

154364

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RF/MİKRODALGA DÜZLEMSEL İLETİM HATLARININ  
YAPAY SİNİR AĞI İLE ANALİZ VE SENTEZİ**

Elektronik ve Haberleşme Müh. Nurhan TÜRKER

FBE Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı Haberleşme Programında  
Hazırlanan

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ

Y. Doç. Dr. Hamid TORPİ



**İSTANBUL, 2004**

# İÇİNDEKİLER

|                                                                    | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------|-------|
| SİMGE LİSTESİ .....                                                | iv    |
| KISALTMA LİSTESİ .....                                             | v     |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                | vi    |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                                              | ix    |
| ÖNSÖZ .....                                                        | x     |
| ÖZET .....                                                         | xi    |
| ABSTRACT .....                                                     | xii   |
| 1. GİRİŞ .....                                                     | 1     |
| 2. RF/MİKRODALGA DÜZLEMSEL İLETİM HATLARI .....                    | 4     |
| 2.1 Düzlemsel İletim Hatları .....                                 | 4     |
| 2.2 Mikroşerit İletim Hattı .....                                  | 8     |
| 2.2.1 Mikroşerit Hat Zayıflatması .....                            | 11    |
| 2.2.1.1 Dielektrik kayıpları dolayısı ile oluşan zayıflatma .....  | 11    |
| 2.2.1.2 İletkenlik zayıflatması .....                              | 12    |
| 2.2.2 Mikroşerit hattın yüksek frekans davranışı .....             | 13    |
| 2.3 Eş Düzlemlı Dalga Kılavuzu .....                               | 15    |
| 2.3.1 Eş Düzlemlı Dalga Kılavuzunda Zayıflatma .....               | 17    |
| 2.3.2 Eş Düzlemlı Dalga Kılavuzunun Yüksek Frekans Davranışı ..... | 18    |
| 2.4 Kuplajlı Mikroşerit İletim Hattı .....                         | 18    |
| 2.4.1 Kuplajlı Mikroşerit Hat Zayıflatması .....                   | 20    |
| 3. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA) .....                                  | 21    |
| 3.1 Doğal Sinir Hücresi ve Sinir Ağları .....                      | 21    |
| 3.2 Yapay Hücre Modelleri .....                                    | 22    |
| 3.2.1 Statik Hücre Modeli .....                                    | 23    |
| 3.2.1.1 Aktivasyon Fonksiyonları .....                             | 23    |
| 3.2.2 Dinamik Hücre Modelleri .....                                | 25    |
| 3.3 Yapay Sinir Ağı'nın Tanımı .....                               | 26    |
| 3.3.1 Yapay Sinir Ağı Modellerinin Çıkarılması .....               | 26    |
| 3.3.2 Yapay Sinir Ağı Yapıları .....                               | 26    |
| 3.3.2.1 İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (İBYSA) .....           | 26    |
| 3.3.2.2 Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (GBYSA) .....            | 27    |
| 3.3.2.3 Bellek Hücreli YSA Yapıları (BHYSA) .....                  | 29    |
| 3.3.3 Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme .....                          | 30    |
| 3.3.3.1 Eğitici Öğrenme .....                                      | 30    |
| 3.3.3.2 Eğitici Öğrenme .....                                      | 31    |

|         |                                                                                                                |    |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.3.3 | Takviyeli öğrenme.....                                                                                         | 31 |
| 3.4     | Yapay Sinir Ağlarının Üstünlükleri.....                                                                        | 32 |
| 3.5     | Bazı Ağ Mimarileri ve Öğrenme Algoritmaları .....                                                              | 34 |
| 3.5.1   | Çok Katmanlı Algılayıcılar(ÇKA) .....                                                                          | 34 |
| 3.5.2   | Radyal Fonksiyon Temelli Ağlar (RBF) .....                                                                     | 35 |
| 3.5.3   | Genelleştirilmiş Regresyon Ağları(GRNN) .....                                                                  | 36 |
| 4.      | PROBLEMİN TANIMI.....                                                                                          | 38 |
| 4.1     | Problemin İleri Yöndeki Tanımı : YSA Analiz Kara – Kutu Modeli .....                                           | 38 |
| 4.2     | Problemin Ters Yöndeki Tanımı : YSA Sentez Kara – Kutu Modeli .....                                            | 40 |
| 4.3     | RF/Mikrodalga Düzlemsel İletim Hattı Analiz ve Sentez YSA’ sının<br>Oluşturulması .....                        | 40 |
| 5.      | UYGULAMALAR.....                                                                                               | 42 |
| 5.1     | Mikroşerit İletim Hattı için Analiz ve Sentez YSA Kara – Kutu Modeli<br>Sonuçları.....                         | 43 |
| 5.2     | Eş Düzlemli Dalga Kılavuzu için Analiz ve Sentez YSA Kara – Kutu Modeli<br>Sonuçları.....                      | 46 |
| 5.3     | Ekranlamalı Eş Düzlemli Dalga Kılavuzu için Analiz ve Sentez YSA<br>Kara – Kutu Modeli Sonuçları .....         | 51 |
| 5.4     | Kuplajlı Mikroşerit Hat için Analiz ve Sentez YSA Kara – Kutu<br>Modeli Sonuçları .....                        | 55 |
| 5.5     | YSA ile Sentez ( $\Leftrightarrow$ Ters Problem) Uygulaması: Mikroşerit Alçak Geçiren Filtre<br>Tasarımı ..... | 61 |
| 6.      | SONUÇLAR.....                                                                                                  | 69 |
|         | KAYNAKLAR.....                                                                                                 | 70 |
|         | EKLER .....                                                                                                    | 73 |
|         | Ek 1 Konform Dönüşüm Tekniği - Eliptik Sinüs Fonksiyonu .....                                                  | 74 |
|         | Ek 2 Eğitim ve Test Datalarını Elde Etmek İçin Kullanılan Programlar .....                                     | 78 |
|         | Ek 3 Sentez Formüllerini Kullanarak Mikroşerit Hattın Sentezini Yapan Program .....                            | 90 |
|         | ÖZGEÇMİŞ.....                                                                                                  | 92 |

## SİMGE LİSTESİ

|                  |                                                                              |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| $C_a$            | Mikroşerit kapasitansı                                                       |
| $H1$             | Taban madde kalınlığı                                                        |
| $H2$             | Ekranlama kalınlığı                                                          |
| $T$              | Şerit kalınlığı                                                              |
| $S$              | Eş düzlemlı dalga kılavuzunda şerit genişliğı                                |
| $W$              | Mikroşerit hatta şerit genişliğı                                             |
| $W_e$            | Efektif şerit genişliğı                                                      |
| $f$              | Çalışma frekansı                                                             |
| $\epsilon_{eff}$ | Efektif dielektrik sabiti                                                    |
| $\epsilon_r$     | Taban maddesi boyunca dielektrik sabiti                                      |
| $\epsilon_y$     | Taban maddesi boyunca dielektrik sabiti                                      |
| $Z_c$            | Hattın karakteristik empedansı                                               |
| $H_e$            | Efektif taban madde kalınlığı                                                |
| $\alpha$         | Toplam zayıflatma                                                            |
| $\alpha_c$       | İletken kayıpları sebebiyle oluşan zayıflatma                                |
| $\alpha_d$       | Dielektrik kayıpları sebebiyle oluşan zayıflatma                             |
| $R_1$            | Mikroşeridin dağılmış devre parametreleri cinsinden normalize seri direnci   |
| $R_2$            | Yer düzleminin dağılmış devre parametreleri cinsinden normalize seri direnci |
| $LR$             | Kayıp oranı                                                                  |
| $R_m$            | Deri etkisi direnci                                                          |
| $q$              | Dolgu faktörü                                                                |
| $C_p$            | Paralel levha hat kapasitansı                                                |
| $\tan \delta$    | Tanjant kaybı                                                                |
| $\lambda_o$      | Serbest uzay dalga boyu                                                      |
| $\phi$           | Aktivasyon fonksiyonu                                                        |
| $\mu_j$          | Algılama bölgeleri                                                           |
| $K$              | Birinci türden eliptik integral                                              |

