

Mikroşerit antenlerin analizine yönelik geliştirilmiş farklı yöntemler vardır. Genel olarak en fazla kullanılan modeller iletim hattı modeli (Pues. Capelle, 1984), boşluk modeli (Lo vd., 1979) ve tam dalga modelidir. İletim hattı ve boşluk modelleriyle yapılan analizlerin bazı şartlarda sağlıklı sonuçlar vermesinden dolayı 1970'li yıllarda mikroşerit anten yapılarının tam dalga analizleri geliştirilmiştir. Tam dalga metoduyla mikroşerit antenlerin analizi için çeşitli tekniklerin kullanıldığı değişik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan en yaygınları TLM (Transmission Line Matrix), FEM (Finite Element Method) ve MoM (Method of Moments)'dir. Bu çalışmada kullanılan tam dalga elektromanyetik simülatör programı olan Zeland IE3D bu metodlardan MoM (Moment Metodu)'nu kullanmaktadır.

Bu çalışma günümüzde çok yaygın olarak kullanılan mikroşerit antenlerin analizi problemine elektromanyetik simülatörler kadar sağlıklı sonuç veren Bilgi-Tabanlı Destek Vektörler ile yaklaşımını hedeflemektedir.

Günümüzde Destek Vektör Makineleri (DVM), hızlı ve esnek bir öğrenen makine olarak mikrodalga modelleme uygulamalarında kullanılmaya çalışılmaktadır. DVM, genelleme ve optimizasyon teorilerini birbirine bağlayan sağlam matematiksel temellere dayandırılmış, hızlı bir öğrenen makinedir. DVM, esas olarak yüksek derecede doğrusal olmayan fonksiyonlar ile regresyon yapabilme potansiyelinde makinelerdir, çünkü bu doğrusal olmayan fonksiyonlar uygun bir öznitelik uzayında teşkil edilip, doğrusal bir fonksiyon olarak işlem görmektedir. DVM

öğrenme teorisi, sonsuz sayıda örnekleme yerine, küçük sayıda örnekleme prensibine dayandırılmıştır ve bu neden ile hesaplama maliyeti oldukça düşüktür. Bu çalışma prensipleri ile DVM, sınıflandırma ve regresyon problemlerinde, diğer metodlara göre kesin üstünlükler getirmektedir(Vapnik, 1995).

DVM teorisi Vapnik ve arkadaşları tarafından, Bell laboratuvarlarında geliştirilmiş olup, önce histogram tabanlı görüntü sınıflandırma için kullanılmıştır(Chapelle vd., 1999). Sonrasında çok daha değişik uygulamalarda kullanılmıştır. DVM'nin kullanıldığı alanlardan bazıları için şu örnekler verilebilir: Pazarlama tepki modellemesinde, potansiyel müşteri tayininde sınıflandırıcı, müşteri harcama potansiyelinin tayininde regresör olarak, çeşitli tipteki anten tasarımlarında (mikroşerit, yarık, dizi...) (Ayestaran ve Las-Heras, 2005), işaret işleme uygulamalarında (Ganapathiraju, 2004).

Bu çalışmada ise DVM dikdörtgen şekilli mikroşerit yama anten analizi için kullanılmıştır. Öncelikle DVM için gerekli anten örnekleri seçilmiştir. Ardından bu örnekler DVM ile koşturularak örnek sayısı azaltılmış ve azalan bu örnekler Zeland IE3D elektromanyetik tam dalga simülasyon programı ile analiz edilmiştir. Analiz sonuçları DVM örnekleri olarak tanıtılmış ve Hassas DVM fonksiyonu elde edilmiştir. Böylelikle kaba formüller kadar hızlı fakat hassas modeller kadar doğruluk oranına sahip bir analiz metodu geliştirilmiştir.

2. DESTEK VEKTÖR REGRESYON MAKİNELERİ

DVM, doğrusal öğrenme makinelerini, genelleme teorisinin sağladığı kavrayışları göz önünde bulundurarak ve optimizasyon teorisini uygulayarak, kernele bağlı öznitelik uzayında verimli bir şekilde eğitmek için geliştirilen bir sistemdir. Bu sistemlerin en önemli özelliklerinden biri genelleme teorisi ile elde edilen eğilimleri uygularken, hipotezin seyrek gösterimlerini üretmesi sonucunda çok verimli algoritmanın oluşmasıdır. Bu Karush-Kuhn-Tucker (KKT) durumlarından kaynaklanır (Kuhn ve Tucker, 1951) ve DVM' nin pratik uygulamasında ve analizinde büyük öneme sahiptir. DV yaklaşımının bir başka önemli özelliği optimizasyon probleminin konveks olması ve bu sebepten lokal minimumu olmamasıdır. Garantili evrensel minimum ve azaltılmış sayıda sıfır olmayan parametreler, bu sistem ile yapay sinir ağları gibi diğer örüntü tanıma sistemleri arasındaki en büyük farklılıklardır. Vapnik ve ekibi tarafından geliştirilen bu öğrenme stratejisi, disiplinli ve çok kuvvetli bir metot olarak son yıllarda birçok uygulamada performansı ile diğer öğrenen sistemleri geride bırakmıştır. (Tokan, 2009)

2.1 Öznitelik Uzayında Doğrusal Öğrenen Makineler

Doğrusal olmayan bağıntıları doğrusal bir makine ile öğrenebilmek için öncelikle doğrusal olmayan öznitelik kümesi seçilmeli ve veri yeni gösterimi ile tekrardan yazılmalıdır. Bu, doğrusal olmayan sabit bir eşleme kullanarak, veriyi doğrusal makinelerin kullanılabileceği öznitelik uzayına eşleme ile eşdeğerdir. Bundan dolayı göz önüne alınacak hipotez kümesi şu tip bir fonksiyon olacaktır:

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^N \mathbf{w}_i \cdot \boldsymbol{\phi}_i(\mathbf{x}) + b \quad (2.1.a)$$

Burada

$$\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n) \rightarrow \boldsymbol{\phi}(\mathbf{x})^t = (\phi_1(x), \dots, \phi_N(x)) \quad (2.1.b)$$

Bu adım giriş uzayı X 'i yeni bir uzaya, $F = \{\boldsymbol{\phi}(\mathbf{x}) | \mathbf{x} \in X\}$ eşleme ile eşdeğerdir. Böylece $f(\mathbf{x})$ x -giriş uzayında doğrusal olmayan bir fonksiyon, F -öznitelik uzayında ise doğrusal bir fonksiyondur. Öznitelik uzayının boyutu N ile giriş uzayının boyutu n eşit olmayabilir. F -öznitelik uzayının seçimi orijinal verinin içerdiği tüm gerekli bilgiyi yeni uzaydaki gösterimine aktarabilecek şekilde yapılmalıdır. Böylece doğrusal olmayan bir makine iki adımda yapılabilir: Öncelikle, sabit doğrusal olmayan bir eşleme vektörü $\boldsymbol{\phi}$, veriyi öznitelik uzayı F e dönüştürür. Sonra öznitelik uzayında oluşturulan öğrenen makine regresyon için kullanılır.

Buradan yola çıkarak (2.1.a) denkleminde yer alan $\mathbf{w}$ ve b büyüklükleri ağırlık vektörü ve bias olarak adlandırılacaktır. Burada $\mathbf{w}$

$$\mathbf{w}^t = [w_1, \dots, w_N] \quad (2.1.c)$$

olup yapay sinir ağı literatüründen alınmış bir terimdir. Bazen b yerine eşik olarak bilinen θ kullanılabilir.

Doğrusal öğrenen makinelerin önemli bir özelliği çift gösterim ile ifade edilebilmeleridir. Bu hipotezin eğitim verisinin doğrusal bileşimi ile ifade edilebileceği anlamına gelir. Böylece karar kuralı eğitim ve test verilerinin iç çarpanını kullanarak şu şekilde elde edilebilir:

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^{\ell} \alpha_i y_i \langle \boldsymbol{\phi}(\mathbf{x}_i), \boldsymbol{\phi}(\mathbf{x}) \rangle + b \quad (2.1.d)$$

Burada y_i i' inci verinin hedef değeri, α_i ise i' inci verinin Lagrange katsayısıdır ($i = 1, 2, \dots, \ell$). Bir sonraki bölümde ağırlık vektörü $\mathbf{w}$ 'nın belirlenmesi dışbükey optimizasyon problemi ile ifade edilecek ve çift gösterim özelliği ile öznitelik uzayında veri oturtma için kullanılacaktır.

2.2 Birincil Optimizasyon Problem Formülasyonu

Amacımız (2.1.a)' da yer alan $\mathbf{w}$ 'yı ve b 'yi ℓ adet eğitim verisi, $[(\mathbf{x}_1, y_1), \dots, (\mathbf{x}_\ell, y_\ell)]$ ile doğrusal öğrenen makine teorisini kullanarak belirlemektir. $\mathbf{w}^*$ ve b 'nin en uygun değerleri kayıp fonksiyonunun ve amaç fonksiyonunun tanımına bağlıdır. Dışbükey optimizasyon problemi olarak birincil amaç fonksiyonu şu şekilde ifade edilebilir.

$$\frac{1}{2} \|\mathbf{w}\|^2 + C \sum_{i=1}^{\ell} L^{\varepsilon}(\mathbf{x}_i, y_i, f) \quad (2.2)$$

Burada L genel kayıp fonksiyonu, C ise düzenleme sabitidir. (2.2)' de verilen amaç fonksiyonu dışbükeydir. Bu sebeple yerel minimumu yoktur ve evrensel minimumu bulmayı garanti eder. Bu DVM' nin diğer örüntü tanıma sistemlerine üstünlüklerinden biridir. (Tokan, 2009)

En yaygın kullanılan kayıp fonksiyonlarından biri Vapnik tarafından geliştirilen $\mathcal{E}$ -duyarsız kayıp fonksiyonudur (Vapnik, 1995):

$$L^{\varepsilon}(\mathbf{x}, y, f) = \begin{cases} 0 & \text{if } |y_i - f(\mathbf{x}_i, \mathbf{w}^*)| < \varepsilon \\ |y_i - f(\mathbf{x}_i, \mathbf{w}^*)| - \varepsilon & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (2.3)$$

Bu ifade bir ε tüp tanımlar. Bu ifadeye göre tahmin edilen değer tüpün içinde olduğunda kayıp sıfır, dışında olduğunda ise tahmin edilen değer ile tüpün ε yarıçapı arasındaki farka eşittir. Vapnik' in $\mathcal{E}$ -duyarsız kayıp fonksiyonunu kullanarak (2.4) minimize edilir.

$$\frac{1}{2}(\mathbf{w}^t \mathbf{w}) + C \sum_{i=1}^{\ell} (\xi_i + \hat{\xi}_i) \quad (2.4)$$

Bu ifadede örnek noktası tüpün içinde ise ξ_i veya $\hat{\xi}_i$ sıfıra eşittir. Gözlemlenen nokta eğer tüpün üzerinde ise, ξ_i , gözlemlenen nokta ile ε arasındaki pozitif farka eşittir. Bu durumda ilgili Lagrange çarpanı α_i sıfırdan farklı olacaktır. Benzer olarak $\hat{\xi}_i$, gözlemlenen nokta eğer tüpün altında ise sıfırdan farklı olacaktır ve bu durumda Lagrange çarpanı $\hat{\alpha}_i$ sıfırdan farklı olacaktır.

Gözlemlenen nokta tüpün her iki tarafında birden olamayacağına göre α_i ve $\hat{\alpha}_i$ ’ den biri sıfırdan farklı olacaktır. Eğer gözlemlenen nokta tüpün içinde ise α_i ve $\hat{\alpha}_i$ ’ nin ikisi birden sıfıra eşit olacaktır. Düzenleme parametresi C büyük ise hataya daha fazla vurgu yapılacaktır. Buna karşın C küçük ise daha iyi genelleme kabiliyeti için ağırlıkların normu üzerine vurgu yapılacaktır. Buna karşı düşen kısıtlamalar (2.5)’ de verilmiştir:

$$(\langle \mathbf{w} \cdot \mathbf{x}_i \rangle + b) - y_i \leq \varepsilon + \xi_i \quad (2.5.a)$$

$$y_i - (\langle \mathbf{w} \cdot \mathbf{x}_i \rangle + b) \leq \varepsilon + \hat{\xi}_i \quad (2.5.b)$$

$$\xi_i, \hat{\xi}_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, \ell \quad (2.5.c)$$

2.3 Lagrange Fonksiyonu ve Çift Gösterimi

(2.4)’ de verilen amaç fonksiyonu ile (2.5)’ de yer alan kısıtlamaları bağlayarak (2.6)’ da yer alan Lagrange fonksiyonu elde edilir:

$$L = \frac{1}{2}(\mathbf{w}^t \mathbf{w}) + C \left(\sum_{i=1}^{\ell} \hat{\xi}_i + \sum_{i=1}^{\ell} \xi_i \right) - \sum_{i=1}^{\ell} \hat{\alpha}_i [y_i - (\mathbf{w}^t \cdot \mathbf{x}_i) - b + \varepsilon + \hat{\xi}_i] - \sum_{i=1}^{\ell} \alpha_i [(\mathbf{w}^t \cdot \mathbf{x}_i) + b - y_i + \varepsilon + \xi_i] - \sum_{i=1}^{\ell} (\hat{\gamma}_i \hat{\xi}_i + \gamma_i \xi_i) \quad (2.6)$$

Burada $\gamma_i^{(\wedge)}$ ve $\alpha_i^{(\wedge)}$ Lagrange çarpanlarıdır. Eyer noktası durumlarından L ’ nin birincil değişkenlere ($\mathbf{w}_i$, b , ξ_i ve $\hat{\xi}_i$) göre türevinin sıfıra eşit olacağı sonucu çıkartılabilir (Drucker vd., 1996):

$$\frac{\partial L}{\partial b} = \sum_{i=1}^{\ell} (\hat{\alpha}_i - \alpha_i) = 0 \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \mathbf{w}} = \mathbf{w} - \sum_{i=1}^{\ell} (\hat{\alpha}_i - \alpha_i) \mathbf{x}_i^t = 0 \quad (2.8)$$

$$\frac{\partial \mathbf{L}}{\partial \xi_i} = C - \alpha_i - \gamma_i = 0 \quad (2.9)$$

(2.7), (2.8) ve (2.9)' u (2.6)' ya yerleştirerek çift amaç fonksiyonunun eşdeğer maksimizasyonu şu şekilde elde edilir:

$$\mathbf{W}(\alpha, \hat{\alpha}) = -\varepsilon \sum_{i=1}^{\ell} (\hat{\alpha}_i + \alpha_i) + \sum_{i=1}^{\ell} y_i (\hat{\alpha}_i - \alpha_i) - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^{\ell} (\hat{\alpha}_i - \alpha_i)(\hat{\alpha}_j - \alpha_j) \langle \mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j \rangle \quad (2.10)$$

Bu ifadenin kısıtlamaları şu şekildedir:

$$0 \leq \alpha_i \leq C, 0 \leq \hat{\alpha}_i \leq C, i = 1, \dots, \ell \quad (2.11.a)$$

$$\sum_{i=1}^{\ell} \hat{\alpha}_i = \sum_{i=1}^{\ell} \alpha_i \quad (2.11.b)$$

İlgili Karush–Kuhn–Tucker tamamlayıcı durumları (2.12)' de verilmiştir.

$$\alpha_i (\langle \mathbf{w}, \mathbf{x}_i \rangle + b - y_i - \varepsilon - \xi_i) = 0, \quad (2.12.a)$$

$$\hat{\alpha}_i (y_i - \langle \mathbf{w}, \mathbf{x}_i \rangle - b - \varepsilon - \hat{\xi}_i) = 0, \quad (2.12.b)$$

$$\xi_i \cdot \hat{\xi}_i = 0, \quad (2.12.c)$$

$$\alpha_i \cdot \hat{\alpha}_i = 0, \quad (2.12.d)$$

$$(\alpha_i - C) \cdot \xi_i = 0 \quad (2.12.e)$$

$$(\hat{\alpha}_i - C) \cdot \hat{\xi}_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, \ell \quad (2.12.f)$$

Bu aşamada ℓ adet Lagrange çarpan çifti $(\alpha_i, \hat{\alpha}_i)$ bulunmalıdır. Burada α_i ve $\hat{\alpha}_i$ çarpımının sıfır olduğu, yani en azından bu iki terimden birinin sıfır olduğu görülmektedir. Sıfır olmayan α_i ve $\hat{\alpha}_i$ 'ye ait $\mathbf{x}_i$ 'ye “destek vektörü” denir. En fazla ℓ adet destek vektörü olabilir.

$(\hat{\alpha}_i - \alpha_i)$ yerine α_i koyarak ve $\hat{\alpha}_i \cdot \alpha_i = 0$ olduğunu göz önünde bulundurarak (2.10)' da x -giriş uzayında yer alan amaç fonksiyonu F -öznitelik uzayında şu şekilde yazılabilir:

$$\mathbf{W}(\alpha, \hat{\alpha}) = -\varepsilon \sum_{i=1}^{\ell} |\alpha_i| + \sum_{i=1}^{\ell} y_i \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^{\ell} \alpha_i \alpha_j \langle \varphi(\mathbf{x}_i), \varphi(\mathbf{x}_j) \rangle \quad (2.13)$$

Bu şekilde öznitelik uzayındaki çift optimizasyon problemi elde edilir. Bu ifadenin maksimizasyonu $(\alpha, \hat{\alpha})$ 'ye ve (2.12)'deki durumlara bağlı olarak yapılmalıdır. Bu maksimizasyon $(\alpha, \hat{\alpha})$ katsayılarının belirlenmesi ile sonuçlanır. Bu katsayıları (2.8)' e yerleştirerek ağırlık vektörü $\mathbf{w}$ eğitim verilerinin doğrusal bileşimi olarak elde edilebilir:

$$\mathbf{w} = \sum_i^{\ell} (\alpha_i - \hat{\alpha}_i) \mathbf{x}_i^t \quad (2.14)$$

Verilen verinin destek vektör açılımı şu şekilde elde edilir:

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^{DV} \alpha_i y_i \langle \varphi(\mathbf{x}_i), \varphi(\mathbf{x}) \rangle + b \quad (2.15)$$

Öznelik uzayındaki iç çarpım $\langle \varphi(\mathbf{x}_i), \varphi(\mathbf{x}) \rangle$ genellikle kernel fonksiyonu K olarak adlandırılır ve her $x, z \in X$ için şu şekilde ifade edilebilir:

$$K(x, z) = \langle \varphi(x), \varphi(z) \rangle \quad (2.16)$$

Burada φ, X den öznelik uzayı F 'e yapılan bir eşlemedir.

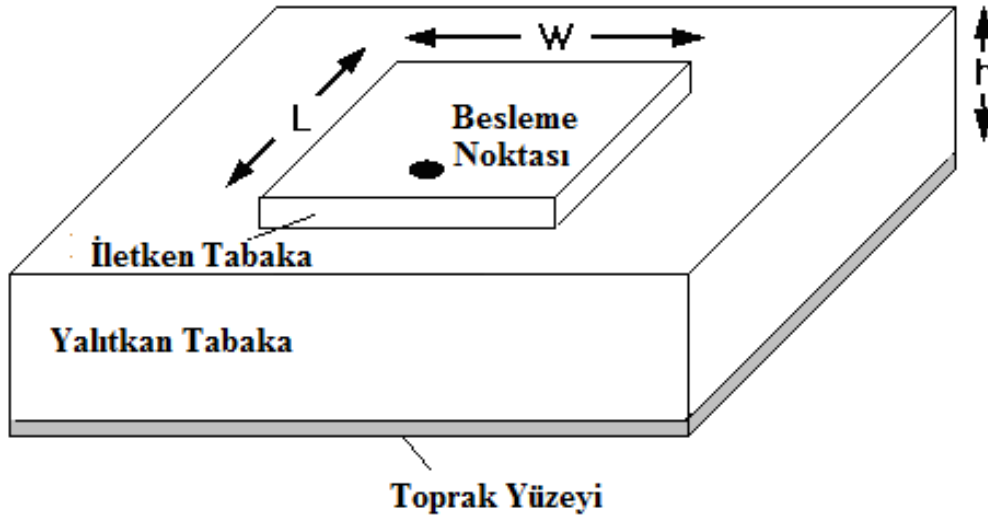
b 'nin değeri çift problemin çözümü ile bulunamaz. Bu sebepten b^* (2.12.a) ve (2.12.b)' de yer alan birincil kısıtlamaları kullanarak bulunmalıdır.