## KISALTMA LİSTESİ

|       |                                                      |
|-------|------------------------------------------------------|
| MIC   | Mikrodalga Tümleşik Devre                            |
| YSA   | Yapay Sinir Ağı                                      |
| TEM   | Transverse Electric and Magnetic                     |
| GHz   | Gigahertz                                            |
| CAD   | Bilgisayar Destekli Modelleme                        |
| İBYSA | İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı                      |
| GBYSA | Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağı                       |
| YGKİ  | Yöresel Geri-Küresel İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı |
| BHYSA | Bellek Hücreli Yapay Sinir Ağı                       |
| ÇKA   | Çok Katmanlı Algılayıcı                              |
| RBF   | Radyal Fonksiyon Temelli Ağlar                       |
| GRNN  | Genelleştirilmiş Regresyon Ağları                    |
| AGF   | Alçak Geçiren Filtre                                 |



## ŞEKİL LİSTESİ

|            |                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1  | (a) Bir mikroşerit hat geometrisi, (b) İmaj teorisine göre mikroşerit hattın paralel- şerit hat eşdeğeri.....                                                                                                                                          | 4  |
| Şekil 2.2  | (a) Kuplajlı mikroşerit hat, (b) Eş düzlemli iletim hattı, (c) Eş düzlemli şerit hat.....                                                                                                                                                              | 5  |
| Şekil 2.3  | Asılı ve ters asılı mikroşerit hat(Collins, 1992). ....                                                                                                                                                                                                | 5  |
| Şekil 2.4  | (a) Yarık hat, (b) Ekranlanmış yarık hat, (c) Şerit hat(Collins, 1992). ....                                                                                                                                                                           | 5  |
| Şekil 2.5  | (a) Temel Eş düzlemli dalga kılavuzu, (b) Ekranlanmış Eş düzlemli dalga kılavuzu, (c) elektrik alan dağılımı. ....                                                                                                                                     | 15 |
| Şekil 2.6  | (a) Kuplajlı mikroşerit iletim hattı, (b) Tek ve çift mod için elektrik alan dağılımları. ....                                                                                                                                                         | 18 |
| Şekil 2.7  | Analizde kullanmak amacı ile kapasitelerin ayrılması(Edwards, 1981). ....                                                                                                                                                                              | 19 |
| Şekil 3.1  | Bir sinir hücresi. ....                                                                                                                                                                                                                                | 21 |
| Şekil 3.2  | Sinir hücrelerinin birbiriyle bağlantısı. ....                                                                                                                                                                                                         | 22 |
| Şekil 3.3  | Statik Hücre Modeli. ....                                                                                                                                                                                                                              | 23 |
| Şekil 3.4  | Doyumlu doğrusal aktivasyon fonksiyonu.....                                                                                                                                                                                                            | 24 |
| Şekil 3.5  | Sigmoid (tanh) aktivasyon fonksiyonu. ....                                                                                                                                                                                                             | 25 |
| Şekil 3.6  | Eşik aktivasyon fonksiyonu. ....                                                                                                                                                                                                                       | 25 |
| Şekil 3.7  | İleri beslemeli 3 katmanlı YSA.....                                                                                                                                                                                                                    | 27 |
| Şekil 3.8  | Geri Beslemeli İki Katmanlı YSA. ....                                                                                                                                                                                                                  | 28 |
| Şekil 3.9  | YGKİ yapay sinir ağı. ....                                                                                                                                                                                                                             | 29 |
| Şekil 3.10 | Bellek hücreli yapay sinir ağı ve bellekli bir hücrenin yapısı.....                                                                                                                                                                                    | 29 |
| Şekil 3.11 | Eğiticili öğrenme. ....                                                                                                                                                                                                                                | 31 |
| Şekil 3.12 | Eğiticişiz öğrenme yapısı. ....                                                                                                                                                                                                                        | 31 |
| Şekil 3.13 | Takviyeli öğrenme yapısı.....                                                                                                                                                                                                                          | 32 |
| Şekil 3.14 | ÇKA modeli. ....                                                                                                                                                                                                                                       | 35 |
| Şekil 3.15 | Radyal fonksiyon temelli ağlar. ....                                                                                                                                                                                                                   | 36 |
| Şekil 3.16 | Genelleştirilmiş regresyon ağ yapısı. ....                                                                                                                                                                                                             | 37 |
| Şekil 4.1  | YSA analiz kara – kutu modeli. ....                                                                                                                                                                                                                    | 38 |
| Şekil 4.2  | YSA sentez kara – kutu modeli.....                                                                                                                                                                                                                     | 38 |
| Şekil 5.1  | YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen dört farklı taban maddesine sahip mikroşerit hattın karakteristik empedansının normalize frekans ile değişim grafikleri. ....                                                                     | 43 |
| Şekil 5.2  | YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen alumina taban maddesine sahip mikroşerit hattın efektif dielektrik sabitinin normalize frekans ile değişim grafiği. ....                                                                          | 43 |
| Şekil 5.3  | YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen alumina taban maddesine sahip mikroşerit hattın (a) iletken kayıpları sebebiyle oluşan zayıflatması, (b) dielektrik kayıpları sebebiyle oluşan zayıflatması, (c) toplam zayıflatması(Np/cm). .... | 44 |
| Şekil 5.4  | YSA Sentez kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen alumina taban maddesine sahip mikroşerit hattın efektif dielektrik sabitinin karakteristik empedans ile değişim grafiği.....                                                                      | 45 |
| Şekil 5.5  | YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen RT/Duroid taban maddesine sahip eş düzlemli dalga kılavuzunun efektif dielektrik sabitinin değişim grafiği... ..                                                                                  | 46 |
| Şekil 5.6  | YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen RT/ Duroid taban maddesine sahip eş düzlemli dalga kılavuzunun karakteristik empedansının değişim grafiği. .                                                                                      | 47 |
| Şekil 5.7  | YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen RT/ Duroid taban maddesine sahip eş düzlemli dalga kılavuzunun dielektrik zayıflatmasının değişim grafiği(dB/cm). ....                                                                            | 47 |

|                                                                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5.8 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen RT/ Duroid taban maddesine sahip eş düzlemlı dalga kılavuzunun iletken zayıflatmasının değışim grafiğı(dB/cm). .....                     | 48 |
| Şekil 5.9 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen dört farklı taban maddesine sahip eş düzlemlı dalga kılavuzunda oluşan toplam zayıflatmanın değışim grafikleri(dB/cm). .....             | 48 |
| Şekil 5.10 YSA Sentez kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen PTFE/mikrofiber cam taban maddesine sahip eş düzlemlı dalga kılavuzunun efektif dielektrik sabitinin değışim grafiğı. ....              | 49 |
| Şekil 5.11 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen PTFE/ mikrofiber cam taban maddesine sahip ekranlamalı eş düzlemlı dalga kılavuzunun efektif dielektrik sabitinin değışim grafiğı. .... | 51 |
| Şekil 5.12 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen alumina taban maddesine sahip ekranlamalı eş düzlemlı dalga kılavuzunun karakteristik empedansının değışim grafiğı. ....                | 51 |
| Şekil 5.13 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen RT/ Duroid taban maddesine sahip ekranlamalı eş düzlemlı dalga kılavuzunun iletken zayıflatmasının grafiğı(dB/cm). ....                 | 52 |
| Şekil 5.14 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen dört farklı taban maddesine sahip ekranlamalı eş düzlemlı dalga kılavuzunun dielektrik zayıflatmasının grafikleri(dB/cm). ....          | 52 |
| Şekil 5.15 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen galyum-arsenit taban maddesine sahip ekranlamalı eş düzlemlı dalga kılavuzundaki toplam zayıflatmanın grafiğı(dB/cm). ....              | 53 |
| Şekil 5.16 YSA Sentez kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen (a) RT/ Duroid, (b) galyum-arsenit taban maddesine sahip ekranlamalı eş düzlemlı dalga kılavuzunun H1/H2 değışim grafiğı. ....          | 53 |
| Şekil 5.17 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen dört farklı taban maddesine sahip kuplajlı mikroşerit iletim hattında efektif dielektrik sabitinin değışim grafiğı. ....                | 55 |
| Şekil 5.18 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen galyum-arsenit taban maddesine sahip kuplajlı mikroşerit iletim hattında iletken zayıflatmasının değışim grafiğı(dB/cm). ....           | 56 |
| Şekil 5.19 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen dört farklı taban maddesine sahip kuplajlı mikroşerit iletim hattında karakteristik empedansın değışim grafiğı. ....                    | 56 |
| Şekil 5.20 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen alumina taban maddesine sahip kuplajlı mikroşerit iletim hattında dielektrik zayıflatmasının değışim grafiğı(dB/cm). ....               | 57 |
| Şekil 5.21 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen PTFE/mikrofiber cam taban maddesine sahip kuplajlı mikroşerit iletim hattında toplam zayıflatmanın değışim grafiğı(dB/cm). ....         | 57 |
| Şekil 5.22 YSA sentez kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen (a) RT/Duroid, (b) galyum-arsenit taban maddesine sahip kuplajlı mikroşerit iletim hattında S/H oranının değışim grafiğı. ....          | 60 |
| Şekil 5.23 YSA sentez kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen galyum-arsenit taban maddesine sahip kuplajlı mikroşerit iletim hattında efektif dielektrik sabitinin değışim grafiğı. ....             | 60 |
| Şekil 5.24 Bitişik kapasitif hatta sahip indüktif hat, (a) toplu elemanlar ile, (b) toplu-dağılmış eşdeğeri, (c) mikroşerit formu. ....                                                                 | 62 |

|            |                                                                                                                                                                 |    |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5.25 | Bitişik indüktif hatta sahip kapasitif hat, (a) mikroşerit formu,<br>(b) toplu elemanlar ile. ....                                                              | 63 |
| Şekil 5.26 | (a) AGF devresi, (b) genlik cevabı, (c) kazanç grafiği. ....                                                                                                    | 65 |
| Şekil 5.27 | (a) 2 GHz AGF devre prototipi, (b) kaskat bağlı ‘düşük-yüksek-düşük’<br>karakteristik empedanslı beş bölümden oluşan genel AGF mikroşerit yapısı. ....          | 66 |
| Şekil 5.28 | (a) Sentez formülleri sonucunda elde edilen devre,<br>(b) YSA sentez kara-kutu sonuçları ile elde edilen devre. ....                                            | 67 |
| Şekil 5.29 | Devrelerin yapısal görünümü. ....                                                                                                                               | 67 |
| Şekil 5.30 | YSA sentez kara-kutu sonuçları, sentez formül sonuçları ve toplu devre<br>elemanları ile oluşturulan devrelerin (a) genlik cevapları, (b) kazanç grafikleri. .. | 68 |
| Şekil I.1  | $\sin \zeta$ fonksiyonu. ....                                                                                                                                   | 74 |
| Şekil I.2  | $sn(\zeta, k)$ fonksiyonu. ....                                                                                                                                 | 77 |





## ÇİZELGE LİSTESİ

|             |                                                                                                                                                           |    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1 | Madde özellikleri .....                                                                                                                                   | 8  |
| Çizelge 2.2 | Farklı formüller kullanılarak efektif dielektrik sabitinin elde edilen değerleri.....                                                                     | 11 |
| Çizelge 5.1 | YSA analiz kara-kutu modeli test sonuçları: Mikroşerit iletim hattında efektif dielektrik sabitinin değişimi .....                                        | 45 |
| Çizelge 5.2 | YSA sentez kara-kutu modeli test sonuçları: Mikroşerit iletim hattında efektif dielektrik sabitinin karakteristik empedans ile değişimi .....             | 46 |
| Çizelge 5.3 | YSA analiz kara-kutu modeli test sonuçları: Eş düzlemli dalga kılavuzunda toplam zayıflatmanın değişimi. ....                                             | 49 |
| Çizelge 5.4 | YSA sentez kara-kutu modeli test sonuçları: Eş düzlemli dalga kılavuzunda efektif dielektrik sabitinin karakteristik empedans ile değişimi.....           | 50 |
| Çizelge 5.5 | YSA analiz kara-kutu modeli test sonuçları: Ekranlamalı eş düzlemli dalga kılavuzunda dielektrik kayıplarından dolayı oluşan zayıflatmanın değişimi. .... | 54 |
| Çizelge 5.6 | YSA sentez kara-kutu modeli test sonuçları: Ekranlamalı Eş düzlemli dalga kılavuzunda H1/H2 değerinin karakteristik empedans ile değişimi.....            | 55 |
| Çizelge 5.7 | YSA analiz kara-kutu modeli test sonuçları: Kuplajlı mikroşerit iletim hattında tek ve çift modda karakteristik empedansın değişimi. ....                 | 58 |
| Çizelge 5.8 | YSA analiz kara-kutu modeli test sonuçları: Kuplajlı mikroşerit iletim hattında tek ve çift modda efektif dielektrik sabitinin değişimi.....              | 59 |
| Çizelge 5.9 | YSA sentez kara-kutu modeli test sonuçları: Kuplajlı mikroşerit iletim hattında tek ve çift modda efektif dielektrik sabitinin değişimi.....              | 61 |

## ÖNSÖZ

Günümüzde gelişen teknoloji ile beraber her şeyin en hızlı ve mükemmel olanı istenmektedir. Bu talep göz önünde bulundurularak, bu çalışmada çok uzun ve karmaşık formüllere sahip RF/Mikrodalga düzlemsel iletim hatlarının analizi ve sentezi için hızlı ve istenen değere çok iyi bir yaklaşıklıkla yaklaşan “Yapay Sinir Ağları” kullanılmış ve amaca uygun sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmanın her adımında katkılarını esirgemeyerek çalışmama ışık tutan çok değerli hocam Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ’e, sayın hocam Doç. Dr. Tülay YILDIRIM’a ve asistan arkadaşım Arş.Gör. Burcu KAPANOĞLU’na, desteklerini her an yanımda hissettiğim aileme ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmamın bu konu üzerinde çalışacak araştırmacılara faydalı olması dileğiyle.