DV açılımı için son olarak şunlar söylenebilir: (2.12.a) ve (2.12.b)' den sadece $|f(\mathbf{x}_i) - y_i| \geq \varepsilon$ ise Lagrange çarpanlarının sıfırdan farklı olabileceği, farklı bir deyişle, ε -tüpün içindeki tüm örnekler için, yani $|f(\mathbf{x}_i) - y_i| < \varepsilon$ olduğunda α ve $\hat{\alpha}$ sıfır olacaktır. Bu şekilde Karush-Kuhn-Tucker durumları sağlanmış olur. Bu şekilde azaltılmış sayıda eğitim verisi $\mathbf{x}_i$ ile $\mathbf{w}$ 'nun seyrek açılımı elde edilebilir. Sıfır olmayan Lagrange katsayıları ile gelen örneklerle destek vektörü denir. Çözümün eğitim verisinin bir alt kümesi ile ifade edilebilmesinin hesaplamada büyük avantajları vardır. Azaltılmış sayıda sıfır olmayan parametre ve garantili evrensel minimum DVM ile, YSA gibi diğer örüntü tanıma algoritmaları arasındaki en büyük farklılıklardır. DVM teorisi hakkında detaylı bilgi ve literatür (Cristianini ve Shawe-Taylor, 2000)' de mevcuttur.

3. MİKROŞERİT ANTENLER

3.1 Mikroşerit Yama Anten

Fiziksel olarak bir mikroşerit anten; toprak yüzeyi üzerinde bulunan yalıtkan bir tabaka üzerine yerleştirilen iletken bir tabakadan oluşur. Şekil 3.1’de en genel anlamıyla bir dikdörtgen mikroşerit yama antenin fiziksel yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Dikdörtgen mikroşerit yama anten

Yalıtkan tabaka, anten için başlıca şu görevleri yerine getirir;

- İletken tabakanın düzgün bir şekilde monte edilmesi için gerekli yüzeyi oluşturur.
- Ayrıca transmisyon hattının bir parçası olarak işlev sağlar ve dielektriğin tipi ve kalınlığı gibi özellikleri ile antenin elektromanyetik özelliklerini belirler.

Çok ince olan yalıtkan tabaka, antenin çalışma frekansı için dalga boyunun yüzde bir-iki’si gibi bir değerde seçilir. Taban malzemesi olarak RT-Duroid, alumina ve cam katkılı PTFE (politetrafloretilen) gibi malzemeler kullanılır. (Nakar, 2004)

İletken tabaka ise kullanım kolaylığı ve ucuzluğu sebebiyle bakır seçilir, fakat altın ve benzeri iletkenler de kullanılabilir. İletken tabaka yalıtkan tabakaya kimyasal olarak yapıştırılmıştır.

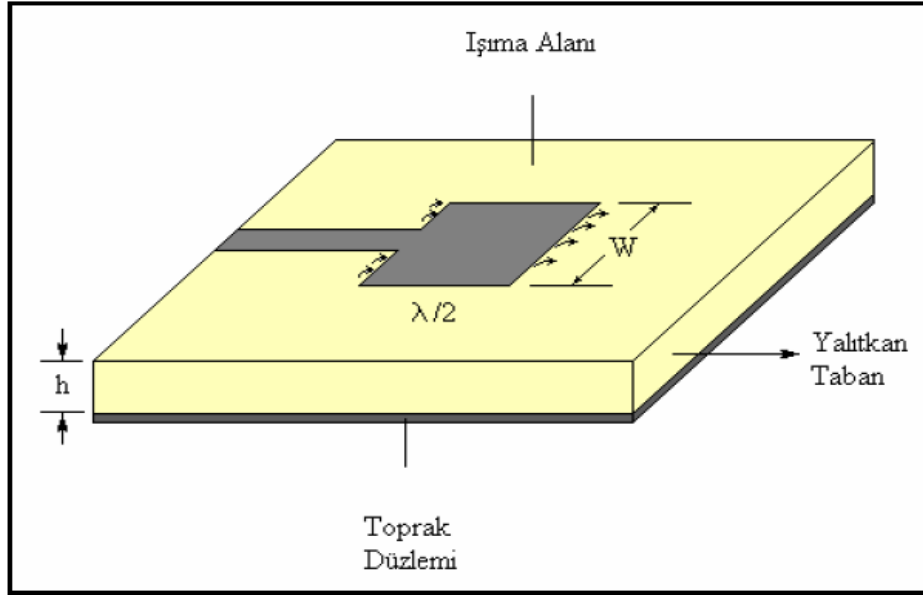
3.2 Mikroşerit Antenlerde Işıma

Mikroşerit antenlerde ışıma, iletken tabakanın kenarları ve toprak tabakası arasındaki alanda oluşur. Bu ışımanın oluşumunu açıklayan bir çok model bulunmaktadır. En yaygın olarak kullanılan ve kabul gören çözümler şunlardır.

- a) Dyadic Green Fonksiyonları
- b) Boşluk Modeli
- c) Delik Işınım Metodu
- d) Vektör Potansiyel Yaklaşımı
- e) İletim Hattı Modeli

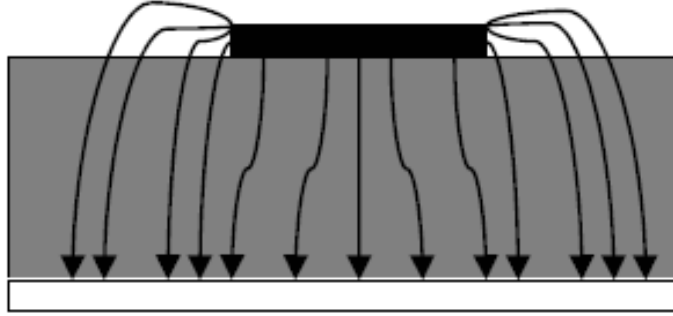
İletim Hattı Modeli daha az hesaba gerek duyar, pratik uygulamalar için kullanılabilen diğer yöntemlere nazaran daha çok kullanılır. (Balanis, 2005)

Bir mikroşerit antende ışıma aşağıdaki şekilde gösterilen şerit beslemeli mikroşerit anten üzerinde görüldüğü gibi basit bir şekilde gösterilebilir.



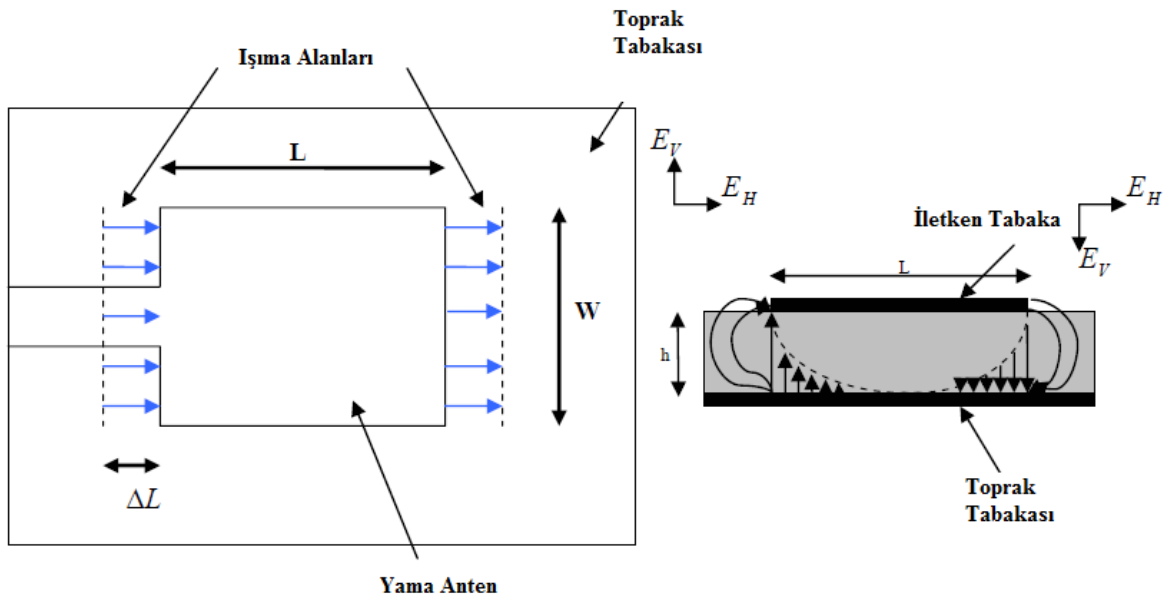
Şekil 3.2 Şerit beslemeli mikroşerit anten

Şekil 3.2’den görüleceği üzere bir mikroşerit antende ışıma; antenin iletken tabakası ile toprak tabakası arasında oluşur. Antenin elektrik alan dağılımı ise aşağıdaki örnekte verildiği şekilde gerçekleşir.



Şekil 3.3 Anten üzerinde elektrik alan çizgileri

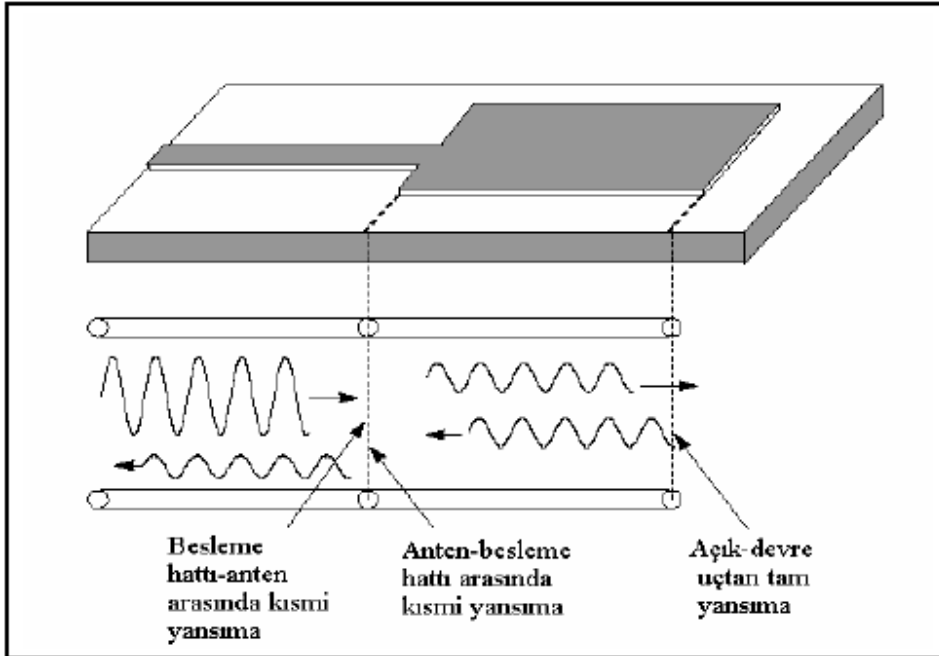
Şekil 3.3’ten de anlaşılabacağı üzere, ışıma iletken tabakanın kenar alanlarında maksimum seviyede oluşur. Şekil 3.2’de gösterildiği gibi anten uzunluğu L , $\lambda/2$ kadar seçildiğinde ise iletken tabaka kenarlarında oluşan elektrik alan dik ve teğet iki bileşene ayrılırlar. Bu sebeple dik bileşenler aynı fazda olmadıkları için uzak alanda birbirlerini yok ederler. Teğet bileşenler ise aynı fazda olduklarından uzak alanda en yüksek ışıma alan değerini verirler.



Şekil 3.4 Elektrik alan çizgilerinin üstten ve yandan görünüşü

İletken tabaka ve toprak düzlemi kenarlarında oluşan elektrik alan antenin boyutlarında Şekil 3.4'te görülen bir elektriksel genişlemeye sebep olur. Hat genişlemesi , Δl denen bu değişiklik ile antenin boyunda L bir uzamaya sebep olur ve anten analizinde anten uzunluğu hat genişlemesi hesaba katılarak yapılır. (Balanis, 2005)

Mikroşerit hatta uygulanan dalga şerit altından ilerler ve yamanın altında yayılır. Antenin kenar bölgesine ulaşan dalganın bir kısmı geri yansırken bir kısmı ışıma yapar. Geri yansıyan dalga sönümlenene kadar antenin iki kenarı arasında git-gel yapar. Bu enerjinin de bir kısmı kaynağa doğru yansır. Şekil 3.5'te dikdörtgen mikroşerit yama anten altında meydana gelen bu yansıma mekanizması şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Dikdörtgen mikroşerit anten üzerinde meydana gelen yansımalar

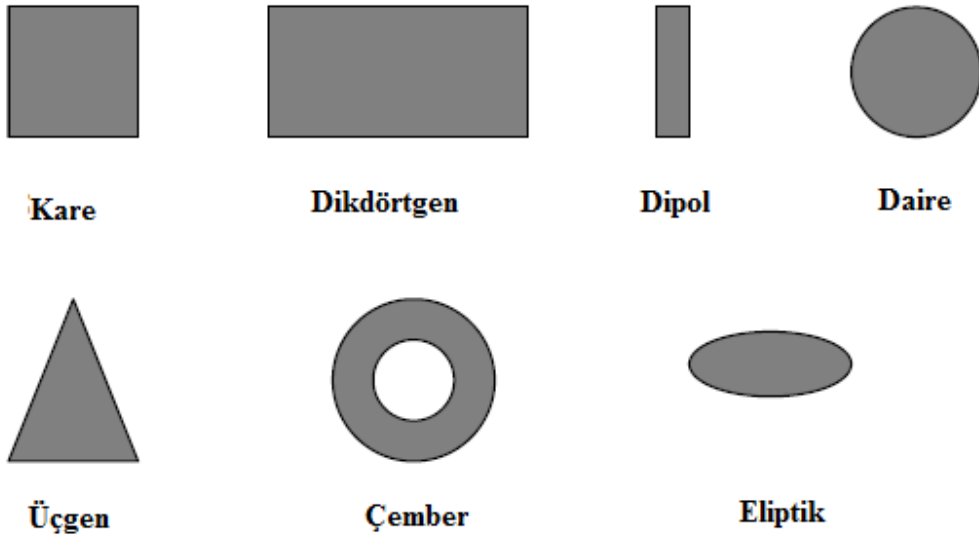
3.3 Mikroşerit Anten Tipleri

Mikroşerit antenler sınıflandırılırken iletken tabakanın aldığı şekil göz önüne alınır. İletken tabakanın aldığı şekillere göre mikroşerit antenler üç ana alt başlıkta incelenebilir.

3.3.1 Mikroşerit Yama Antenler

Mikroşerit yama antenler bir toprak düzlemi üzerinde bulunan dielektrik tabakanın üzerindeki iletken tabakanın herhangi bir geometriye sahip olarak oluşturulması ile meydana gelen antenler

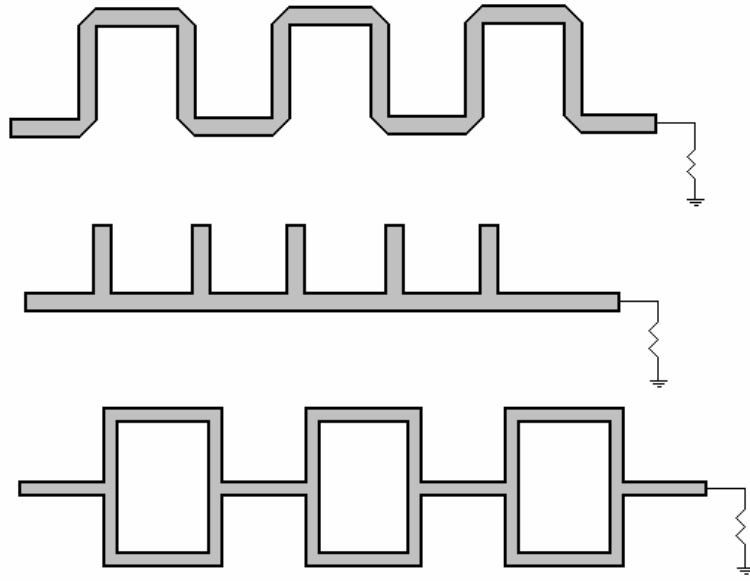
olarak adlandırılırlar. Şekil 3.6’da yaygın olarak kullanılan yama anten şekilleri gösterilmiştir. Bu çalışmada bahsedilen mikroşerit dikdörtgen yama antenler de bu sınıfa girerler.



Şekil 3.6 Mikroşerit yama anten çeşitleri

3.3.2 Mikroşerit Yürüyen Dalga Antenler

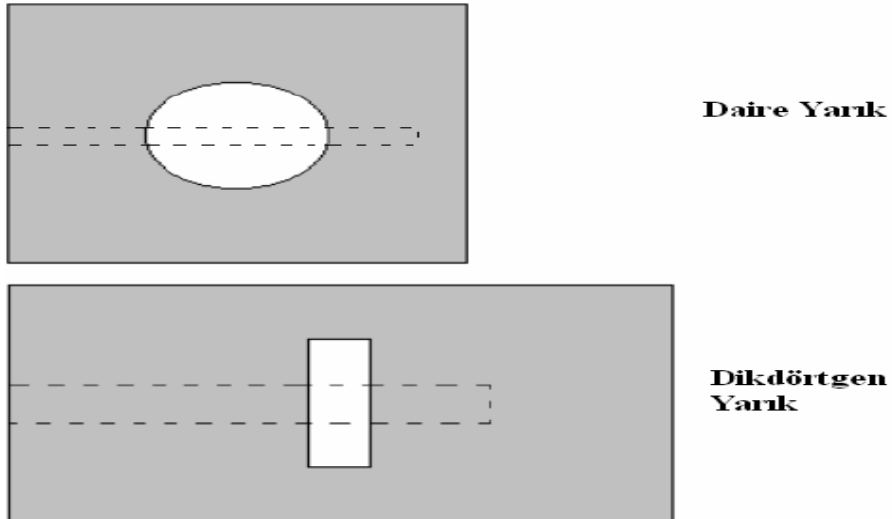
Bu tip mikroşerit antenlerde ışıma elemanı, zincir biçiminde tekrarlanan iletkenlerden ve ya hattın açık uç uyumlu bir direnç ile sonlandırılmasından meydana gelir. Anten yapısındaki değişikliklerle ana hüzme yatay ve ya düşey konum arasında herhangi bir açıya yönlendirilebilir. Aşağıda bu tipteki antenlere örnek şekiller gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Mikroşerit yürüyen dalga anten şekilleri

3.3.3 Mikroşerit Yarık Antenler

Mikroşerit yarık antenler, toprak düzlemi ile beraber herhangi bir şekilde anten üzerinde oluşturulan bir yarık ve bu yarığı besleyen bir mikroşerit hat ile oluşturulur. Aşağıda bu tip antenlere örnek olarak verilen anten şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Mikroşerit yarık anten örnekleri

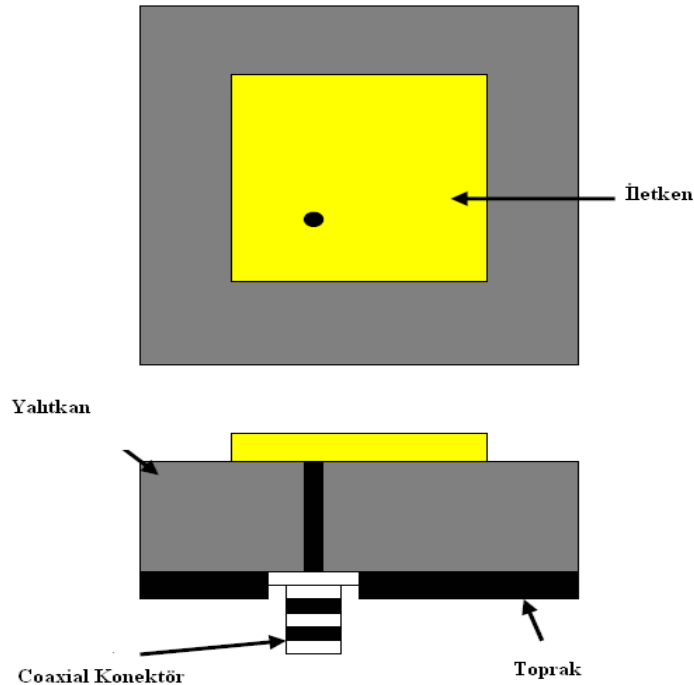
3.4 Mikroşerit Antenlerin Besleme Teknikleri

Mikroşerit antenlerin dört tip besleme tekniği bulunmaktadır. Açıklıklı bağlanmış ve yakınlıklı bağlanmış beslemeler ile en popüler kullanıma sahip mikroşerit hatlarla ve ya eş eksenli hatlarla beslemeler olarak sınıflandırılır. Her dört tipteki beslemede dikkat edilmesi gereken en önemli nokta empedans uyumunun sağlanmasıdır. Empedans uyumunun sağlanamadığı yerlerde uyumlandırıcı devrelerle bu uyum sağlanmaya çalışılır. (James ve Hall, 1989)

3.4.1 Eş Eksenli Hat ile Besleme

Eş eksenli hat ile beslemede , Şekil 3.9’da görüleceği gibi besleme hattı iletken tabakaya temas ederken hat toprak düzlemin altında bulunur. Bu tür besleme de kendi içerisinde üç gruba ayrılır.