## ÖZET

Bu çalışmada çok yaygın kullanılan dört tip düzlemsel iletim hattı ele alınmıştır: (1) Mikroşerit Hatlar; (2) Kuplajlı Mikroşerit Hatlar; (3) Eşdüzlemli Dalga Kılavuzu; (4) Ekranlanmış Eşdüzlemli Dalga Kılavuzu. Bilindiği gibi bu tip düzlemsel iletim hatları mikrodalga teknolojisinde de prensipte alçak frekans elektronik teknolojisinde yaygın kullanılan baskılı devre teknikleri ile üretilirler. Baskılı devre teknikleri düşük maliyetleri ve iyi mekanik toleransa sahip olmaları ile tanınırlar ve mikrodalga entegre devre (MIC)lerinin gelişimine olanak verirler. Bilindiği gibi entegre mikrodalga devrelerinde, aktif elemanlar(transistor, v.s.) ve bağlayıcı transmisyon hatları, empedans uydurma elemanları, kapasite ve dirençleri aynı bir kırmık içinde oluşturulurlar. Bu tip uygulamalarda özellikle yukarıda adı geçen dört tip düzlemsel hat, kırmık-devre üretimine kolaylıkla adapte olurlar ve bu tip devrelerinde tabaka kalınlığı ve hat genişlikleri genellikle hibrid devrelerine göre çok küçüktür.

Düzlemsel iletim hatlarının alan dağılımları ve karakteristiklerini veren formal çözümler alçak frekans bölgelerinde dahi çok karmaşıktır. Bu nedenle pratik uygulamalar için en az 1% yada daha iyi bir doğrulukla hat karakteristiklerini veren basit formüller istenir. Gerçekten bir kısım araştırmacılar her bir transmisyon hattı tipi için analitik çözümlere dayandırılan ve çeşitli nümerik sabitlerinin ampirik ayarlanması ile arzu edilen doğruluğu veren formüller geliştirmişlerdir.

Bu çalışmada yapay sinir ağının evrensel fonksiyon yaklaştırma özelliği kullanılarak dört ayrı düzlemsel transmisyon hattının analiz ve sentezi için iki ayrı yapay sinir ağı geliştirilmiştir; YSA analiz modeli ve YSA sentez modeli. YSA analiz ve sentez modelleri uygulama olarak, çok yaygın iki anizotropik materyal PTFE/ microfiber cam, RT/ Duroid 6006 ve iki izotropik materyal Alumina, Galyum-arsenit için uygulanarak sentez ve analiz karakteristikleri hedef değerleri ile karşılaştırmalı olarak elde edilmiştir ve modellerin çok iyi bir doğrulukla fonksiyon yaklaşıklığı yaptığı tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Mikroşerit Hat, Eş Düzlemli Dalga Kılavuzu, Ekranlamalı Eş Düzlemli Dalga Kılavuzu, Kuplajlı Mikroşerit Hat, Yapay Sinir Ağları

## ABSTRACT

In this work, most commonly used transmission lines which are; (1) Microstrip Lines; (2) Coupled Microstrip Lines; (3) Coplanar Waveguides; (4) Shielded Coplanar Waveguides are examined. The methods used to fabricate planar-transmission line structures and related circuit elements are compatible with integrated circuit fabrication and have allowed the development of microwave integrated circuits (MIC circuits). In integrated microwave circuits the active devices and all interconnecting transmission lines, impedance-matching elements, needed capacitors and resistors, etc., are fabricated on the same chip. In these applications the microstrip and the coplanar transmission lines are the ones most easily adopted for on-chip fabrication.

Formal solutions for describing the field distributions or the characteristics of planar transmission lines are very complex, even at low frequency ranges. For practical applications it is desirable to have simple formulas that will enable the lines characteristics to be evaluated with an accuracy of 1 percent or better. A number of investigators have proposed such formulas which are based on approximate analytic solutions, along with empirical adjustment of various numerical constants so as to achieve the desired accuracy.

In this work, by using the function approximation property of artificial neural networks (ANN) two different ANN is worked out for the analysis and synthesis of four common planar transmission lines. Both types of neural modeling are applied to the four widely used anisotropic and isotropic dielectric materials such as PTFE/microstrip glass, RT/Duroid 6006, alumina and gallium arsenide, results are shown to agree with the targets very well.

**Keywords:** Microstrip Lines, Coupled Microstrip Lines, Coplanar Waveguides, Shielded Coplanar Waveguides, Artificial Neural Networks

## 1. GİRİŞ

Bilim dünyası 1940'lı yıllarda yapay sinir ağları ile tanıştı. Bu alanda yapılan ilk çalışmalar beyin hücrelerinin işlevlerinin ve birbirleri ile haberleşme şekillerinin ortaya çıkarılmasını amaçlamaktaydı. O zamandan beri yapay sinir ağları gerek teorik gerekse pratik anlamda dikkate değer miktarda yol katetti. Bugün birçok hücrenin belli bir düzende bir araya getirilmesi ve uygun öğrenme algoritmaları ile sinir ağları kurulabilmekte ve bu ağlar çok karmaşık görevleri başarıyla yerine getirebilmektedir. Robot denetiminden ses tanıma uygulamalarına kadar birçok alanda yapay sinir ağlarına rastlanabilir. Bu sistemleri bu kadar ilginç kılan özelliklerden bazıları sistemin kendini oluşturan alt öğelerin hatalarını kompanze edebilmesi ve karışık eşleştirmeleri belli koşullar sağlandığı takdirde önceden tanımlanabilen bir hata sınır içerisinde gerçekleyebilmesidir.

Genel anlamda YSA, beynin bir işlevini yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir sistem olarak tanımlanabilir. YSA, yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekilde bağlanmasından oluşur ve genellikle katmanlar şeklinde düzenlenir. Hücre çıkışları, ağırlıklar üzerinden diğer hücrelere ya da kendisine giriş olarak bağlanabilir ve bağlantılarda gecikme birimi de kullanılabilir. Hücrelerin bağlantı şekillerine, öğrenme kurallarına ve aktivasyon fonksiyonlarına göre çeşitli YSA yapıları geliştirilmiştir.

Halen uygulanabilirliği, gelecekte uygulanabileceği hususunda ümit veren aktif çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda, yapay sinir ağlarının kullanım alanları ve uygulamaları kısaca biyoloji, iş dünyası, çevresel, finans, üretim, tıp ve askeri olarak özetlenebilir.

Yapay sinir ağları modelleri, biyolojik sinir ağlarının çalışma biçimlerinden esinlenerek ortaya çıkarılmıştır. Yapay sinir ağları, biyolojik olmayan yapı taşlarının düzgün bir tasarımla birbirlerine yoğun olarak bağlanmalarından oluşmaktadırlar. Sinir sisteminin modellenmesi için yapılan çalışmalar sonucu oluşturulan yapay sinir ağları, biyolojik sinir sisteminin üstünlüklerine de sahiptir. Bu üstünlükleri şu şekillerde özetleyebilmek mümkündür. Birinci üstünlük YSA'nın paralellik özelliğidir. YSA modelinde her eleman kendi kendinin işlemcisi olabilmektedir. Aynı katmanlar arasında zaman bağımlılığı yoktur ve eşzamanlı olarak çalışabilirler. Bu özelliği nedeniyle YSA, hız konusunda oldukça büyük üstünlük sağlamaktadır. İkinci üstünlüğü ise, YSA'nın öğrenebilme özelliğinin bulunmasıdır. İnsan sinir sisteminin, problemleri çözebilmek için öğrenme özelliği olduğu gibi, YSA'nın da bu özelliği mevcut bulunmaktadır. Üçüncü üstünlüğü ise, paralel çalışan YSA'nın karışık işlevler gerektirmemesi, basit işlemleri içermesidir. YSA'nın bir başka üstünlüğü de ayrı ayrı

elemanlarda meydana gelen hasarın, başarımda ciddi bir düşüşe yol açmamasıdır. Halbuki bilgisayarın herhangi bir işlem elemanını yerinden almak onu etkisiz bir makineye dönüştürmektedir. 3. bölümde YSA yapılarına ve özelliklerine detaylı olarak yer verilmiş ve çalışmada kullanılan modeller tanıtılmıştır.(Zhang, 2000)

Bu çalışmada yapay sinir ağının evrensel fonksiyon yaklaştırma özelliği kullanılarak dört ayrı düzlemsel iletim hattının analiz ve sentezi için iki ayrı yapay sinir ağı geliştirilmiştir. Düzlemsel iletim hatlarının alan dağılımları ve karakteristiklerini veren formal çözümler alçak frekans bölgelerinde dahi çok karmaşıktır. Bu nedenle pratik uygulamalar için en az 1% yada daha iyi bir doğrulukla hat karakteristiklerini veren basit formüller istenir. Gerçekten bir kısım araştırmacılar her bir iletim hattı tipi için analitik çözümlere dayandırılan ve çeşitli nümerik sabitlerinin ampirik ayarlanması ile arzu edilen doğruluğu veren formüller geliştirmişlerdir. Bu çalışmada çok yaygın kullanılan dört tip düzlemsel transmisyon hattı ele alınmıştır: (1) Mikroşerit Hatlar; (2) Kuplajlı Mikroşerit Hatlar; (3) Eş Düzlemli Dalga Kılavuzu; (4) Ekranlamalı Eş Düzlemli Dalga Kılavuzu. Bilindiği gibi bu tip düzlemsel transmisyon hatları mikrodalga teknolojisinde de prensipte alçak frekans elektronik teknolojisinde yaygın kullanılan baskılı devre teknikleri ile üretilirler. Baskılı devre teknikleri, düşük maliyetleri ve iyi mekanik toleransa sahip olmaları ile tanınırlar ve mikrodalga entegre devre (MIC) lerinin gelişimine olanak verirler. Bilindiği gibi entegre mikrodalga devrelerinde, aktif elemanlar(transistor,v.s.) ve bağlayıcı transmisyon hatları, empedans uydurma elemanları, kapasite ve dirençleri aynı bir kırımk içinde oluşturulurlar. Bu tip uygulamalarda özellikle yukarıda adı geçen dört tip düzlemsel hat, kırımk-devre üretimine kolaylıkla adapte olurlar ve bu tip devrelerinde tabaka kalınlığı ve hat genişlikleri genellikle hibrid devrelerine göre çok küçüktür. YSA analiz ve sentez modeli oluşturulan iletim hatları hakkında detaylı bilgi 2. bölümde yer almaktadır.

Analiz ve Sentez YSA kara-kutu modelinde kullanılan terminoloji aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- (1)  $T_p$  :Düzlemsel transmisyon hattının tipini veren serbest değişkendir ve 1,2,3,4 ayrık sayıları ile tanımlanır: Buna göre 1- Mikroşerit hat; 2- Eşdüzlemli dalga kılavuzu;  
3- Ekranlamalı eş düzlemli dalga kılavuzu; 4- Kuplajlı mikroşerit hat.
- (2)  $D$  :Geometrik boyut vektörüdür:

$$D = [W \ H_1 \ H_2 \ S \ T]^T$$

(3)  $\boldsymbol{\varepsilon}$  :Dielektrik materyalin elektriksel özellikleri de iki elemanlı bir vektördür:

$$\boldsymbol{\varepsilon} = [\varepsilon_x \ \varepsilon_y]^T$$

(4)  $f$  :Çalışma frekansı.

(5)  $Z_o$  :Hattın karakterisik empedans vektörüdür:

$$Z_o = [Z_{o,ev} \ Z_{o,odd}]^T$$

(6)  $\boldsymbol{\varepsilon}_{eff}$  :Hattın efektif dielektrik sabiti:

$$\boldsymbol{\varepsilon}_{eff} = [\varepsilon_{eff,ev} \ \varepsilon_{eff,odd}]^T$$

(7)  $\boldsymbol{\alpha}$  : Hattın zayıflatması:

$$\boldsymbol{\alpha} = [\alpha_{c,ev} \ \alpha_{c,odd} \ \alpha_{d,ev} \ \alpha_{d,odd} \ \alpha_{T,ev} \ \alpha_{T,odd}]^T$$

YSA analiz ve sentez kara-kutu modellerinin yapısı, problemin tanımı, ve problemin YSA yapısına uygulanması detaylarıyla 4. bölümde yer almaktadır.

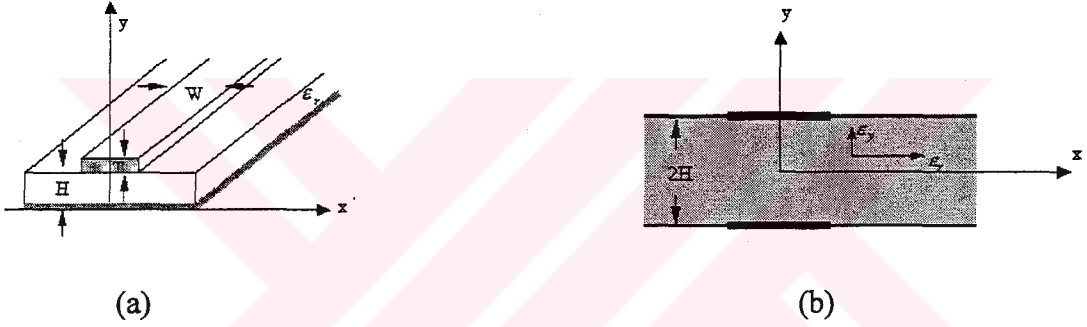
5. bölümde yer alan uygulamalardan da görülebileceği gibi RF/Mikrodalga Düzlemsel İletim Hattı Analiz ve Sentez YSA kara-kutu modeli, “transmisyon” ve “zayıflatıcı” bileşenlerinin bir YSA’da birleştirilmesi ile oluşturulabilir.



## 2. RF/MİKRODALGA DÜZLEMSEL İLETİM HATLARI

### 2.1 Düzlemsel İletim Hatları

Düzlemsel iletim hattı, iletken metal şeridin bütünüyle paralel düzlem içinde kaldığı iletim hattıdır. En çok kullanılan yapısı, bir veya daha fazla paralel metal şeridin iletken yer düzlemine bağlı taban maddesi üzerine yerleştirilmesi ile elde edilir. Düzlemsel iletim hatlarının en çok kullanılan türü Şekil 2.1 (a)'da gösterilen mikroşerit hattıdır. Mikroşerit hat yer düzlemine bağlı  $H$  kalınlığındaki taban maddesi üzerine  $W$  genişliğinde bir iletken şerit yerleştirilmesi ile oluşturulur. İmaj teorisi kullanılarak bu iletim hattının,  $2H$  kalınlığında taban üzerine birbirine zıt olarak yerleştirilmiş iki paralel iletken şerit içeren iletim hattı (Şekil 2.1 (b)) ile eşdeğer olduğu belirlenebilir.