- Merkezi Besleme: Besleme noktası iletken tabakanın üzerinde ve simetriyi bozmayacak bir konumdadır.
- Merkez Dışı Besleme: Besleme noktası iletken tabakanın üzerinde ve simetriyi bozacak bir konumdadır.
- Değişik Besleme: Besleme noktası iletken tabakanın hemen altında konumlandırılır.

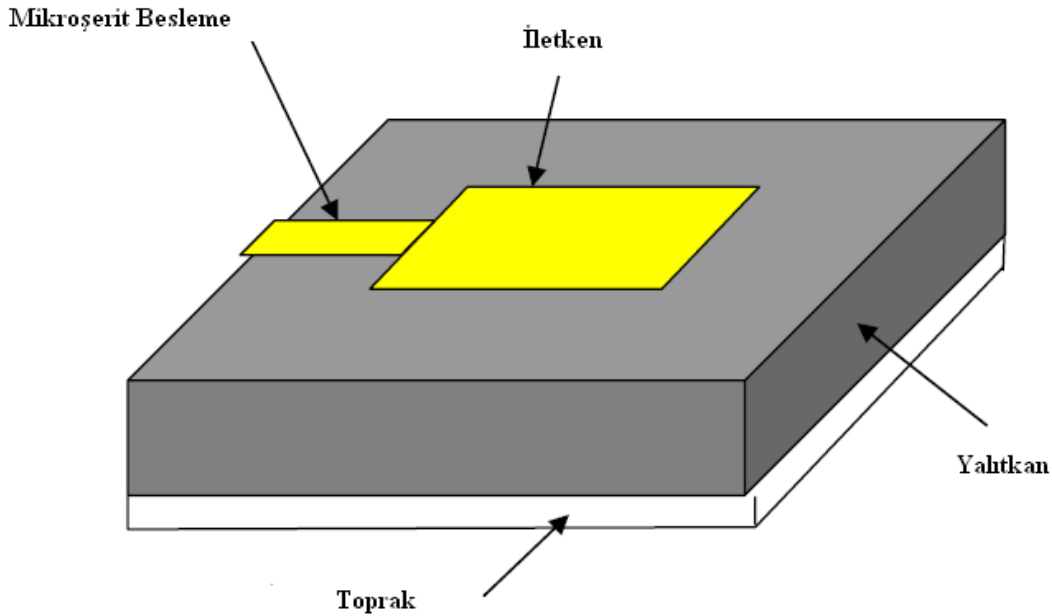


Şekil 3.9 Eş eksenli hat ile besleme

3.4.2 Mikroşerit Hat ile Besleme

Bu besleme tipinde ise besleme hattı anten gibi aynı baskı devre üzerinde oluşturulur. Empedans uyumunun sağlanmadığı noktalarda besleme girişine uydurma devresi konulur. Bu besleme şekli iki gruba ayrılır.

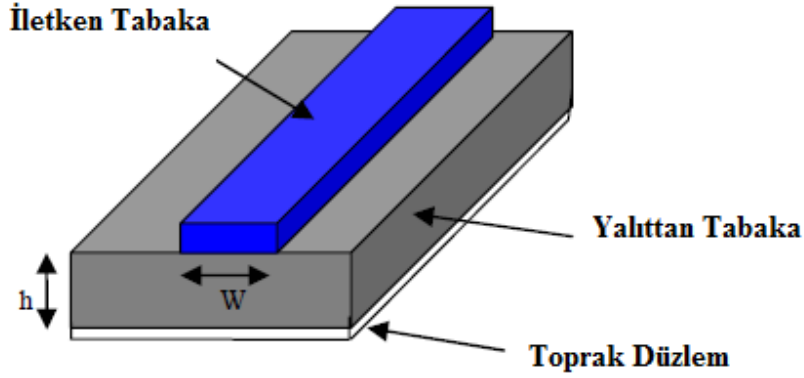
- a) Merkezi Besleme: Mikroşerit hat antene simetrik olarak konumlandırılır.
- b) Merkez Dışı Besleme: Mikroşerit hat antene simetrik değildir.



Şekil 3.10 Mikroşerit hat beslemeli anten

3.5 Mikroşerit Yama Anten Tasarımı

Mikroşerit antenler mikroşerit iletim hattının bir uzantısıdır. Mikroşerit, mikrodalga elemanları için baskılı devre ortamı üzerine yapılan şerit hatlar olarak ortaya çıkmıştır. Şerit hatlar TEM dalgalarının yayılmalarına izin verirler ayrıca elemanların tasarımını kolaylaştırırlar. Mikroşerit, mikrodalga transistörlerin bulunması ve diğer aktif elemanların keşfi ile popülerlik kazanmıştır. Mikroşeritler sayesinde yükselticiler, faz kaydırıcılar ve mikserler gibi karmaşık devreler hibrit bir formda üretilebilmiştir. Temel mikroşerit yapısı Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.11 Mikroşerit hat yapısı

Mikroşerit anten tasarımında ilk olarak belirlenmesi gereken, kullanılacak yalıtıcı (dielektrik) taban maddesinin seçilmesidir. Genelde iletken tabaka bakır, altın gibi çok ince metal yüzeyden oluşur ve kaba hesaplamalarda hesaba katılmazlar. Yalıtıcı tabaka dielektrik malzemenin kendisine ait dielektrik sabiti ϵ_r , ve kayıp tanjantı $\tan \gamma$ ile karakterize edilir. Mikroşerit hat ve toprak yüzeyi mikrodalga enerjisini taşıyan bir transmisyon hattı gibi davranır. Taban malzemesinin kalınlığı dalga boyunun küçük bir parçasıdır.

3.5.1 Yama Uzunluğu

Genel olarak mikroşerit yama antenin uzunluğu L , antenin çalışma frekansındaki dalga boyunun yarısından saçak alan uzunluğunun Δl çıkarılması ile elde edilir. (Balanis, 2005)

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta l \quad (3.1)$$

Burada ϵ_e yalıtıcı tabakanın etkin dielektrik sabitidir. Ayrıca düşük frekanslarda etkin dielektrik sabiti aslında sabittir. Orta büyüklükteki frekanslarda etkin dielektrik sabitinin değeri düzenli bir şekilde artar ve sonunda dielektrik maddenin dielektrik sabitinin değerine yaklaşır.

$W/h > 1$ için;

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{12h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (3.2)$$

ile hesaplanır. Saçak alan uzunluğu Δl ise;

$$\Delta l = 0,412h \left(\frac{\epsilon_e + 0,3}{\epsilon_e - 0,258} \right) \left(\frac{\frac{W}{h} + 0,264}{\frac{W}{h} + 0,8} \right) \quad (3.3)$$

ile tanımlanır.

3.5.2 Yama Genişliği

Kalınlığı h olan bir yalıtkan taban için çalışma frekansı f_r olmak üzere anten genişliği W aşağıdaki formülle bulunabilir. (Balanis, 2005)

$$W = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{2}{\epsilon_r + 1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.4)$$

Burada c ışığın boşluktaki hızı, ϵ_r taban malzemenin dielektrik sabitidir.

3.5.3 Mikroşerit Anten Besleme Pozisyonu Hesabı

Mikroşerit hatlarda karakteristik empedans, hattın ve taban malzemesinin kalınlığına bağlıdır. Mikroşerit antenlerde besleme sadece dalganın anten yüzeyine ulaştırma amacını taşımaz ayrıca en etkin bir şekilde taşımayı hedef alır. Bu sebeple tasarımı aşamasında belirlenen antenin giriş empedansını R_{in} yakalamayı hedefler. Anten eşdeğer devresi için yapılan uydurma için besleme tekniği uygulanır. Besleme noktasının pozisyonu için;

$$y_0 = \frac{L}{\pi} \arccos \left(\frac{R_{in}}{R_{in0}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.5)$$

formülasyonu kullanılır. Formülde R_{in0} besleme eklenmeden önce var olan anten giriş empedansını, R_{in} ise hedef giriş empedansını belirtir. Genel uygulamalarda anten giriş empedansını 50Ω olarak seçmek faydalıdır.

İşıma yapan her parça bir paralel eşdeğer admitans Y ile gösterilebilir.

$$Y = G + jB \quad (3.6)$$

Burda G iletkenlik ve B süseptanstır.

Daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibi mikroşerit yama anten üzerinde ışıma yapan iki yarık olarak ifade edilebilir. Bu sebeple Şekil 3.12’de gösterildiği gibi antenin eşdeğer devresi iki adet paralel admitans ile ifade edilebilir. (Balanis, 2005)

$\frac{h}{\lambda_0} < \frac{1}{10}$ olan ve W genişliğindeki bir anten için, birinci slotun eşdeğer admitansı;

$Y_1 = G_1 + jB_1$ olarak;

$$G_1 = \frac{W}{120\lambda_0} \left[1 - \frac{1}{24} (k_0 h)^2 \right] \quad (3.7)$$

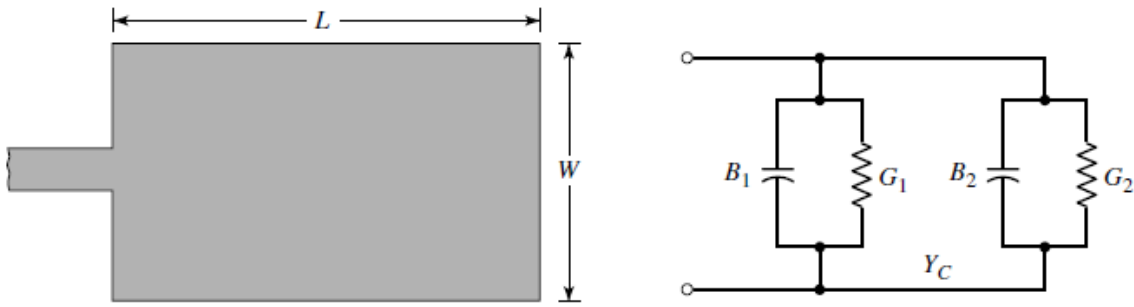
$$B_1 = \frac{W}{120\lambda_0} [1 - 0.636 \ln(k_0 h)] \quad (3.8)$$

olarak ifade edilir. Burada k_0 serbest uzay için faz sabitidir ve $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$ olarak ifade

edilir. (Balanis, 2005)

Slot 2, slot 1 ile özdeştir. (Balanis, 2005) Bu sebeple slot 2'nin eşdeğer admitansı;

$Y_2 = Y_1, \quad G_2 = G_1, \quad B_2 = B_1$ olarak alınabilir.



Şekil 3.12 Mikroşerit antenin iletim hattı modeli için eşdeğer devresi (Balanis, 2005)

Şekil 3.12'de $Y_c = \frac{1}{Z_c}$ eşdeğer devrenin admitansını ifade eder.

En genel anlamda iletkenlik şu şekilde ifade edilebilir.

$$G_1 = \frac{2P_{rad}}{|V_0|^2} \quad (3.9)$$

Burada P_{rad} ışıma gücü olarak ifade edilmiştir. Işıma gücü;

$$P_{rad} = \frac{|V_0|^2}{2\pi\eta_0} \int_0^\pi \left[\frac{\sin\left(\frac{k_0 W}{2} \cos\theta\right)}{\cos\theta} \right]^2 \sin^3\theta d\theta \quad (3.10)$$

olarak ifade edilir. (Balanis, 2005)

Ayrıca denklem 3.9’da ifade edilen iletkenlik;

$$G = \frac{I}{120\pi^2} \quad (3.11)$$

olarak ta ifade edilebilir. Burada I ;

$$I = \int_0^\pi \left[\frac{\sin\left(\frac{k_0 W}{2} \cos \theta\right)}{\cos \theta} \right]^2 \sin^3 \theta d\theta \quad (3.12)$$

$$= -2 + \cos(X) + XS_i(X) + \frac{\sin X}{X}$$

ve

$$X = k_0 W \quad (3.13)$$

olarak belirtilebilir.

Denklem 3.12 ve 3.13’ün asimptotik değerleri bize;

$$G_1 = \begin{cases} \frac{1}{90} \left(\frac{W}{\lambda_0} \right)^2 \rightarrow W \ll \lambda_0 \\ \frac{1}{120} \left(\frac{W}{\lambda_0} \right) \rightarrow W \gg \lambda_0 \end{cases} \quad (3.14)$$

iletkenliğin değerlerini verir.

İletim Hattı Modeli’nin admitans dönüşüm eşitlikleri kullanılarak, antenin besleme olmadan önceki giriş empedansı;

$$R_{in0} = \frac{1}{2G} \quad (3.15)$$

olarak bulunur. (Balanis, 2005)

Slot 1’deki toplam admitans (giriş admitansı) slot 2’deki admitansın dönüşümü ile, transmisyon hatlarında admitans dönüşümü eşitlikleri kullanılarak bulunur.(Balanis, 1989)

İdeal olarak iki slot birbirinden $\lambda/2$ uzunluğu kadar ayrıdır. Ancak saçak alan uzunluğundan dolayı yamanın uzunluğu elektriksel olarak daha uzundur. Bu sebeple slotlar arasındaki mesafe $\lambda/2$ ’den çok az daha kısadır. Eğer uzunluktaki azalma (3.3)’te belirtilen değer olarak seçilirse (tipik olarak $0.48\lambda < L < 0.49\lambda$) slot 2’nin admitans dönüşümü;

$$\tilde{Y}_2 = \tilde{G}_2 + j \tilde{B}_2 = G_1 - jB_1 \quad (3.16)$$

ve ya;

$$\tilde{G}_2 = G_1, \quad \tilde{B}_2 = -B_1 \quad \text{olarak bulunur.} \quad (3.17)$$

Bu yüzden toplam rezonans giriş admitansı gerçeldir ve;

$$Y_{in} = Y_1 + \tilde{Y}_2 = 2G_1 \quad \text{olarak verilir.} \quad (3.18)$$

Toplam giriş admitansı gerçel olduğundan dolayı rezonans giriş empedansı da gerçeldir.

$$Z_{in} = \frac{1}{Y_{in}} = R_{in} = \frac{1}{2G_1} \quad (3.19)$$

Yukardaki denklemde verilen rezonans giriş direnci, slotlar arasındaki karşılıklı etkileşimi hesaba katmaz. Bunun için denklem şu şekilde değiştirilebilir.

$$R_{in} = \frac{1}{2(G_1 \pm G_{12})} \quad (3.20)$$

Burada artı(+) işareti, tek (asimetrik) rezonans gerilim dağılımlı modlar için; eksi(-) işareti, çift (simetrik) rezonans gerilim dağılımlı modlar için kullanılır. Uzak alanda, karşılıklı iletkenlik;

$$G_{12} = \frac{1}{|v_0|^2} \operatorname{Re} \iint_s E_1 \times H_2^* ds \quad (3.21)$$

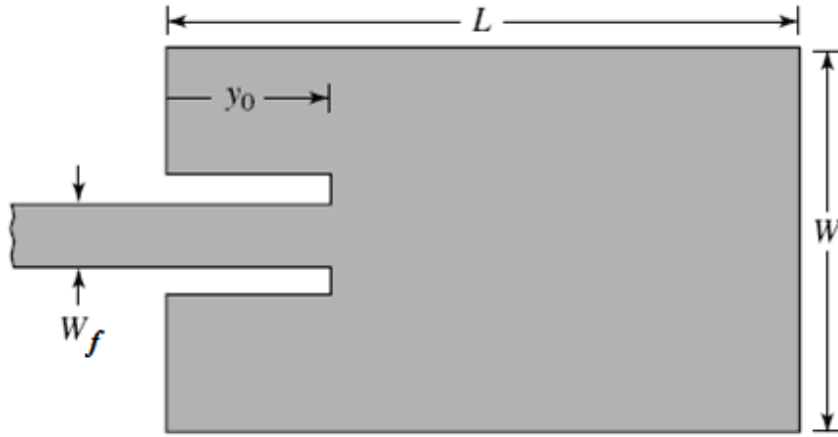
olarak verilir. Burada E_1 slot 1'den ışıyan elektrik alanı, H_2 slot 2'den ışıyan manyetik alanı belirtir. v_0 slotlar arası gerilimi ve integrasyon ise geniş yarıçaplı bir küre üzerinde uygulanır.

G_{12} şu şekilde de hesaplanır;

$$G_{12} = \frac{1}{120\pi^2} \int_0^\pi \left[\frac{\sin\left(\frac{k_0 W}{2} \cos \theta\right)}{\cos \theta} \right]^2 J_0(k_0 L \sin \theta) \sin^3 \theta d\theta \quad (3.22)$$

Burada J_0 sıfırıncı sıranın ilk Bessel fonksiyonudur. G_{12} denkleminde görüleceği üzere, giriş direnci yalıtkan tabanın kalınlığına (h) çok fazla bağlı değildir. Aslında h 'nin çok düşük değerleri için, $k_0 h \ll 1$ gibi, giriş empedansı h 'a bağlı değildir. Yine G_{12} 'den görüleceği üzere giriş direnci W 'nun artırılması ile düşürülebilir. Bu W/L oranının 2'nin üzerine çıkmaması şartı ile kabul edilebilir. Çünkü bu değer üzerinde anten açıklık (antenna aperture) değeri düşer.

Rezonans giriş direnci (3.20)'de hesaplanırken slot 1 referans alınmıştır. Bununla beraber giriş direnci mikroşerit hatlı besleme ile değiştirilebilmektedir. Şekil 3.13'te görüleceği üzere slot 1'den y_0 kadar içeri girilerek besleme hattı antene ulaşır. Bu teknik mikroşerit antene giriş direnci uydurma devresi olarak etkin bir şekilde kullanılabilir.



Şekil 3.13 Mikroşerit hat ile beslenen mikroşerit anten (Balanis, 2005)

Bu uydurma devresinin karakteristik empedansı şu şekilde bulunabilir.

$$Z_c = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left[\frac{8h}{W_f} + \frac{W_f}{4h} \right], & \frac{W_f}{h} \leq 1 \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}} \left[\frac{W_f}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{W_f}{h} + 1.444 \right) \right]}, & \frac{W_f}{h} > 1 \end{cases} \quad (3.23)$$

Burada W_f mikroşerit hattın genişliğidir.

Mikroşerit hat ile beslenmiş mikroşerit antenin yaklaşık olarak giriş direnci şu şekilde hesaplanabilir.

$$R_m(y = y_0) = \frac{1}{2(G_1 \mp G_{12})} \left[\cos^2\left(\frac{\pi}{L} y_0\right) + \frac{G_1^2 + B_1^2}{Y_c^2} \sin^2\left(\frac{\pi}{L} y_0\right) - \frac{B_1}{Y_c} \sin\left(\frac{\pi}{L} y_0\right) \right] \quad (3.24)$$

Burada $Y_c = \frac{1}{Z_c}$ 'dir. Birçok mikroşerit hatta $\frac{G_1}{Y_c} \ll 1$ ve $\frac{B_1}{Y_c} \ll 1$ olduğundan;

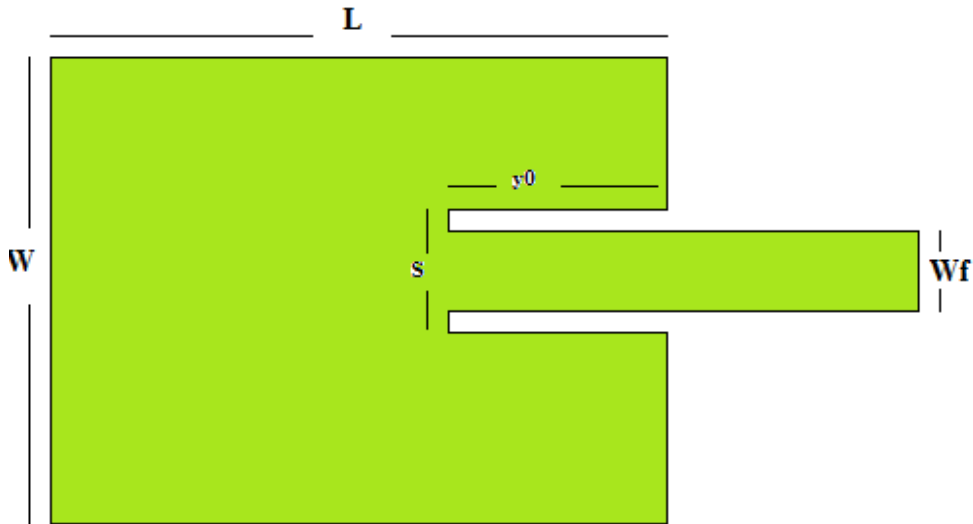
$$\begin{aligned} R_{in}(y = y_0) &= \frac{1}{2(G_1 \mp G_{12})} \cos^2\left(\frac{\pi}{L} y_0\right) \\ &= R_{in}(y = 0) \cos^2\left(\frac{\pi}{L} y_0\right) \end{aligned} \quad (3.25)$$

ve ya bölüm başında verilen (3.5) denklemi gibi sadeleştirilebilir. (Balanis, 2005)

Ekler kısmında Ek 1'de bu formülasyonları kullanmayı daha pratik hale getiren MATLAB kodu bulunmaktadır.

3.5.4 Besleme Hattı Geometrisi

Şekil 3.14'te şerit beslemeli mikroşerit antenin geometrisi gösterilmektedir. W_f besleme hattının kalınlığını ve S besleme hattı için açılan çentiğin genişliğini göstermektedir. Yapılan araştırmalar besleme hattı kalınlığının rezonans frekansını kayda geçecek bir oranda etkilemediğini fakat anten için besleme hattı ile uygulanabilecek uyurma devresinde kesin bir giriş direnci değerine ulaşmada geniş bir çentik kullanılacak ise derinliğin daha az olması tavsiye edilmektedir.



Şekil 3.14 Şerit beslemeli mikroşerit anten geometrisi

(Hu vd., 2006)'da yapılan bir araştırmanın sonucunda yukardaki yargı desteklenmiş ve yapılan deneyler ile doğrulanmıştır. Yapılan çalışmada $W_n = y_0 / (L/2)$, normalize edilmiş hat boyutu olarak ifade edilmiştir. Çıkarılan basit bir analitik formül ile (3.26) besleme hattının rezonans

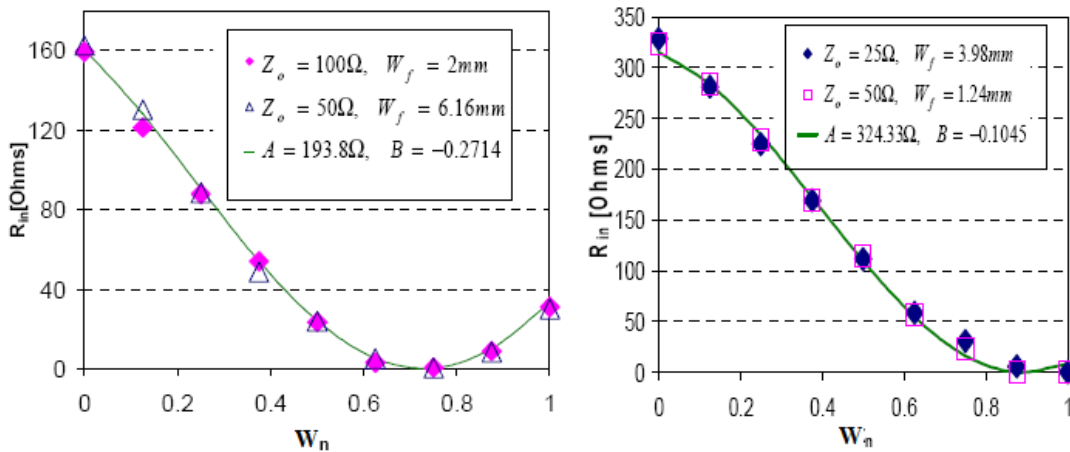
giriş direnci bulunmaya çalışılmış ve bu arada çıkan sonuçlarda başta belirtilen besleme hattı genişliği ve çentik genişliğinin rezonans giriş direncine olan etkisi gözlemlenmiştir.

$$R_{in} = A \cos^2 \left[\frac{\pi}{2} (W_n - B) \right] \quad (3.26)$$

Burada A ve B birer sabittir ve en küçük kareler yöntemi (least-square mothod) ile bulunurlar. Bu yöntem, birbirine bağlı olarak değişen iki fiziksel büyüklük arasındaki matematiksel bağlantıyı mümkün olduğunca gerçeğe uygun bir denklem olarak yazmak için kullanılan, standart bir regresyon yöntemidir.

Farklı besleme hatları öncelikle, W_f 'in rezonans giriş direncini etkileyip etkilemediğini saptamak üzere kullanılmıştır. Şekil 3-a, alttaşı hava olan yamada R_{in} 'e karşı W_n 'i göstermektedir. Çentik genişliği $S=1.854$ cm ($3 \times W_f$ 50Ω' luk hat için) ve yamayı beslemek için 50Ω' luk ve 100Ω' luk empedaslara sahip besleme hatları kullanılmıştır. Şekilden de görüleceği üzere, farklı hat genişlikleri, sonucu çok fazla etkilememiştir. Ayrıca sonuçlardan anlaşılabacağı üzere, formül hesabı da simülasyon sonuçları ile aynı çıkmıştır.

Daha sonra, $\epsilon_r = 10.2$ ve $S = 0.62$ cm ($5 \times W_f$ 50Ω' luk hat için) özelliklerine sahip yama araştırılmıştır. 50Ω' luk ve 25Ω' luk mikroşerit hatlar kullanılarak W_f 'in sonuçları çok fazla etkilemediği doğrulanmıştır.



Şekil 3.15 a) 50Ω' luk ve 100Ω' luk besleme hatlı hava alttaşı yamaların simülasyon sonuçları, $S=1.854$ cm (Hu vd., 2006)

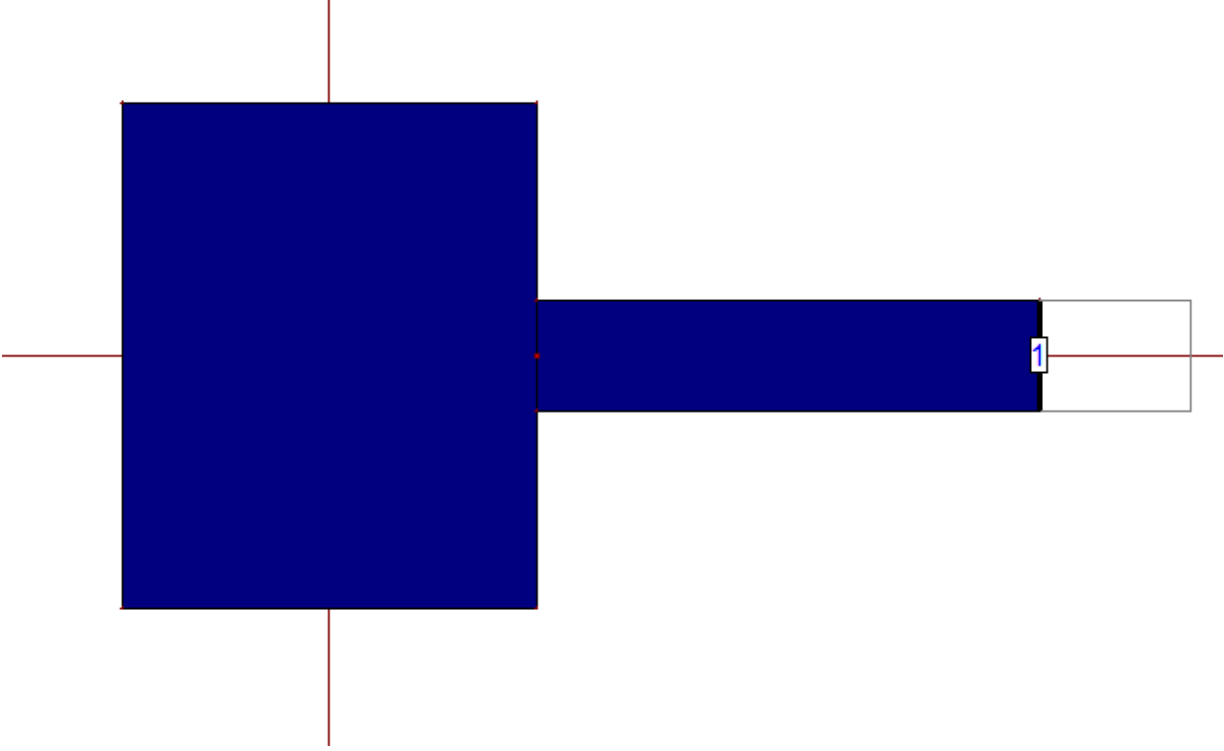
b) 50Ω' luk ve 25Ω' luk besleme hatlı yamaların simülasyon sonuçları, $S=0.62$ cm $\epsilon_r = 10.2$

3.5.4 Mikroşerit Antenlerde Besleme Hattının Etkisi

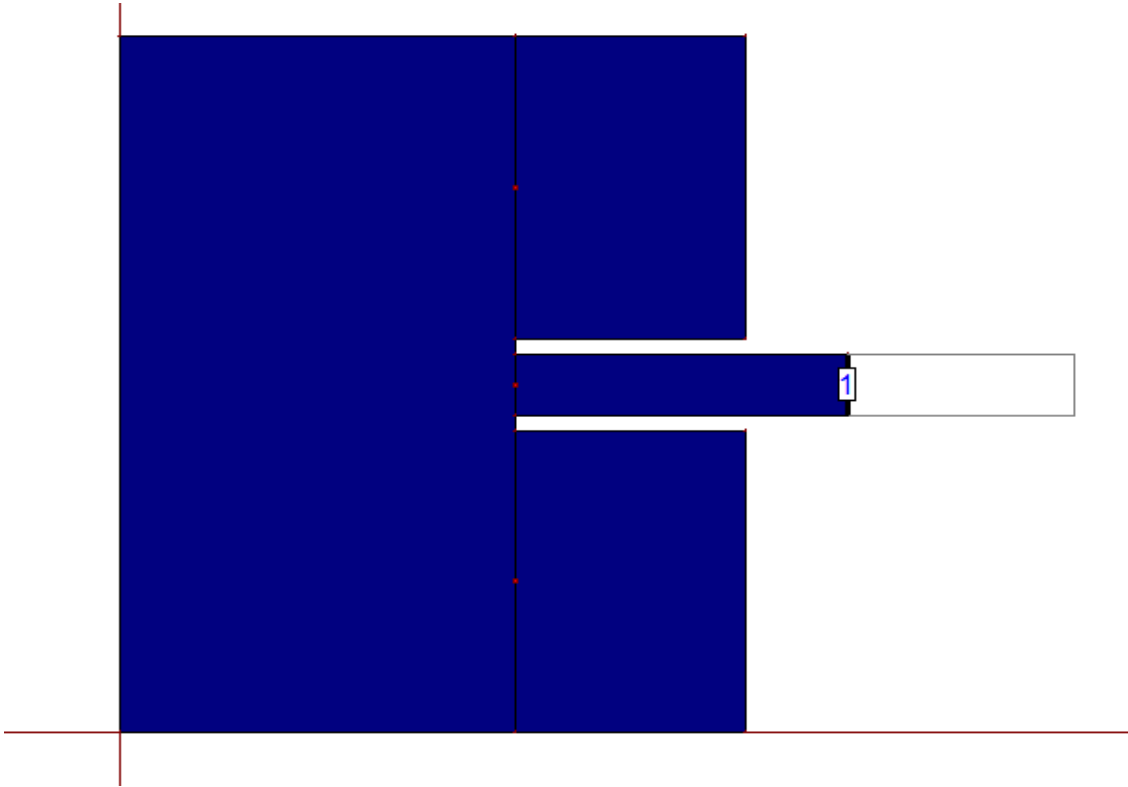
Bir mikroşerit anten daha önce bahsedildiği gibi şekline göre farklılıklar göstermesine rağmen temelde bir ışıma yüzeyinden ve bu ışıma yüzeyini besleyen bir hattın oluşur. Besleme hattı sinyalin ilerlemesine ve ışıma yüzeyine ulaşmasını sağlayan bir iletim hattı olduğu kadar anten için bir uydurma devresi olarak ta kullanılır. Bir önceki bölümde verilen besleme noktası hesabı ile konulan besleme hattının antenin ışıma paternine olan etkisi ve üzerindeki akım dağılımının değişimi aşağıda anlatılmaya çalışılmıştır. Bu deneyde tasarlanan antenin temel parametreleri; $W=45.6832mm$, $L=37.6907mm$, $\epsilon_r = 2.45$ ve $h=1.5mm$ olarak alınmıştır. Yapılan hesaplamalarla besleme noktasının yeri $y_0 = 11.6053mm$ olarak bulunmuş ve hat genişliği $W_f = 4mm$, çentik genişliği $S=6mm$ olarak seçilmiştir.

IE3D ile tasarlanan antenlerin simülasyonu ile antenlerin ışıma paterni ve akım dağılımları da çıkarılabilmektedir. Şekil 3.16'da dikdörtgen mikroşerit yama anten tasarlanmış fakat hesaplanan bir besleme hattı uydurulmadan sinyal besleme hattı girişine verilmiştir. Bu şekilde antenin çalışma frekansı değişmemiş, 2.5 Ghz, fakat ışıma paterninin ve anten üzerine aktarılan akım değerinin çok kötü bir düzeyde olduğu görülmüştür. Anten üzerinde akım Şekil 3.17'de görüldüğü gibi maksimum 6.1974 A/m seviyesinde ölçülmüştür.

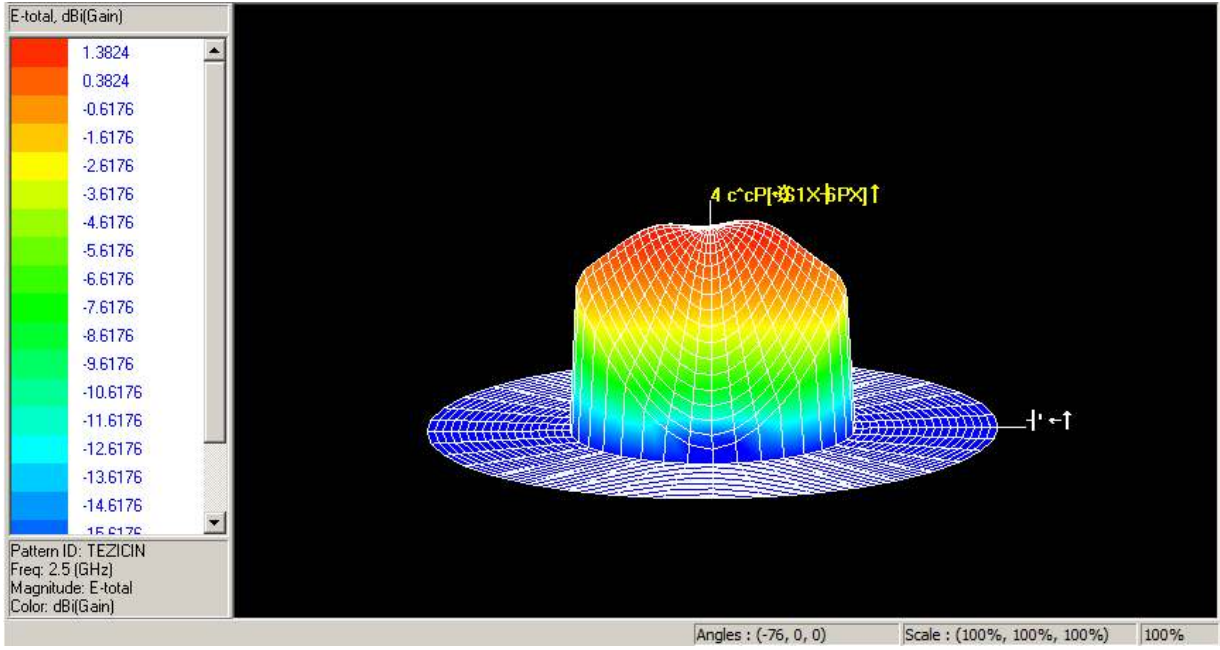
Bununla beraber ışıma paterni Şekil 3.18'de görüldüğü gibi oluşan antenin oluşturduğu elektrik alan maximum 1.3824 dBi olarak görülmüştür. Daha sonra tasarlanan antene Bölüm 3.5.3'te anlatılan analitik fonksiyonlar kullanılarak bir besleme hattı eklenmiş ve Şekil 3.17'deki gibi bir anten tasarlanmıştır. Tasarlanan bu antenin simülasyonu sonucu Şekil 3.20'deki gibi bir ışıma paterni ve Şekil 3.21'deki gibi bir akım dağılımı görülmüştür. Işıma paterninde bir önceki antene göre çok daha yüksek bir maximum elektrik alan bulunmuştur. Besleme hattı olmadan 1.3824 dBi'lık bir maximum elde edilmişken kullanılan uydurma devresi ile bu değer 6.4464 dBi olarak ölçülmüştür. Aynı şekilde anten üzerine aktarılan akım daha yüksek bir seviyede elde edilerek (9.4355 A/m) antenin daha verimli çalıştığı sonucuna ulaşılmıştır.