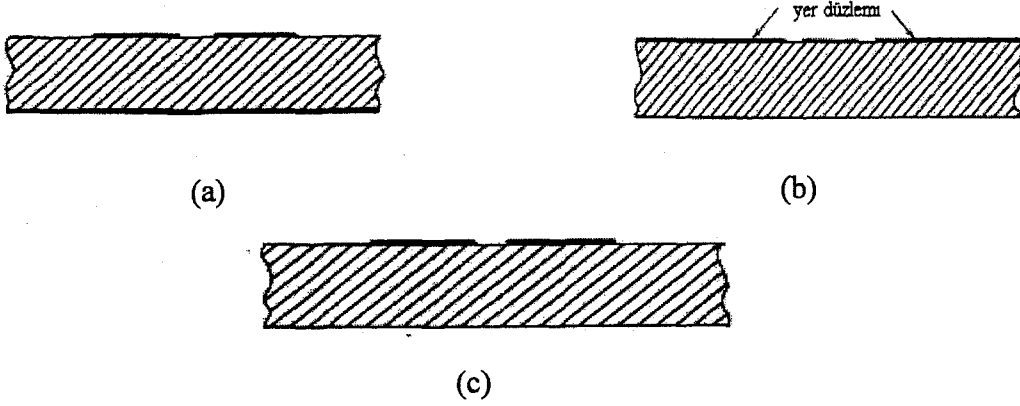


Şekil 2.1 (a) Bir mikroşerit hat geometrisi, (b) İmaj teorisine göre mikroşerit hattın paralel-şerit hat eşdeğeri.

Taban madde kalınlığının 0,25 ile 1 mm, şerit genişliğinin ise 0,1 ile 5 mm arasındaki değerleri, mikroşerit hat için tipik boyutlardır. Mikroşerit iletim hatları, oldukça iyi mekanik toleransa ve düşük maliyete sahip baskı devre teknikleri ile imal edilebilir.

Mikroşerit hatta ek olarak, farklı amaçlar için kullanılan pek çok düzlemsel iletim hattı yapısı mevcuttur. Bu iletim hatlarından bazıları Şekil 2.2 - 2.4'de gösterilmiştir. Şekil 2.2 (a)'da gösterilen kuplajlı mikroşerit hat birbirinden farklı iki yayılım modu sağlar. Çift yayılım modu, iki şerit üzerinde aynı akım ve gerilimin olmasını sağlarken, tek yayılım modu iki şerit üzerinde zıt gerilim ve akımın olmasını sağlar.

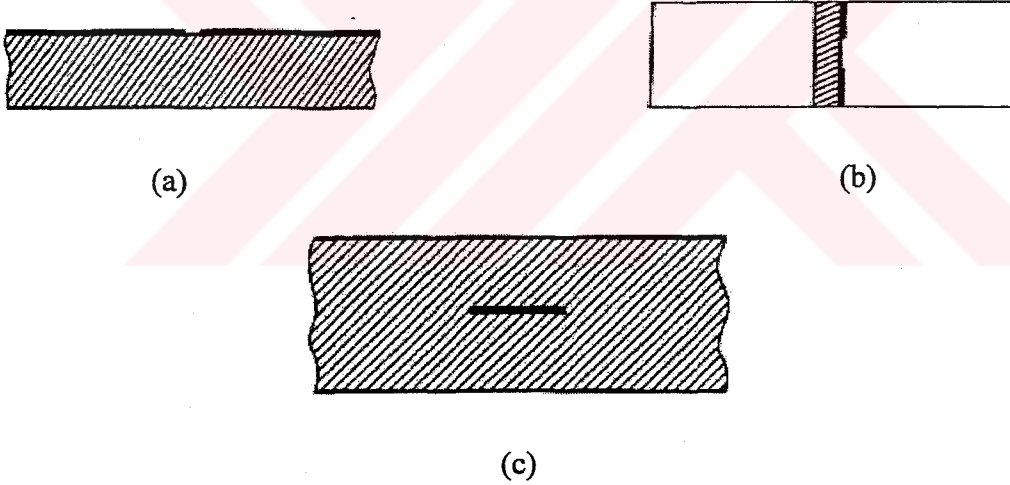




Şekil 2.2 (a) Kuplajlı mikroşerit hat, (b) Eş düzlemlili iletim hattı, (c) Eş düzlemlili şerit hat.



Şekil 2.3 Asılı ve ters asılı mikroşerit hat(Collins, 1992).



Şekil 2.4 (a) Yarık hat, (b) Ekranlanmış yarık hat, (c) Şerit hat(Collins, 1992).

Şekil 2.2 (b)'de gösterilen eş düzlemlili iletim hattı, taban maddesinin aynı tarafına yerleştirilmiş, iki yer düzlemi arasındaki tek bir şeritten oluşur. Eş düzlemlili iletim hattının, mikroşerit hatta göre avantajı, şönt bağlı elemanların yer düzlemi ile bağlantılarının taban maddesi ile aynı tarafı üzerinde yapılabilmesidir. Buna ek olarak, elemanların seri bağlanması mikroşerit hatlarındaki ile eş kolaylıktadır. Şekil 2.2 (c)' de gösterilen eş düzlemlili şerit hat, eş düzlemlili hat ile bütün iletken şeritlerinin aynı düzlemde bulunması açısından benzerlik gösterir. Bir yer düzlemine bağlı olmadığından dolayı hattaki dalga yayılımı çevrede bulunan ekranlama gibi iletkenlerden etkilenir. Bu sebepten eş düzlemlili iletim hattı kadar fazla tercih

edilmez. Uygulamalarda, mikrodalga devrelerinde ekranlama, radyasyonu azaltmak, devreler arasında oluşabilecek elektromagnetik kuplajı engellemek ve çevresel korumadan dolayı gereklidir. Şekil 2.3' de gösterilen asılı ve ters asılı mikroşerit hatlar yapısal özellikleri açısından mikroşerit hat ile benzerlik gösterir. Farkları asılı ve ters asılı mikroşerit hatların daha az taban maddesi içermesidir. Şekil 2.4 (a) bir yarık hat yapısını gösterir. Açık yarık hat, mikroşerit hat veya eş düzlemlili hat kadar geniş kullanıma sahip değildir. Tipik yarık hattın dikdörtgen iletim hattı içerisine yerleştirilmesi ile oluşan ekranlanmış yarık hat Şekil 2.4 (b)' de yer alır ve pek çok devre uygulamalarında kullanılabilir.

Sonuncu şekilde yer alan iletim hattı yapısı, şerit hattır ve yer düzlemi olarak kullanılan iki paralel tabaka arasına yerleştirilmiş şeritten oluşur. Şerit hatlar diğer düzlemsel iletim hatlarının yaygın kullanımından önce genelde mikrodalga filtrelerinde ve kuplörlerde kullanılırdı. Şerit hattın üretimi zordur fakat filtrelerin ve kuplörlerin özel uygulamalarında avantajları olduğu kesindir.