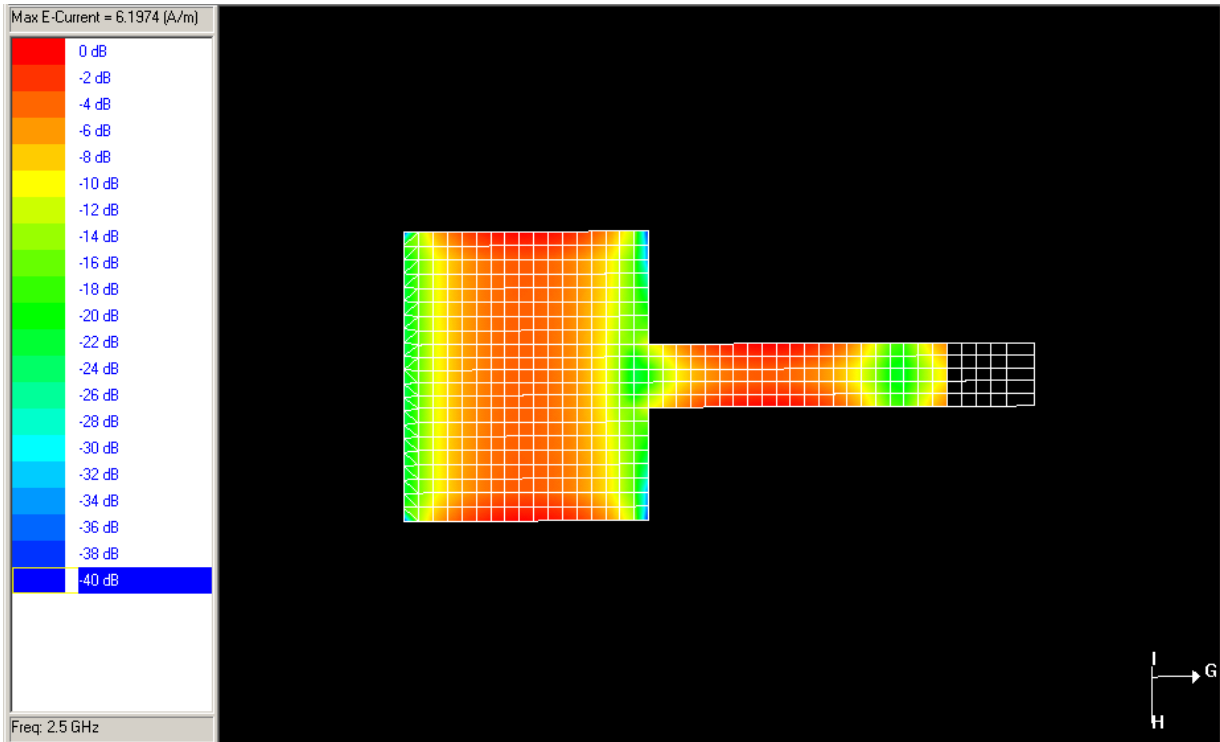
Şekil 3.16 Besleme noktası hesabı yapılmadan tasarlanan mikroşerit hat beslemeli anten



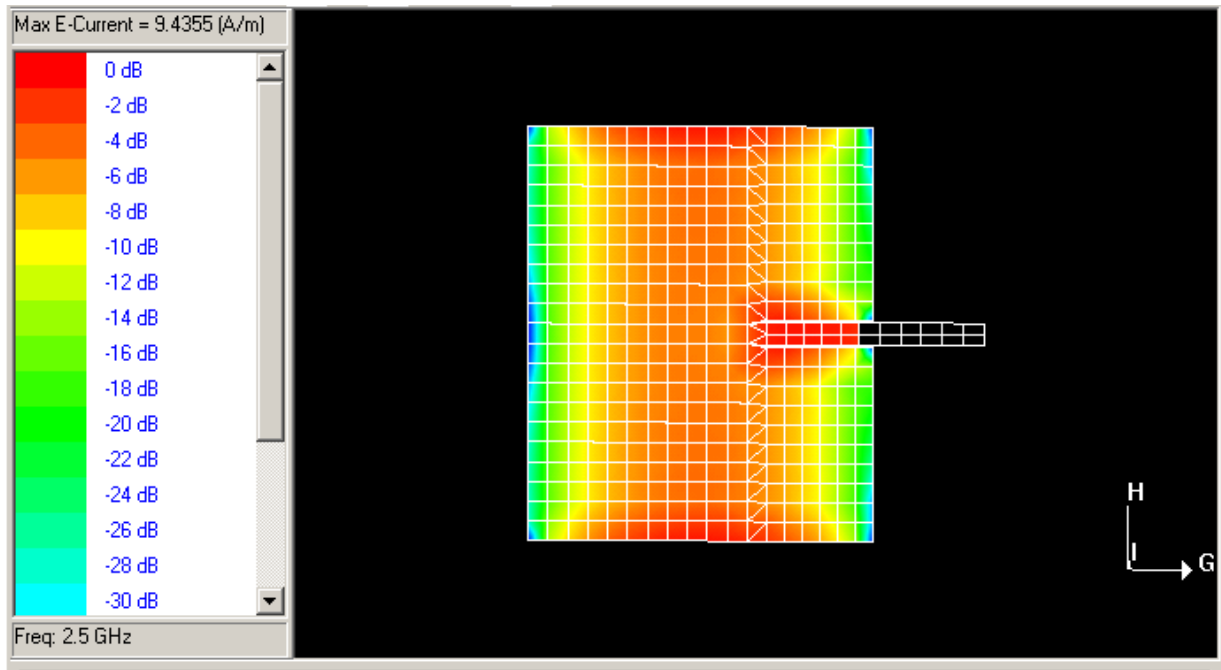
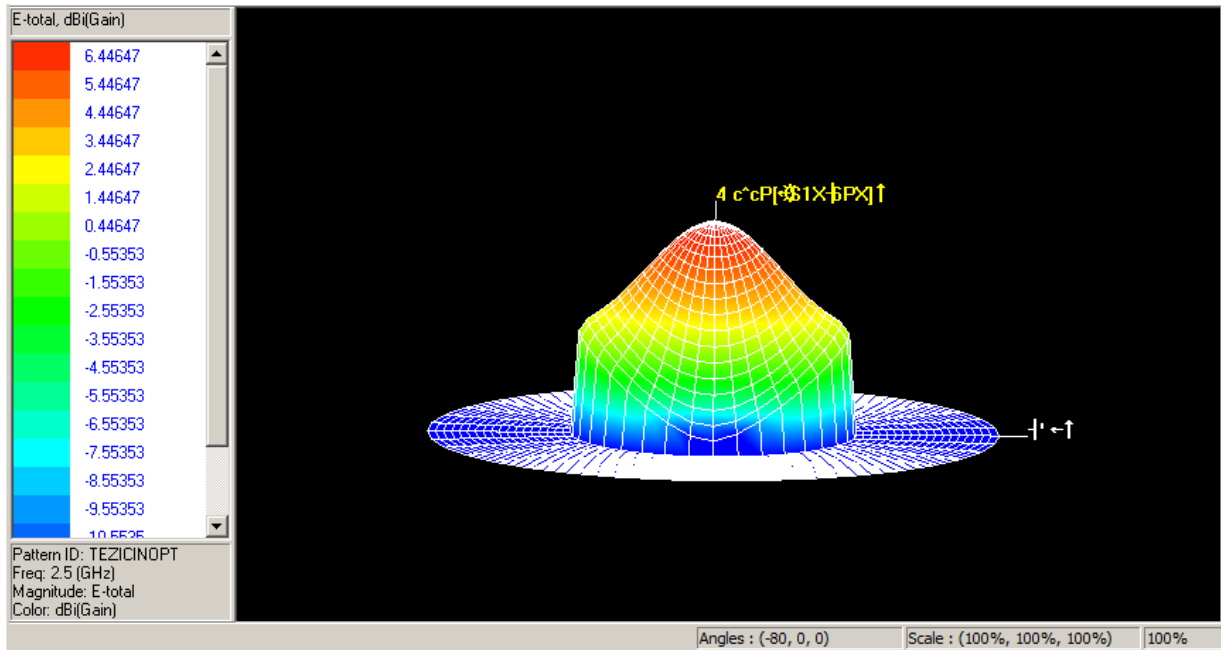
Şekil 3.17 Besleme hattının bir uydurma devresi olarak hesaplanarak tasarlanan anten



Şekil 3.18 Besleme noktası hesaplanmayan antenin 2.5 GHz’de ışıma paterni



Şekil 3.19 Besleme noktası hesaplanmayan antenin 2.5 GHz’de akım dağılımı



4. MİKROŞERİT ANTENLERİN IE3D ile TASARIMI ve ANALİZİ

4.1 IE3D

Mikroşerit yama antenin simülasyonunu gerçeklemek için Zeland firmasının IE3D yazılımı kullanılmıştır. IE3D moment metodunu kullanan tam dalga elektromanyetik simülasyon programıdır. Genel şekillerde tasarlanan çok katmanlı ve üç boyutlu antenleri analiz eder. MIC'ler, RFIC'ler, yama antenler ve birçok RF antenin dizaynı için geniş bir yelpazede kullanılır. Antenin S_{11} parametresi, VSWR, akım dağılımı ve ışıma örüntüsü gibi özelliklerini hesaplamada kullanılır.

IE3D'de üçgensel ve dikdörtgensel karışmış örgü şekli benimsenmiştir ve üzerine düzensiz ızgara temel fonksiyonu uygulanmıştır. Düzensiz bir ızgara tabanlı simülatör bir probleme daha iyi bir şekilde yaklaşır. Kullanıcı ilk olarak yerleşim editörü üzerine bir devre çizer. Daha sonra simülatör devreye düzensiz bir üçgensel ya da dikdörtgensel bir örgü uydurmayı dener. Devreyi daha önce tanımlı olan düzenli bir örgüye uydurmayı denemek yerine simülatör devreyi uydurmak için düzensiz bir örgü oluşturmayı dener, prosedür budur.

4.1.1 IE3D ile Simülasyon Adımları

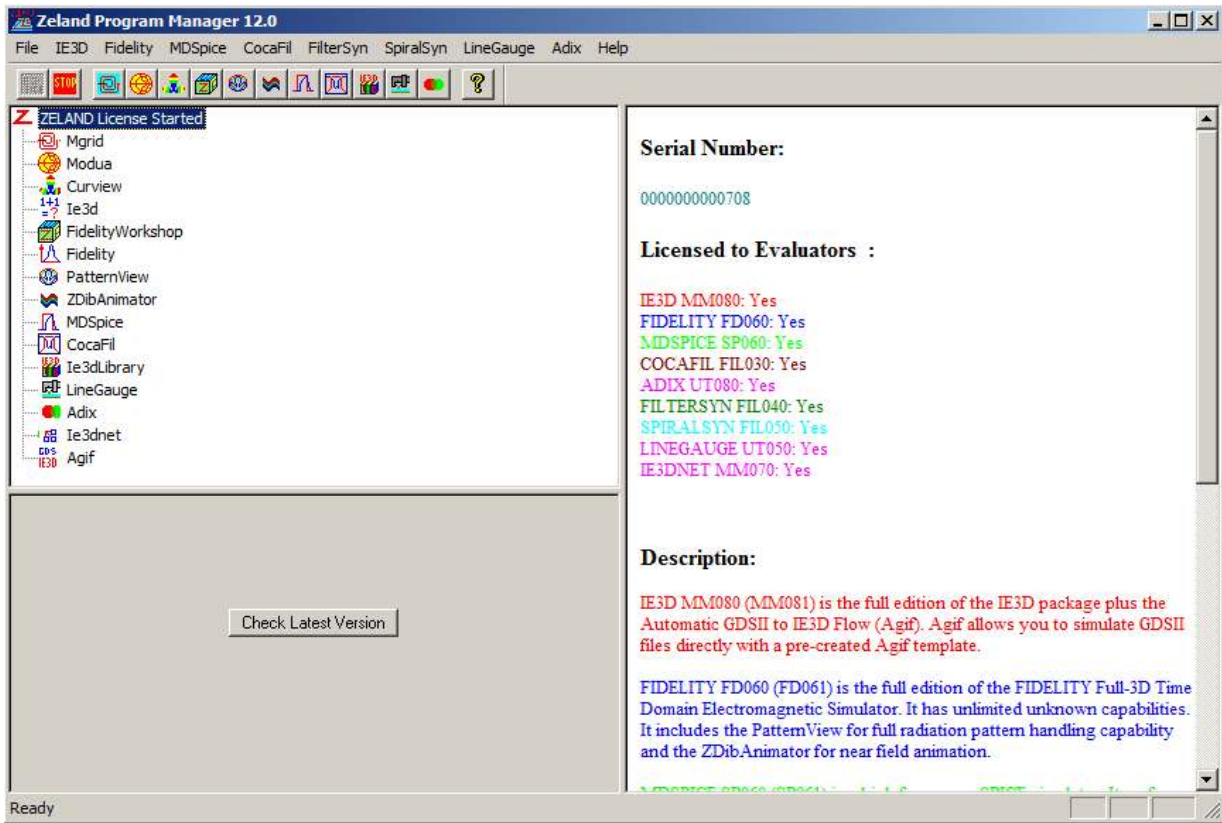
IE3D ile bir anten simülasyonu oluşturmak için öncelikle programın yerleşim düzenleyicisi olarak bilinen MGRID çağırılır. MGRID üzerinde tasarlanacak antenin boyutları, şekli ve portları belirtildikten sonra tasarlanan anten kaydedilir. Kaydedilen antenin simülasyonu için simülasyon motoru çağırılır. Simülasyon sonucu her bir tasarım için ayrı bir dosyada saklanır. Simülasyon sonucu IE3D paketinin şematik düzenleyicisi olan MODUA tarafından görüntülenebilir ya da işlenebilir. MODUA her simülasyon sonucu dosyasını ve simülasyon öncesi geometri dosyasını modüller olarak kullanır. Kullanıcı ayrıca rezistör, kapasitör, indüktör, karşılıklı indüktör, açık devre, kısa devre, ideal bağlantı gibi gruplanmış elemanları da tanımlayabilir.

IE3D ile tasarlanan yapının akım ve alan dağılımları da incelenebilir. IE3D'de kullanıcı opsiyonel olarak akım dağılımı için veri dosyası yaratabilir. MGRID/CURVIEW programı bu veri dosyasını alarak yayılım paterni, akım dağılımı ve yakın alanı görüntülemek için çalıştırır. PATTERNVIEW aynı ya da farklı yapıların farklı frekanslarda yayılım paternlerini karşılaştırmaya yardımcı olur.

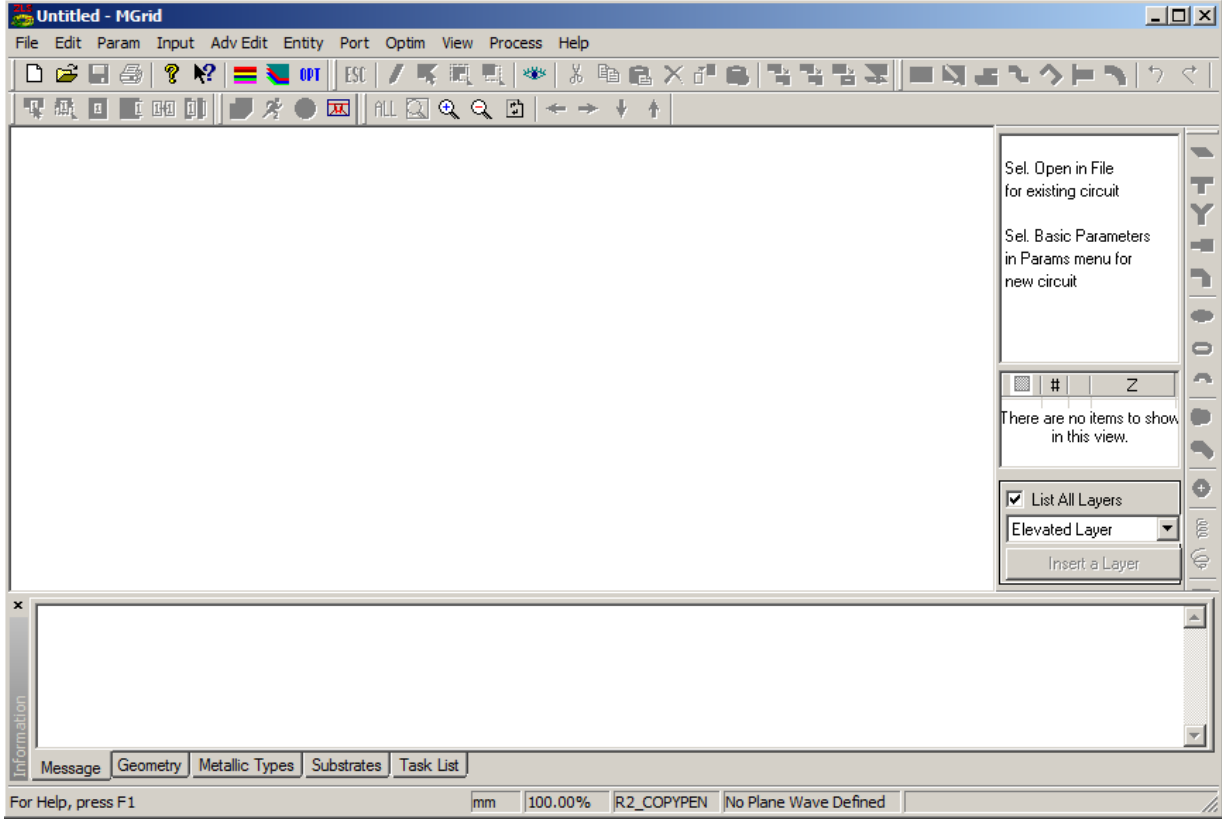
4.2 IE3D ile Tasarım

4.2.1 Temel Değişkenler (Basic Parameters)

IE3D ile bir mikroşerit anten tasarlamak için öncelikle Zeland programını çalıştırmak gereklidir. Zeland programının çalıştırılması ile açılan Zeland Program Manager penceresi içerisinde alt programlardan biri olan Mgrid programı çalıştırılır.

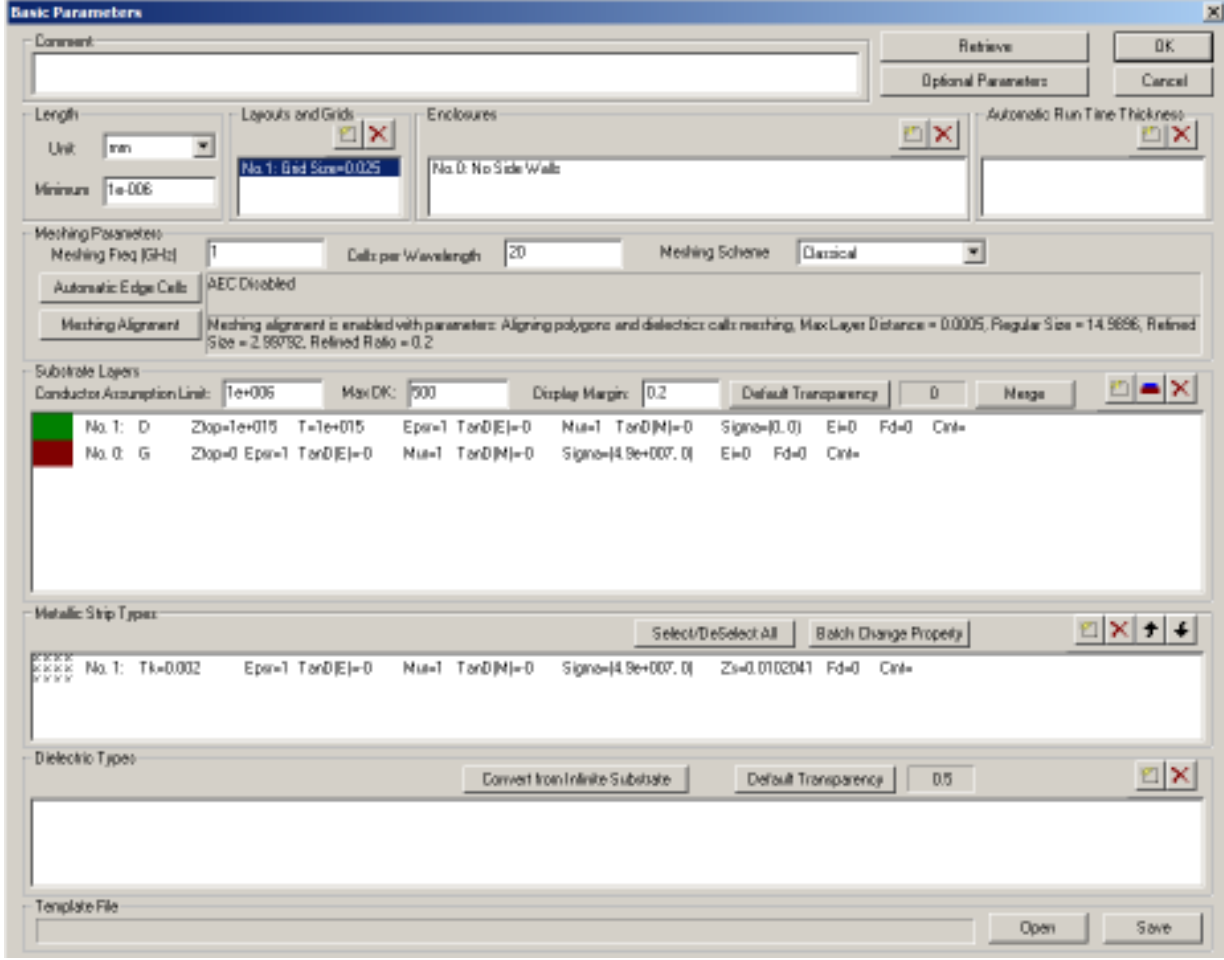


Şekil 4.1 Zeland program manager



Şekil 4.2 Mgrid program görüntüsü

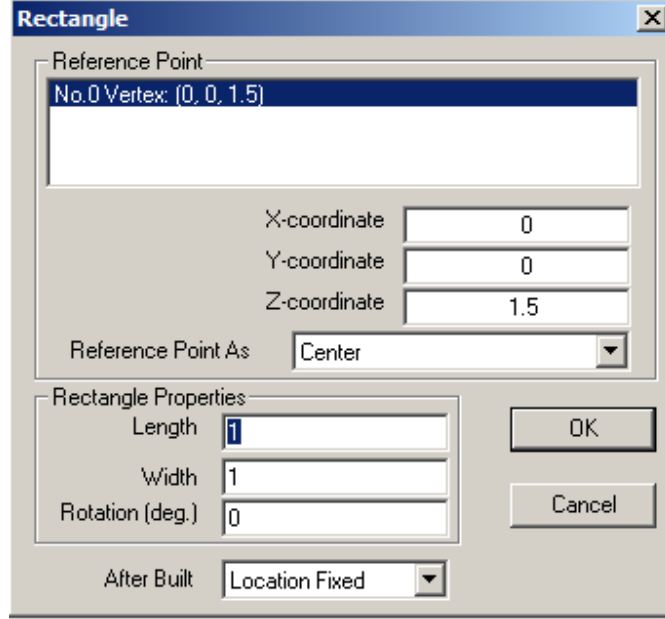
Mgrid programı çalıştırıldıktan sonra öncelikle temel parametrelerin girilmesi gerekmektedir. Bunun için **Param** tabından **Basic Parameters** seçilir. Basic Parameters'ta kullanılacak olan yalıtkan tabakanın dielektrik sabiti, kayıp tanjantı gibi karakteristik değerleri girilir. Ayrıca hangi tip iletken malzeme kullanılacaksa bu maddenin karakteristik özellikleri de bu bölümde belirtilir. Ayrıca mikroşerit antenin tabakalarının kalınlıkları da bu bölümde belirtilir.