Düzlemsel iletim hat yapıları ve bağlı devre elemanlarının üretiminde kullanılan teknikler entegre devre üretimi ile uyumludur. Bu mikrodalga entegre devrelerinin (MIC devreleri) gelişimini kolaylaştırmıştır. Entegre mikrodalga devrelerinde aktif elemanlar ile bütün iletim hatları, empedans uydurma elemanları, gerekli kapasite ve dirençler ,vs. aynı kırmık üzerinde imal edilir. Bu uygulamalarda, mikroşerit ve eş düzlemlili iletim hatları kırmık teknolojisine göre daha rahat uygulanabilir. MIC devrelerinde taban maddesi kalınlığı ve hat genişliği genellikle hibrit devrelerinkine oranla çok daha küçüktür. Hibrit terimi transistör, kapasite, direnç gibi ayırık elemanların bir yere lehimlendiği entegre mikrodalga devrelerini tanımlamak için kullanılır.

Düzlemsel iletim hatlarında kullanılan taban maddesi düşük kayıplı olmalıdır. Dielektrik sabitinin büyük bir değere sahip olması daha kısa yayılım dalga boyuna sebep olur. Taban maddesinin mekanik kuvveti ve ısı iletimi iyi olmalıdır. Aktif elemanlar düzlemsel iletim hattı devresine monte edildiğinde, aktif elemanın oluşturduğu ısının bir kısmı taban maddesi üzerinden toprağa iletilir. Mikrodalga devrelerinde metal ısı azalmasını kullanmak, bu büyük metal yapıların elektromagnetik alanlarının istenmeyen bir biçimde etkilenmesi sebebi ile zordur. Sonuç olarak güç yükselteci devrelerinde iyi ısı iletkenliğine sahip madde gereklidir. Düşük frekans devrelerinde kullanılan taban maddeleri, mikrodalga iletim hatlarında kullanmak için çok kayıplıdır. Dielektrik sabiti ve taban maddesi kalınlığı madde üretiminde oldukça dikkat edilmesi gereken hususlardır. Aksi takdirde üretilen iletim hatları hat sabitinin ve karakteristik empedansın bu parametrelere bağlı olmasından dolayı istenilen sonucu

vermeyecektir.

Uygun kalınlık ve dielektrik sabiti filtre tasarımında ve boyutları öneme sahip empedans uydurma elemanlarında kısmen önemlidir. Tasarlanan mikrodalga yapısı imal edildikten sonra istenilen şartları sağlamak amacı ile dışarıdan eleman eklemek kolay değildir. Sıklıkla kullanılan taban maddelerinden politetraflueten (PTFE), 2,1 dielektrik sabiti değerine ve 1MHz'de 0,00002, mikrodalga frekanslarında 0,0005 tanjant kaybına sahiptir.

Mekanik gücünü arttırmak amacı ile, bu madde fiberglas örülü hasır ile veya cam mikro parçacıklar ile doldurulabilir. Bu işlem dielektrik sabitinin değerini 2,2 – 3 aralığına çeker. Fiberglas madde kullanımı dielektrik sabitinin anizotropik yapıya sahip olmasına sebep olur. Üretim işleminde fiberglas madde ile paralel sıralanır. Böylece dielektrik sabiti madde boyunca normal maddeye oranla %5-10 arasında artış gösterir. Dolgu maddesi olarak seramik toz kullanılırsa (örn: titanyumoksit) çok daha büyük dielektrik sabiti elde edilebilir.

Aluminyumoksit (alumina) ve boronnitrat gibi seramik maddeler ve safir gibi camsı maddelerde taban maddesi olarak kullanılır. Bu maddelere şekil vermek zordur. Isıl iletkenliği mükemmel derecede olan alumina en çok kullanılan taban maddesidir. Entegre ve mikrodalga devreleri için kullanılan yarı iletken maddeler ise germanyum, silikon ve galyum arsenittir. Bu maddeler yüksek dielektrik sabitlerine sahiptir.

Çizelge 2.1 ' de sıklıkla kullanılan maddelerin önemli özellikleri özetlenmiştir. Bu tabloda  $\epsilon_r$ , madde boyunca dielektrik sabiti,  $\epsilon_y$  ise maddeye dik dielektrik sabitidir.

Maddeler genelde 0,5-1 veya 2 oz ağırlığında bakır ile kaplanır. 1oz bakırın kullanımı 0,0014 in kalınlığında tabaka oluşturur. Altın kaplama bazı durumlarda metalin oksitlenmesini engellemek amacı ile kullanılır. Entegre mikrodalga imalatında tipik kalınlık birkaç mikrondur. (Collins, 1992 )

Çizelge 2.1 Madde özellikleri

| Madde                | $\epsilon_r$ | $\epsilon_y$ | tanjant kaybı | ısı iletkenlik | işlenebilme |
|----------------------|--------------|--------------|---------------|----------------|-------------|
| PTFE/woven cam       | 2.84         | 2.45         | 0.001-0.002   | düşük          | iyi         |
| PTFE/mikrofiberglass | 2.26         | 2.2          | 0.0005-0.001  | düşük          | iyi         |
| CuFlon               | 2.1          | 2.1          | 0.0004        | düşük          | iyi         |
| RT/Duroid 5880       | 2.26         | 2.2          | 0.001         | düşük          | iyi         |
| RT/Duroid 6006       | 6.36         | 6            |               | orta           | iyi         |
| Epsilam 10           | 13           | 10.3         |               | orta           | iyi         |
| Boron nitrit         | 5.12         | 3.4          |               | iyi            | zayıf       |
| Silikon              | 11.7-12.9    | 11.7-12.9    | 0.001-0.003   | orta           | zayıf       |
| Germanyum            | 16           | 16           |               | orta           | zayıf       |
| Galyum arsenit       | 12.9         | 12.9         | 0.0005-0.001  | orta           | zayıf       |
| Alumina              | 9.6-10.1     | 9.6-10.1     | 0.005-0.002   | iyi            | zayıf       |
| Safir                | 9.4          | 11.6         | 0.0002        | iyi            | zayıf       |
| Berilyum oksit       | 6.7          | 6.7          | 0.001-0.002   | iyi            | zayıf       |

## 2.2 Mikroşerit İletim Hattı

Mikroşerit iletim hatlarında taban maddesi iletken şeridi tamamıyla sarmaz. Bu sebepten dolayı yayılan temel mod saf TEM modu değildir. Düşük frekanslarda, uygulamadaki mikroşerit hatlarında, birkaç GHz'de yayılan mod kuvazi-TEM modudur. GHz veya daha yüksek frekans aralığında, mikroşerit iletim hattı dağılmış kapasitesi ve indüktansı cinsinden karakterize edilebilir. Düzlemsel iletim hatlarının karakteristiğini veya alan dağılımını tanımlayan basit analitik ifadeler mevcut değildir. Formal çözümler iletim hattının karakteristiğini tanımlamak amacı ile kullanılabilir. Alçak frekans karakteristiğini elde etmek amacı ile statik alan analizi de kullanılır.

Düzlemsel iletim hatlarının analizi, yapıdaki elektrik ve magnetik alanların çözümünü temel alır. Skaler ve vektörel potansiyel fonksiyonlarının çözümlerini kullanarak elektromagnetik alanları bulmak buna alternatif bir yaklaşım olabilir. Yayılım sabiti ve karakteristik empedans potansiyellerden kolayca bulunabilir. Analizlerde skaler ve vektörel potansiyellerinin kullanımının avantajı bu yaklaşımın bilinen alçak frekans kuvazi-statik çözümlerle bağlantılı olmasıdır.