Şekil 4.3 Temel parametreler (Basic Parameters)

4.2.2 Dikdörtgen Yama Anten Boyutları Belirleme

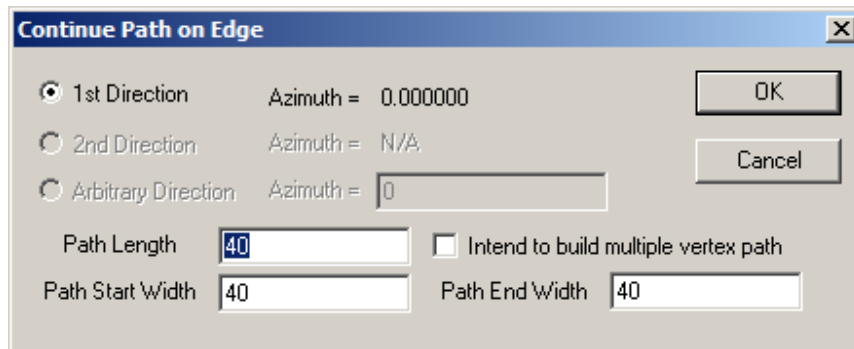
Bir dikdörtgen yama anten tasarlamak için Mgrid'e dikdörtgen bir yama anten tasarlanacağı belirtilir. Bunun için **Entity** tabının altında **Rectangle** sekmesi seçilir. Bu sekmenin seçilmesiyle Mgrid, antenin boyutlarının girilmesini belirten bir pencere açar. Girilecek değerler önceki bölümde bahsedilen formüller ile ve ya başka bir programla hesaplanmış değerler olabilir. Değilsede bunlara yakın değerler verilip daha sonra anten optimize edilerek istenilen değerlere ulaşılabilir.



Şekil 4.4 Dikdörtgen yama anten için boyutların girilmesi

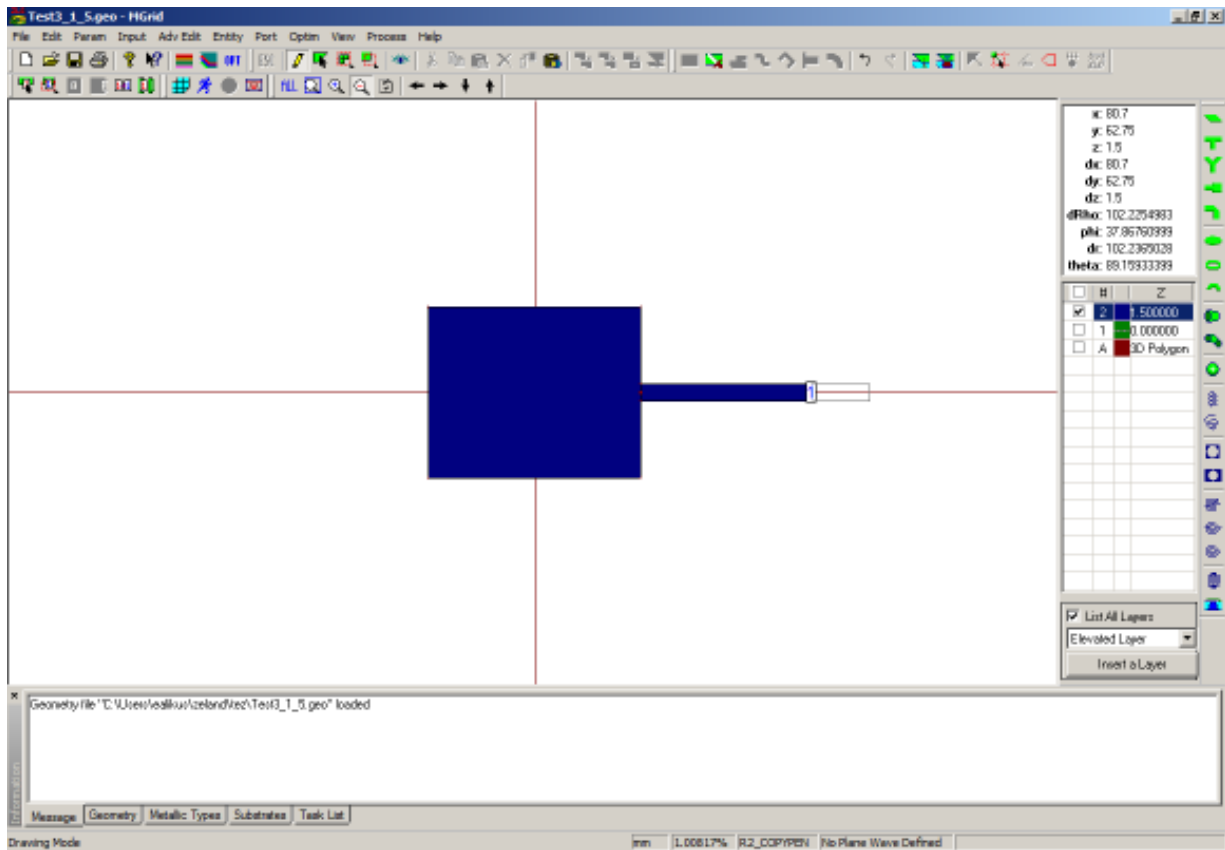
4.2.3 Besleme Hattı Oluşturma

Daha önceki bölümlerde bahsedilen iki tip besleme hattından hangisiyle çalışılacağı öncelikle belirlenmelidir. Baskı devre üzerine kolaylıkla yapılabilen anten ile beraber baskı devreye çizilebilen mikroşerit besleme hattı kullanmak daha pratik olacaktır. Kullanılan malzemenin değerleri Basic Parameters bölümünde belirtildiği için ayrıca belirtmeye gerek yoktur. Mikroşerit besleme hattının sadece boyutları belirtilir. Bunun için öncelikle **Adv Edit** tabının altından **Continue Straight Path** sekmesi seçilir. Bu sekmenin seçilmesiyle Mgrid “Continue Path on Edge” iletisini getirir. Buraya besleme hattının uzunluğu ve kalınlığı girilir. Hattın uzunluğu giriş empedansını değiştirdiğinden dikkatli seçilmelidir. Ayrıca besleme hattının kalınlığı ile Antenin çalışma band genişliği doğru orantılıdır. Hat geniş seçildikçe band genişliği de artar.



Şekil 4.5 Besleme Hattı Boyutlarının Girilmesi

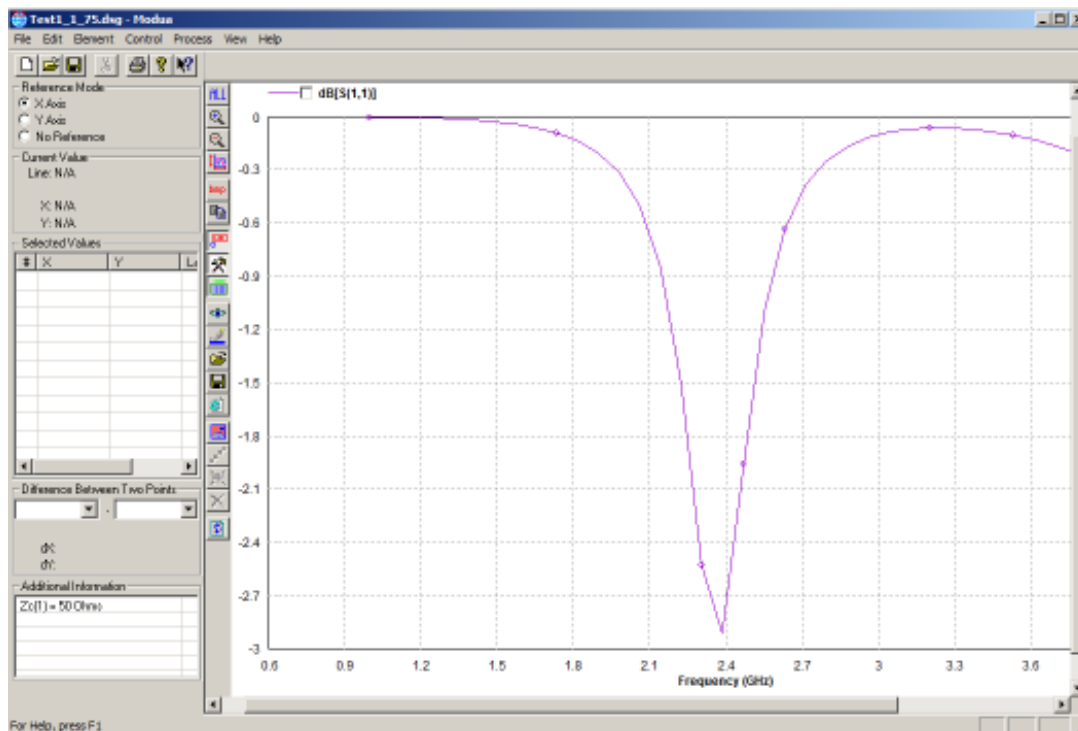
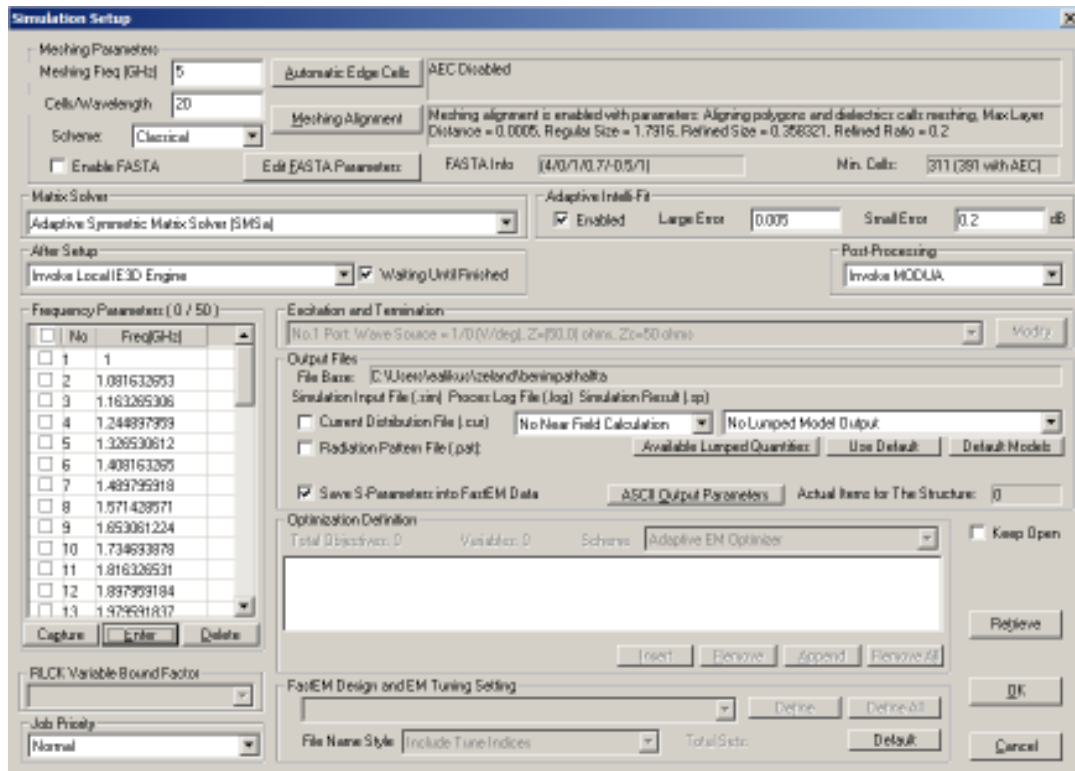
Besleme hattı belirtildikten sonra sıra anteni çalıştıracağımız portun Mgrid programına belirtilmesine gelir. Bunun için **Port** tabının altından **Define Port** sekmesi seçilir. Ardından besleme hattının başlandığı işaretlenerek çalışılacak port belirtilmiş olur. Burada şöyle bir önemli nokta vardır; Mgrid başka portlarda tanıtilabileceğini düşünerek port tanıtilmasını bekler. Bunun için port tanıtıldıktan sonra **Port** tabından **Exit Port** sekmesi işaretlenir. Yapılan tüm işlemler kaydedildikten sonra anten hazır hale gelir.



Şekil 4.6 Antenin son hali

4.2.4 Antenin Simülasyonu

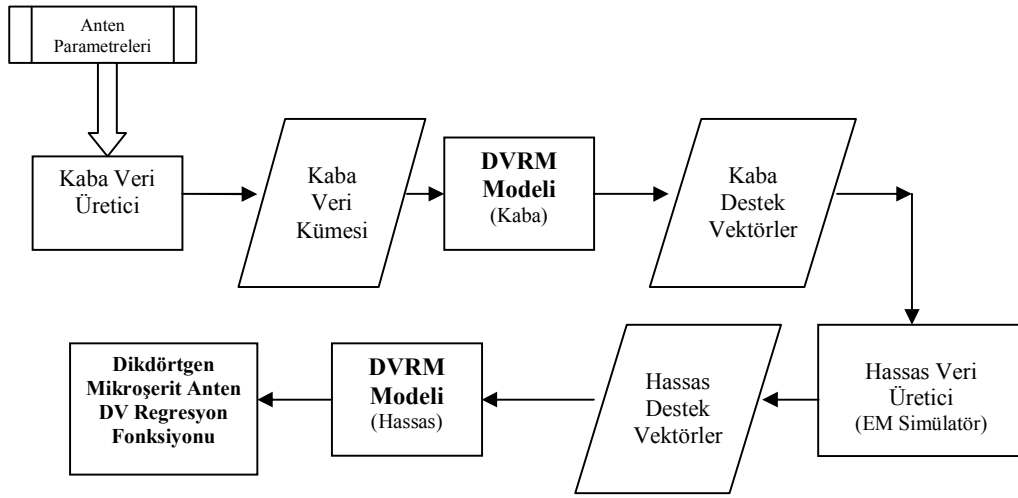
Anteni kaydettikten sonra **Process** tabının altından **Simulate** sekmesinin seçilmesi ile Şekil 4.7'deki tablo karşımıza çıkar. Burada simülasyonun hangi frekans aralıklarında, ne kadarlık adımlarla yapılmak istendiği belirtilir. Mgrid otomatik olarak antenin frekans- S_{11} grafiğini verecektir fakat bunun dışında akım dağılımını ışıma örüntüsünü görmek için simülasyon tablosunda **Current Distribution File** ve **Radiation Pattern File** işaretlenmelidir.



5. MİKROŞERİT ANTENLERİN BİLGİ-TABANLI DESTEK VEKTÖR ANALİZİ

5.1 Mikroşerit Antenlerin DVM ile Analizi için Yaklaşım

Mikroşerit antenlerin kaba ve hassas modellere dayandırılmış bilgi-tabanlı DVRM modeli blok şeması Şekil 5.1’ de verilmiştir. Mikroşerit antenlerin analiz tanımını 2. bölümde verildiği gibi $f_r(W, L, h, \epsilon_r)$ fonksiyonunun bulunmasıdır.



Şekil 5.1 Kaba ve hassas veri üretici kullanan bilgi-tabanlı DVRM yaklaşımı

Bu prosedür şu şekilde düzenlenebilir:

- Kaba veri kümesi, kaba veri üretici(MATLAB) kullanılarak elde edilir.
- Kaba veri kümesi DVRM modeli ile eğitilerek kaba DV’leri elde edilir.
- Kaba DV’leri hassas veri üretici(IE3D) ile hassas sentez verisi haline getirilir.
- Hassas DV’ler ile eğitilen DVRM modeli kaba modeller kadar hızlı, hassas modeller kadar yüksek doğruluğa sahiptir.

Bu şekilde DVRM’nin EM simulator olarak kullanılması sağlanmıştır.

5.2 Kaba Veri Üretimi

Şekil 5.1’den de görüleceği üzere kaba veri üretimi için öncelikle tasarlanacak sonsuz sayıda anten çeşidi yerine çalışılacak aralık seçilerek, bu aralık için kullanılacak anten parametreleri belirlenmelidir. Bu çalışmada kaba veriler için kullanılacak dikdörtgen mikroşerit yama anten parametreleri Çizelge 5.1’de verilen aralıklarda seçilmiştir.

Çizelge 5.1 Tasarlanacak antenlerin boyut aralıkları

Genişlik:	$40\text{mm} < W < 50\text{mm}$
Uzunluk:	$30\text{mm} < L < 50\text{mm}$
Dielektrik kalınlığı:	$1\text{mm} < h < 4\text{mm}$

Anten için kullanılan dielektrik madde RT Duroid olarak seçilmiştir (RT Duroid'in dielektrik sabiti; ϵ_r : 2.45).

Bu aralıklarda seçilen anten parametreleri için 3. bölümde belirtilen kaba formüllere dayanarak ve MATLAB programı yardımıyla 441 adet veri üretilmiştir. Üretilen bu veriler Kaba DVRM modeli için Eğitim kümesini oluşturmuştur. Ekler kısmında Ek 2'de bu veri kümesini oluşturmak için yazılan MATLAB kodu gösterilmiştir.

Ek 2'deki koddan da anlaşılabileceği üzere anten genişliği W , 2mm 'lik adımlarda seçilmiş, anten uzunluğu L , 1mm 'lik adımlarda seçilmiş ve dielektrik kalınlığı h , 0.5mm 'lik adımlarda seçilmiştir.

Eğitim kümesi oluşturulduktan sonra DVRM modeli için Eğitim kümesi ile beraber kullanılacak Test kümeleri oluşturulmuştur. Test kümeleri de aynı yol izlenerek fakat farklı değer aralıkları için oluşturulmuştur.

Bu çalışmada 3 adet test kümesi ile çalışılmıştır. Test kümeleri aşağıda belirtilen aralıklar için teker teker MATLAB yardımı ile oluşturulmuştur.

İlk test kümesi aşağıdaki durumlar için oluşturulmuş ve tüm sonuçlar Test1.txt olarak kaydedilmiştir.

Çizelge 5.2 Test1 kümesi için seçilen anten parametreleri

1. Durum	2. Durum	3. Durum
$W = 45\text{ mm}$	$W = 45\text{ mm}$	$W = 45\text{ mm}$
$30\text{mm} < L < 50\text{mm}$	$30\text{mm} < L < 50\text{mm}$	$30\text{mm} < L < 50\text{mm}$
$h = 1\text{mm}$	$h = 1\text{mm}$	$h = 1\text{mm}$

İkinci test kümesi aşağıdaki durumlar için oluşturulmuş ve tüm sonuçlar Test2.txt olarak kaydedilmiştir.

Çizelge 5.3 Test2 kümesi için seçilen anten parametreleri

1. Durum	2. Durum	3. Durum	4. Durum
W = 40 mm	W = 40 mm	W = 40 mm	W = 40 mm
L = 35mm	L = 40mm	L = 45mm	L = 50mm
h = 1:0.25:4 mm	h = 1:0.25:4 mm	h = 1:0.25:4 mm	h = 1:0.25:4 mm

Üçüncü test kümesi aşağıdaki durumlar için oluşturulmuş ve tüm sonuçlar Test3.txt olarak kaydedilmiştir.

Çizelge 5.4 Test3 kümesi için seçilen anten parametreleri

1. Durum	2. Durum	3. Durum	4. Durum
W = 40:50 mm	W = 40:50 mm	W = 40:50 mm	W = 40:50 mm
L = 45 mm	L = 45 mm	L = 45 mm	L = 45 mm
h = 1.5 mm	h = 2 mm	h = 2.5 mm	h = 3 mm

5.3 Kaba DVRM Modeli

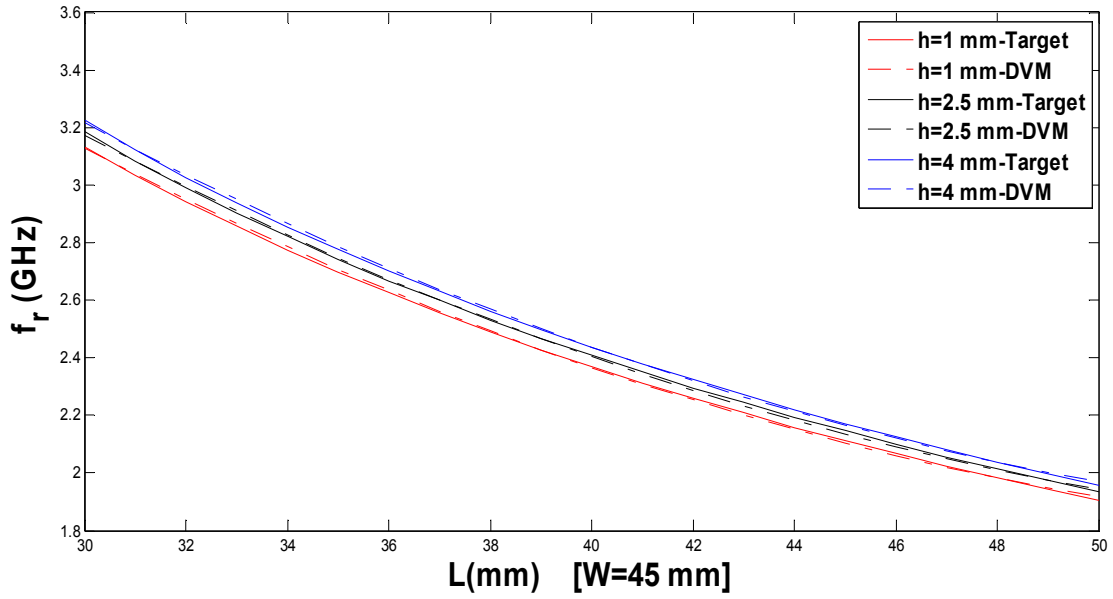
Şimdiye kadar üretilen Eğitim ve Test kümeleri DVRM modeline uygulanarak Kaba DVRM modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model en uygun parametreler ile optimize edilmiştir. Bu çalışmada kaba DV'leri ile eğitilen DVRM modelin eğitiminde kernel tipi olarak radyal tabanlı fonksiyon seçilmiştir.

Çizelge 5.5'te kaba veri kümesi ile eğitilen DVRM modeli için ε parametresine bağlı olarak DV sayısı ve doğruluk değişimi verilmiştir. Yapılan uygulamada $\varepsilon=0.01$ olarak seçilmiş ve 44 DV ile elde edilen %99.66 doğruluk oranı yeterli bulunmuştur.

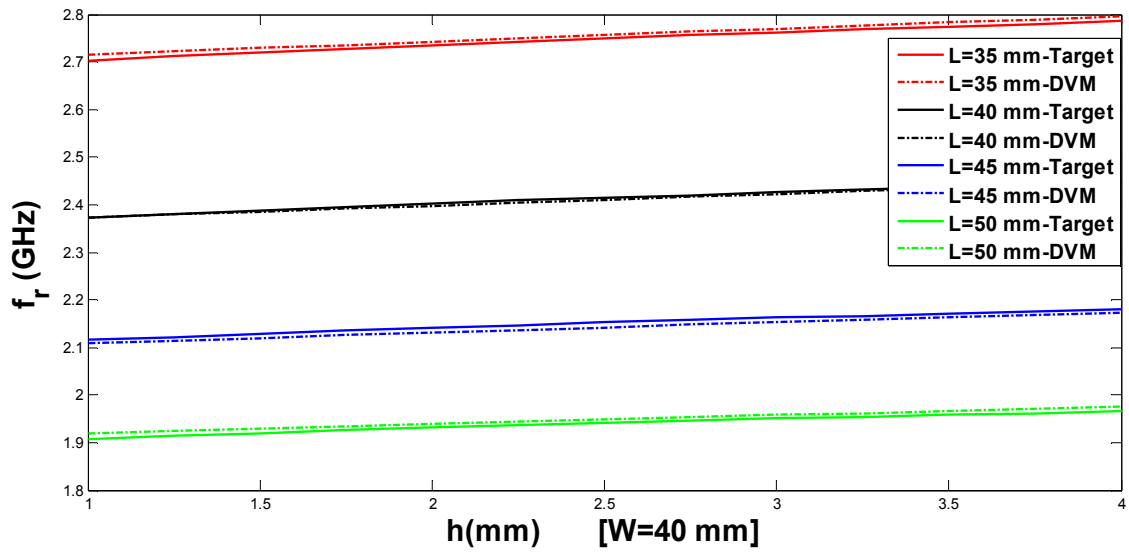
Çizelge 5.5 Kaba sentez veri kümesi ile eğitilen DVRM modeli için ε parametresine bağlı olarak DV sayısı ve doğruluk değişimi

ε	DV sayısı / Toplam eğitim verisi	Doğruluk (%)
0.0001	414 / 441	99.96
0.001	201 / 441	99.95
0.01	44 / 441	99.66
0.05	9 / 441	99.13

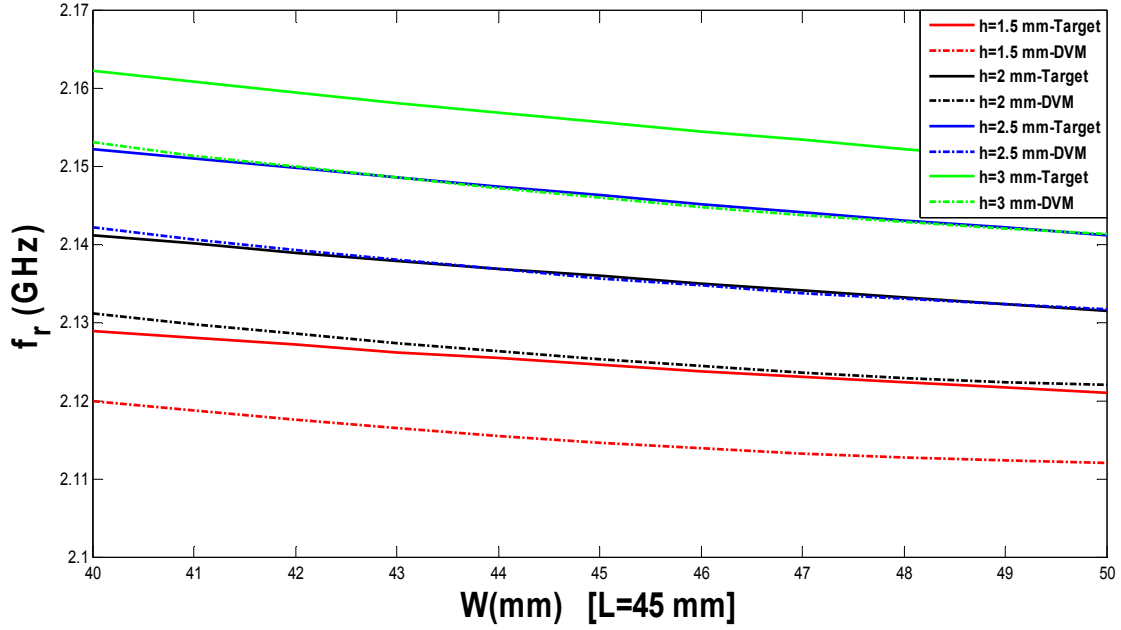
Deneme yanılma yolu ile verilen değerlere göre en uygun parametreler seçilmiştir. Modelin uygun olup olmadığına, sonuçta çıkan doğruluk değerinin bire yakın olmasına ve Target-DVM grafiklerinin birbirleri ile en iyi örtüştüğü duruma bakarak karar verilmiştir. Target; kaba verileri belirten hedef değeri, DVM ise DVRM modelin verdiği değeri göstermektedir.



Şekil 5.2 Kaba DVRM modelinde Test1 için Target-DVM değerlerinin grafiği



Şekil 5.3 Kaba DVRM modelinde Test2 için Target-DVM değerlerinin grafiği



Şekil 5.4 Kaba DVRM modelinde Test3 için Target-DVM değerlerinin grafiği

Bu sonuçlara dayanarak Kaba DVRM modelin çıkardığı 44 adet Destek Vektörü ile Hassas DVRM modelin oluşturulabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

5.4 Hassas Destek Vektör Üretimi

Bir önceki bölümde elde edilen 44 adet DV'nün EM Simülatör programı ile simüle edilerek Hassas Destek Vektör Veri Kümesi oluşturulmuştur. Elektromanyetik simülasyon programı olarak 4. bölümde bahsedilen Zeland IE3D kullanılmıştır.

Bu program yardımıyla daha önce kaba DVRM modelinde kullanılan 441 adet veri yerine 44 adet hassas veri, Eğitim kümesinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Üretilen bu veriler ile Mikroşerit Antenlerin Bilgi Tabanlı DV Analizi için Hassas DVRM modeli oluşturulacaktır.

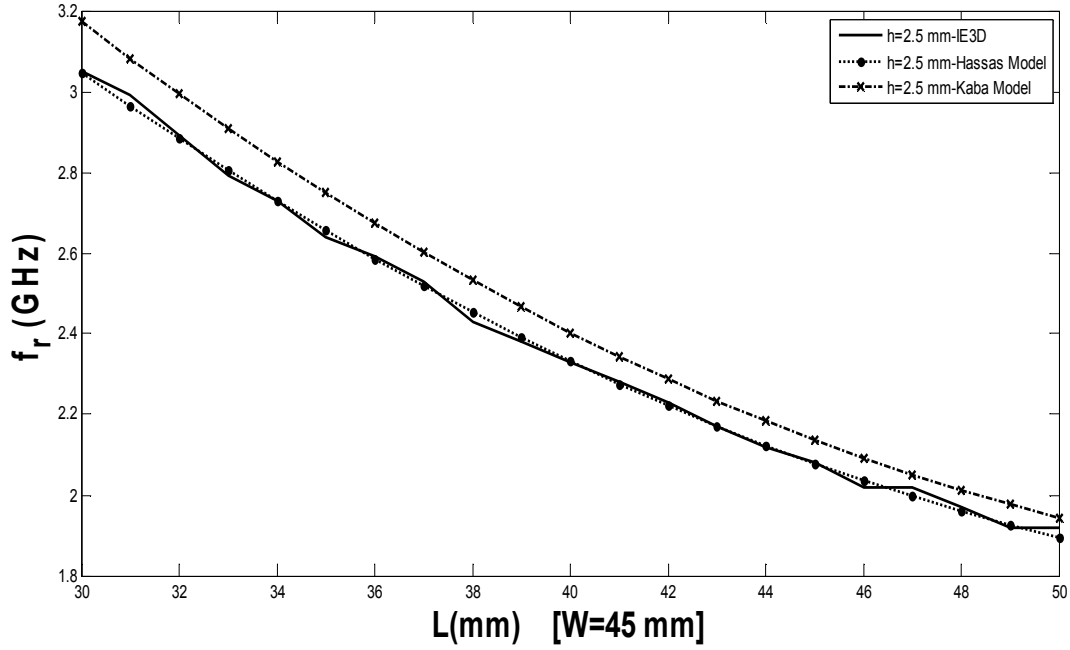
5.5 Hassas Destek Vektör Modeli

Hassas DV'leri le eğitilen DVRM modelin eğitiminde kernel tipi olarak radyal tabanlı fonksiyon seçilmiştir. Denemeler sonucunda, C 1000, ε parametresi 0.01 olarak seçilmiştir. Burada C kernel fonksiyonunun cost parametresini, ε DVRM modelin kayıp fonuksiyonunu ifade eder. DVRM modelinin testteki doğruluğu %99.38 olarak bulunmuştur. Bu doğruluk değeri (5.1)'de verilen doğruluk tanımı kullanılarak elde edilmiştir.

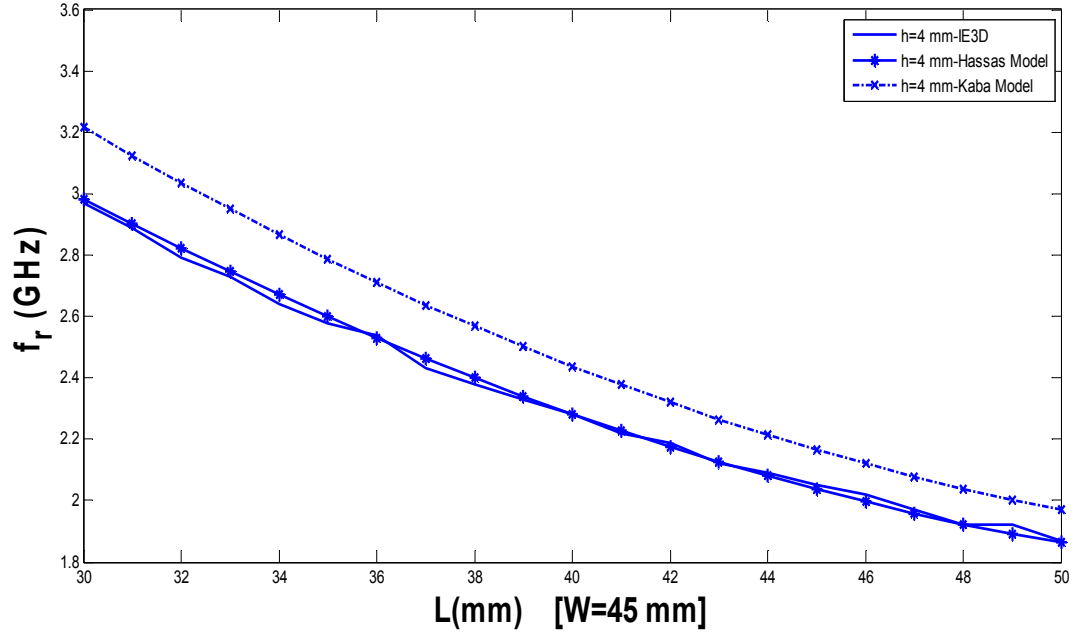
$$\text{Dogruluk}_X = 1 - \frac{\sum_{k=1}^n |X_{k \text{ hedef}} - X_{k \text{ tahmin edilen}}|}{\sum_{k=1}^n X_{k \text{ hedef}}} \quad (5.1)$$

Burada $X_{k \text{ tahmin edilen}}$, k'ncı hedef değeri $X_{k \text{ hedef}}$ için tahmin edilen değer, n ise toplam test verisi sayısıdır.

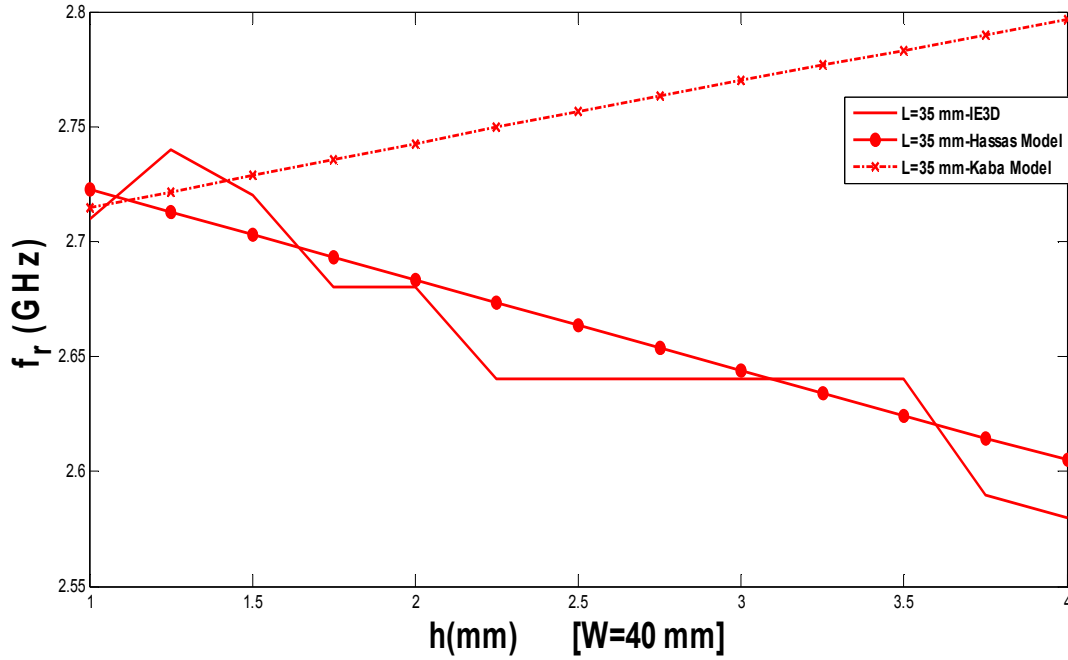
Aşağıdaki şekillerde hassas veri ile eğitilmiş DVRM sonuçları, EM Simülatör sonuçları ve Kaba DVRM sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Hassas veri ile eğitilen DVRM modelinin kaba model sonuçlarından çok farklı, EM simülatör sonuçlarına oldukça yakın olduğu bu grafiklerden görülebilmektedir.



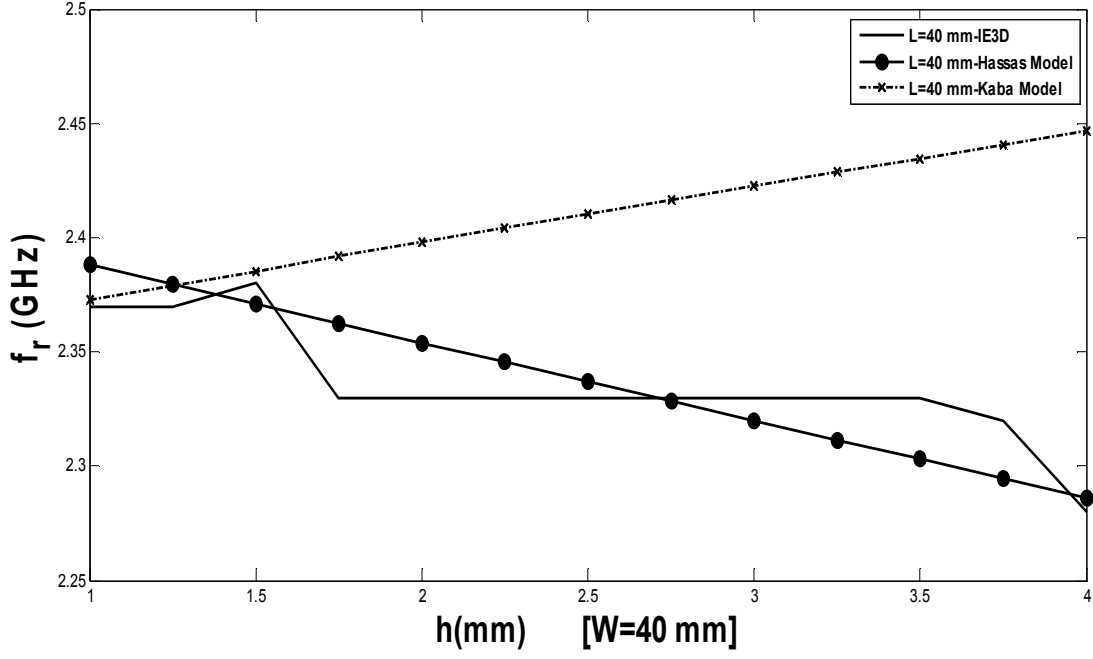
Şekil 5.5 $h = 2.5\text{mm}$ için L ile f_r 'nin değişiminde hassas veri ile eğitilmiş DVRM sonuçlarının EM simülatör sonuçları ve kaba DVRM model sonuçları ile karşılaştırılması



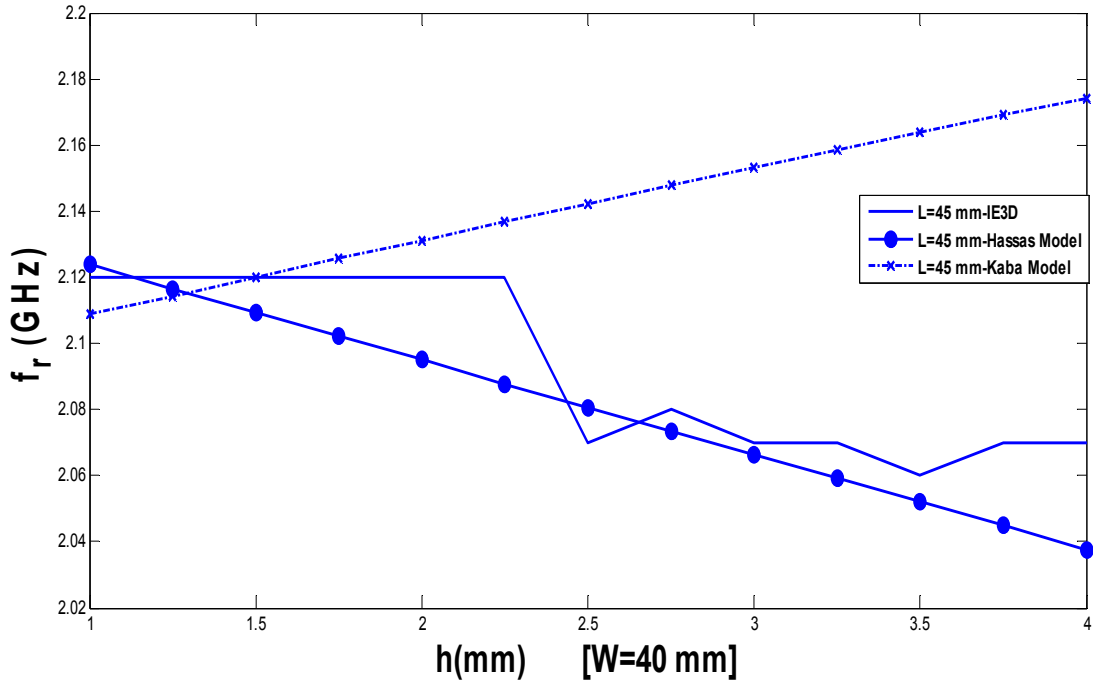
Şekil 5.6 $h = 4\text{ mm}$ için L ile f_r 'nin değişiminde hassas veri ile eğitilmiş DVRM sonuçlarının EM simülatör sonuçları ve kaba DVRM model sonuçları ile karşılaştırılması



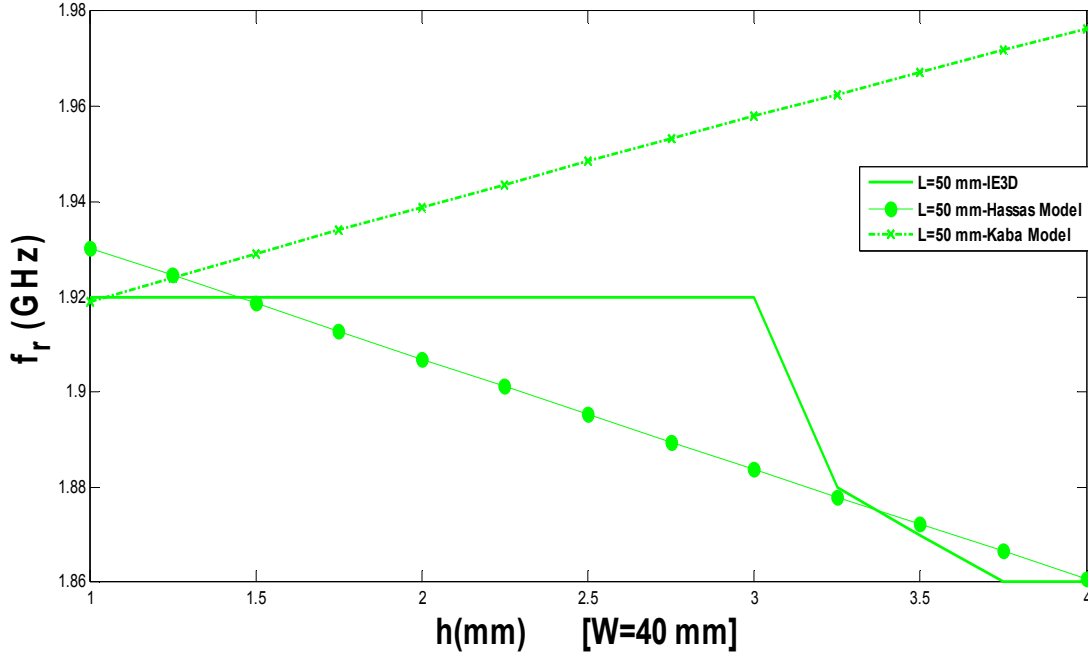
Şekil 5.7 $L = 35\text{ mm}$ değeri için h ile f_r 'nin değişiminde hassas veri ile eğitilmiş DVRM sonuçlarının EM simülatör sonuçları ve kaba DVRM model sonuçları ile karşılaştırılması



Şekil 5.8 $L = 40\text{mm}$ değeri için h ile f_r 'nin değişiminde hassas veri ile eğitilmiş DVRM sonuçlarının EM simülatör sonuçları ve kaba DVRM model sonuçları ile karşılaştırılması

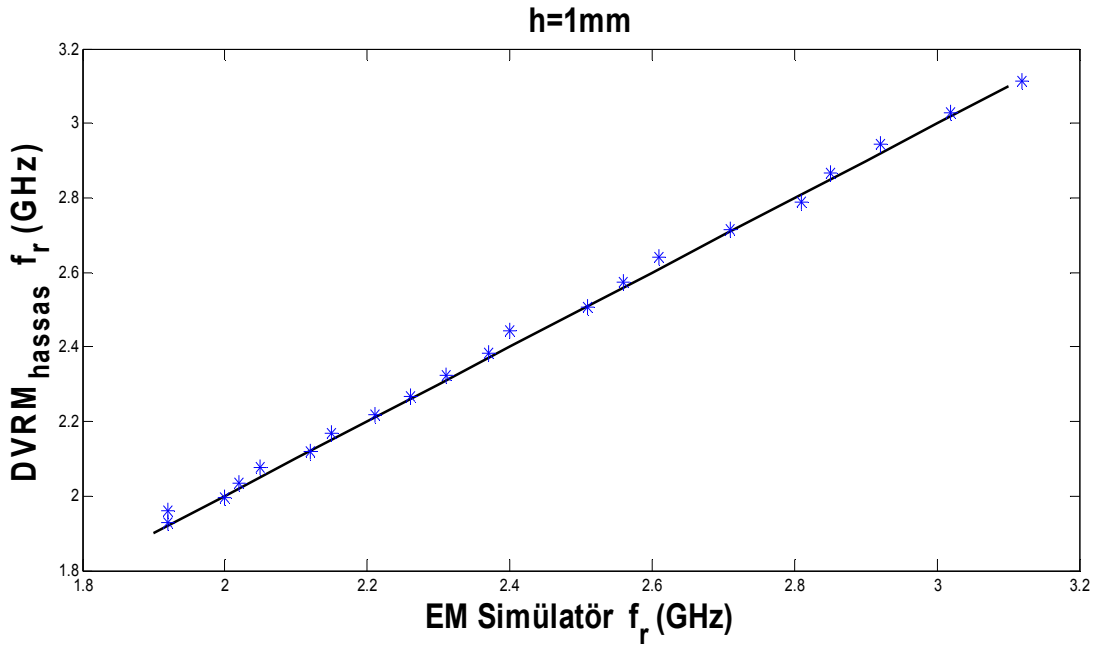


Şekil 5.9 $L = 45\text{mm}$ değeri için h ile f_r 'nin değişiminde hassas veri ile eğitilmiş DVRM sonuçlarının EM simülatör sonuçları ve saba DVRM model sonuçları ile karşılaştırılması

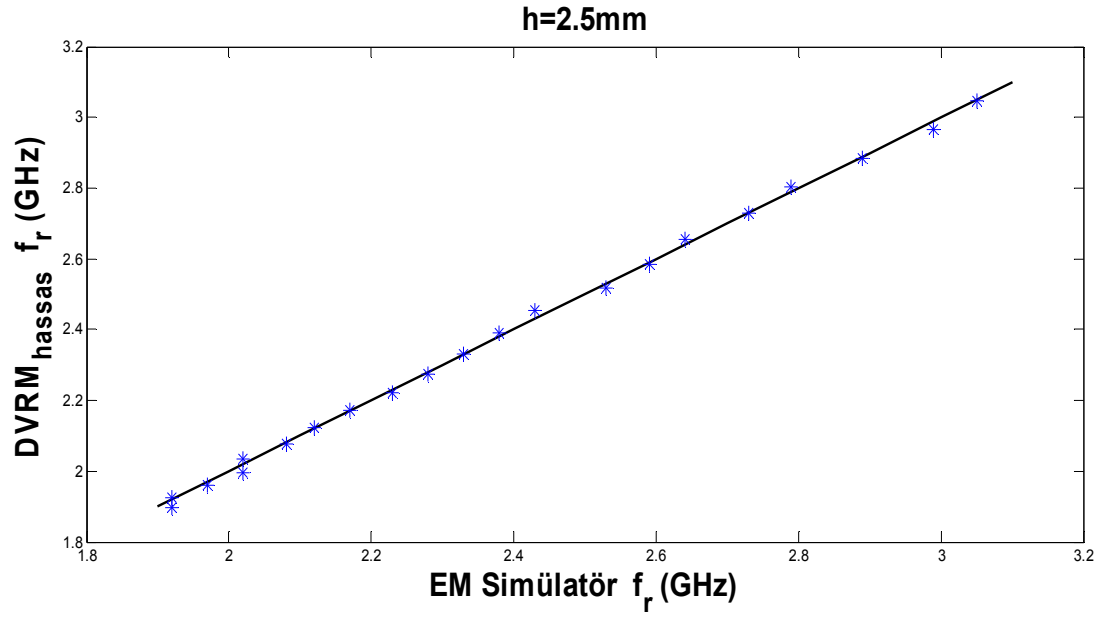


Şekil 5.10 $L = 50$ mm değeri için h ile f_r 'nin değişiminde hassas veri ile eğitilmiş DVRM sonuçlarının EM simülör sonuçları ve kaba DVRM model sonuçları ile karşılaştırılması

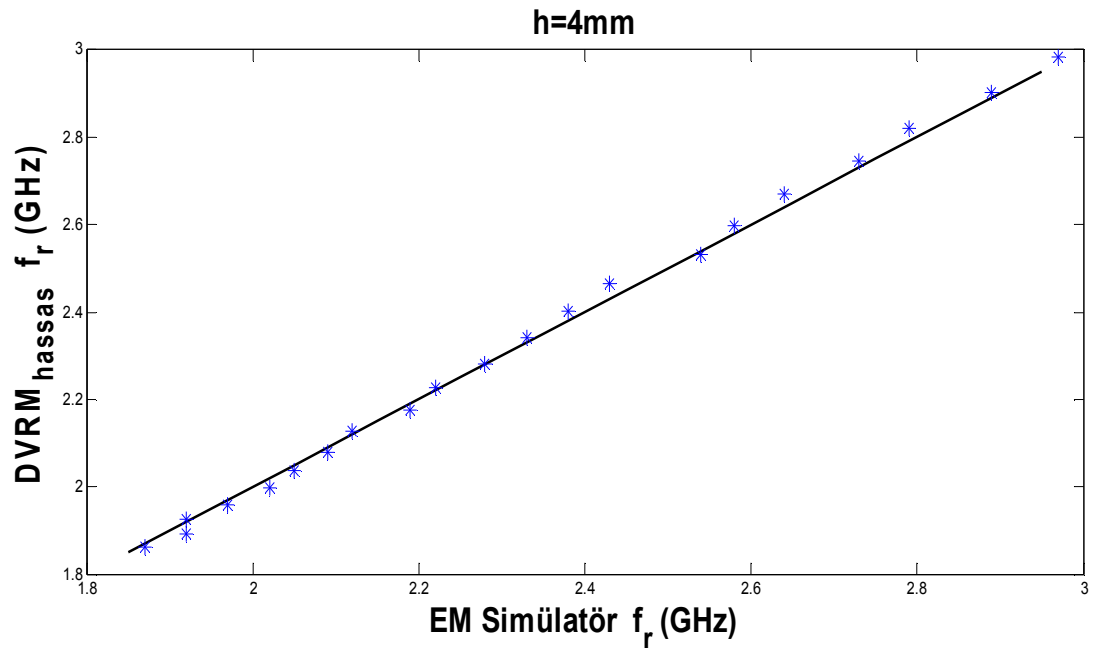
Şekillerden de anlaşılağı üzere Hassas DVRM modelin sonuçları ile Elektromanyetik Simülörün sonuçları birbirine paralel çıkmıştır. Aşağıdaki şekillerde farklı dielektrik kalınlıkları için EM Simülörün sonuçları ile Hassas DVRM'nin test sonuçları karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.11 $h = 1$ mm için EM simülör ve hassas DVRM modelin sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 5.12 $h = 2.5\text{mm}$ için EM simülâtör ve hassas DVRM modelin sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 5.13 $h = 4\text{mm}$ için EM simülâtör ve hassas DVRM modelin sonuçlarının karşılaştırılması

6. SONUÇ

Bu çalışmada, bilgi tabanlı destek vektör makinesi mikroşerit antenlerin analizine uyarlanmıştır. Bununla beraber, mikroşerit antenlerin tasarımına ilişkin genel bilgiler verilmiş, tasarımda dikkat edilmesi gereken besleme noktası ve besleme hattı geometrisi hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur. Analiz için anten örneklerinin simülasyonunda kullanılan EI3D tam-dalga elektromagnetik simülasyon programı anlatılmış, bir mikroşerit antenin simülasyonun nasıl yapılacağı ve mikroşerit antenin program yardımı ile nasıl tasarlanacağı gösterilmiştir. Dikdörtgen mikroşerit antenlerin analiz DV açılımı kaba model verileri kullanarak yapılmıştır. Bu veriler analitik fonksiyonlar ve MATLAB yardımı ile elde edilmiştir. Kaba DVRM modelinden elde edilen DV'ler elektromagnetik simülatör yardımı ile hassas model ile eşleştirilmiş ve elde edilen hassas veri kümesi DVRM eğitiminde kullanılmıştır. Böylelikle Hassas DVRM modeli oluşturulmuş ve bu şekilde kaba modeller kadar hızlı, hassas modeller kadar yüksek doğruluklu bir analiz metodu geliştirilmiştir.

KAYNAKLAR

Angiulli, G., Cacciola, M. ve Versaci, M., (2007), “Microwave Devices and Antennas Modelling by Support Vector Regression Machines”, IEEE Transactions on Magnetics, 43(4):1589-1592.

Bahl, J. ve Bhartia, P., (1980), Microstrip Antennas, Artech House, Dedham, MA.

Balanis, C. A., (2005), Antenna Theory Analysis and Design, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA

Balanis, C.A., (1989), Advance Engineering Electromagnetics, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA

Chapelle, O., Haffner, P. ve Vapnik, V., (1999), “Support vector machines for histogram-based image classification”, IEEE Transactions on Neural Networks, 10(5):1055-1064.

Cristianini, N., ve Shawe-Taylor, J., (2000), An Introduction to Support Vector Machines (and Other Kernel-Based Learning Methods), Cambridge University Press.

Çakır G., (2004), Gezgin İletişim Sistemleri İçin Hüzme Yönlendirmeli Mikroşerit Dizi Anten Tasarımı: Alanitik Hesaplama, Bilgisayar Benzetimleri ve Ölçmeler, Kocaeli Üni., FBE, Doktora Tezi, Kocaeli

Ganapathiraju, A., Hamaker, J.E. ve Picone, J., (2004), “Applications of Support Vector Machines to Speech Recognition”, IEEE Trans. on Signal Processing, 52(8): 2348-2356.

Gutton, H., Baissinot, G., (1955), Flat aerial for ultra high frequencies, French Patent, No. 703113.

Hu, Y., Jackson, D.R., Williams, J.T., ve Long, S.A., (2006), “A Design Approach for Inset-Fed Rectangular Microstrip Antennas”, IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, pp. 1491-1494.

Kuhn, H., ve Tucker, A., (1951), Nonlinear Programming, In Proceedings of 2nd Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probabilistics, University of California Press.

Lo, Y.T., Solomon, D., Richards, W.F., (1979), Theory and Experiments on Microstrip, Antennas and Propagation, vol.27, no.3, pp.137-145.

Nakar, P.S., (2004), Design of a Compact Microstrip Patch Antenna for use in Wireless/Cellular Devices, Florida State Univ., Department of Electrical and Computer Engineering, Master of Science Thesis, Florida

Sainati, R. A., (1996), CAD of Microstrip Antennas for Wireless Application, Artech House, London.

Tokan, N.T., (2009), Destek Vektör Makinelerinin Mikrodalga Teori ve Tekniğindeki Uygulamaları, Yıldız Teknik Üni., FBE, Doktora Tezi, İstanbul

Tokan, N.T., Güneş, F. ve Gürgen, F., (2008), “Support Vector Design of the Microstrip Lines”, Int. J. RF Microwave Computer-Aided Eng., 18: 326–336.

Tokan, N.T., ve Güneş, F., (2008a), “Support Vector Characterisation of Resonance Frequencies of Microstrip Antennas based on Measurements”, Progress In Electromagnetics Research B, 5:49-51.

Tokan, N.T., ve Güneş, F., (2008b), “Analysis and Synthesis of the Microstrip Lines Based on Support Vector Regression”, European Microwave Conference, 27-31 Ekim 2008, Amsterdam, Hollanda.

Vapnik, V., (1995), The Nature of Statistical Learning Theory, Springer-Verlag, New York.

EKLER

Ek 1: Besleme Noktası Hesaplayan MATLAB Kodu

clear all;
rin=input('enter the required resistance');
L=input('enter length');
W=input('enter width');
c=3*10 ¹¹ ;
freq=input('enter frequency');
freq=freq*10 ⁹ ;
lambda0=c/freq;
if W<lambda0;
G1=(1/90)*(W/lambda0) ² ;
else
G1=(1/120)*(W/lambda0);
end
rin0=(2*G1) ⁽⁻¹⁾ ;
y01=(L/pi)*acos((rin/rin0) ^{0.5});
y02=(L/pi)*acos(-(rin/rin0) ^{0.5});
y01
y02

Ek 2: Eğitim Verisi İçin Kullanılan MATLAB Kodu

c=3*1e11;
er=2.45;
for W=40:2:50;
for L=30:50;
for h=1:0.5:4;
Ee=(er+1)/2+(er-1)/(2*(1+10*(h/W))^0.5);
deltaL=0.412*(Ee+0.3)*((W/h)+0.264)/((Ee-0.258)*((W/h)+0.813));
Le=L+(2*deltaL);
fo=c/(2*(Ee^0.5)*Le);
f=fo/10^9;
E(n,1)=W; E(n,2)=L; E(n,3)=h; E(n,4)=f;
end
end
end

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi:	24.08.1983	
Doğum Yeri:	İslahiye/Gaziantep	
Lise:	1997-2001	İskenderun Cumhuriyet Lisesi (y.d.a)
Lisans:	2002-2007	Yıldız Teknik Üniversitesi / Elektrik-Elektronik Fak. Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Değişim Programı:	2006-2007	Czech Technical University in Prague / Electrical Faculty Electronics and Communication Engineering
Yüksek Lisans:	2007-2010	Yıldız Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Müh. Anabilim Dalı, Haberleşme Prog.

Çalıştığı Kurumlar:

2007-2009	Alcatel-Lucent Teletaş A.Ş.
2009-Halen	Ericsson Telekomünikasyon A.Ş.