Mikroşerit iletim hattının skaler ve vektörel potansiyelleri kullanılarak elde edilmiş eşitliklerden, alçak frekanslarda kuvazi-TEM modu yayılımını açıklayan basite indirgenmiş denklemler elde edilebilir. Alçak frekans terimi göreceli bir terimdir ve mikroşerit hattın kuvazi-TEM modunda yayılımını belirleyen dalga boyu ile hat boyutlarının oranıdır. MIC devrelerinde hat genişliği 100  $\mu\text{m}$  olduğunda alçak frekans bandı 20-30 GHz' e kadar genişleyebilir.

2W genişliğinde şeride ve H yüksekliğinde taban maddesine sahip mikroşeridin kapasitansı Ek.I'de verilmiştir. Pratik uygulamalarda, mikroşerit hattın kapasitansı hesaplanırken tam çözümleri ile yakın sonuçlar veren basite indirgenmiş çözümleri kullanılabilir. Bu çözümler, birçok araştırmacı tarafından, analitik çözümleri temel alınarak ve yeterli sonucu elde etmek için değişik nümerik sabitlerinde eklenmesi ile elde edilmiştir. Bu formüller (1)-(9)' da yer alır.

W genişliğinde şeride ve yer düzlemi üzerinde H kalınlığında hava dielektriğine sahip mikroşeridin kapasitansı:

$$Ca = \frac{2\pi\epsilon_o}{\ln\left(\frac{8H}{W} + \frac{W}{4H}\right)}, W/H \leq 1 \quad (2.1.a)$$

$$Ca = \epsilon_o \left[ \frac{W}{H} + 1.393 + 0.667 \ln\left(\frac{W}{H} + 1.444\right) \right], W/H > 1 \quad (2.1.b)$$

Şerit kalınlığı, T'nin etkisi genellikle ihmal edilir. Gerekli olduğu durumlarda, şerit kalınlığı etkisi W'nun yerine, efektif genişlik,  $W_e$  konulması ile elde edilir.

$$We = W + 0.398T \left( 1 + \ln \frac{4\pi W}{T} \right), W/H \leq \frac{1}{2\pi} \quad (2.2.a)$$

$$= W + 0.398T \left( 1 + \ln \frac{2\pi}{T} \right), W/H > \frac{1}{2\pi} \quad (2.2.b)$$

Yukarıdaki ifadeler izotropik veya anizotropik taban maddesine sahip mikroşerit hattın kapasitansını hesaplamak için kullanılır. Hattın efektif dielektrik sabiti  $\epsilon_{eff}$ , (2.3) numaralı denklem ile verilebilir. Karakteristik empedans ise (2.4)' de yer almaktadır.

Efektif dielektrik sabitini elde etmek amacı ile elde edilen formüller yapılan çalışmalar

sonucunda basite indirgenmiştir.(2.3)'de tam çözümlere %1'den daha küçük hata ile yaklaşan çözümü yer almaktadır.

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left( 1 + \frac{12H}{W} \right)^{\frac{1}{2}} + F(\varepsilon_r, H) - 0.217(\varepsilon_r - 1) \frac{T}{\sqrt{WH}} \quad (2.3)$$

$$Z_c = \frac{\sqrt{\varepsilon_{eff}} \sqrt{\mu_o \varepsilon_o}}{C} = \sqrt{\frac{\mu_o \varepsilon_o}{\varepsilon_{eff}}} \frac{1}{C_a} \quad (2.4)$$

Burada;

$$F(\varepsilon_r, H) = 0.02(\varepsilon_r - 1) \left( 1 - \frac{W}{H} \right)^2, \quad \frac{W}{H} \leq 1 \quad (2.5.a)$$

$$0, \quad \frac{W}{H} > 1 \quad (2.5.b)$$

(2.3) no' lu denklemdeki son terim şerit kalınlığı T' nin etkisini gösterir. Anizotropik yapılara bu çözümler uygulanırsa (2.6)-(2.9) denklemleri elde edilebilir. Burada  $H_e$ , anizotropik yapı göz önünde bulundurulduğunda H' nin yerini alan efektif kalınlıktır. (2.7) no'lu denklemde yer alan  $\varepsilon_g$  ise  $\varepsilon_r$  yerine kullanılır.

$$H_e = \sqrt{\frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_y}} H, \quad \varepsilon_g = \sqrt{\varepsilon_r \varepsilon_y} \quad (2.6), (2.7)$$

$$\frac{C(\varepsilon_g, H_e)}{Ca(H_e)} = \frac{\varepsilon_g + 1}{2} + \frac{\varepsilon_g - 1}{2} \left( 1 + 12 \frac{H_e}{W} \right)^{\frac{1}{2}} + F(\varepsilon_g, H_e) \quad (2.8), (2.9)$$

$$\varepsilon_{eff} = \left[ \frac{\varepsilon_g + 1}{2} + \frac{\varepsilon_g - 1}{2} \left( 1 + 12 \frac{H_e}{W} \right)^{\frac{1}{2}} + F(\varepsilon_g, H_e) \right] \frac{C(\varepsilon_g, H_e)}{Ca(H_e)}$$

Farklı W/H değerleri için, efektif dielektrik sabitinin tam analiz formülleri ile basite indirgenmiş formüllerinden elde edilen sonuçları Çizelge 2.2'de karşılaştırmak amacı ile verilmiştir. (Edwards, 1981)

Çizelge 2.2 Farklı formüller kullanılarak efektif dielektrik sabitinin elde edilen değerleri

|       | İntegral<br>eşitliği | Denklem-9 | İntegral<br>eşitliği                  | Denklem-9 |
|-------|----------------------|-----------|---------------------------------------|-----------|
| $W/H$ | $\epsilon_r = 2$     |           | $\epsilon_r = 5.12, \epsilon_y = 3.4$ |           |
| 0.25  | 1.588                | 1.583     | 2.671                                 | 2.69      |
| 0.5   | 1.61                 | 1.605     | 2.694                                 | 2.721     |
| 1     | 1.645                | 1.639     | 2.731                                 | 2.731     |
| 2     | 1.696                | 1.689     | 2.797                                 | 2.794     |
| 4     | 1.762                | 1.75      | 2.906                                 | 2.890     |
| 6     | 1.801                | 1.789     | 2.979                                 | 2.963     |
|       | $\epsilon_r = 6$     |           | $\epsilon_r = 10$                     |           |
| 0.25  | 3.896                | 3.913     | 6.195                                 | 6.244     |
| 0.5   | 4.003                | 4.025     | 6.387                                 | 6.445     |
| 1     | 4.173                | 4.193     | 6.69                                  | 6.748     |
| 2     | 4.428                | 4.444     | 7.15                                  | 7.201     |
| 4     | 4.763                | 4.75      | 7.757                                 | 7.750     |
| 6     | 4.966                | 4.943     | 8.127                                 | 8.098     |

### 2.2.1 Mikroşerit Hat Zayıflatması

Dielektrik kayıpları ve iletken kayıpları zayıflatmayı doğurur. Mikroşerit hattın dağılmış devre modeli, iletkenin sonlu iletkenliğinden dolayı oluşan zayıflatma seri direnç  $R$  ile, dielektriksel kayıptan dolayı oluşan zayıflatma şönt kondüktans  $G$  ile modellenerek elde edilebilir. Zayıflatma sabitleri aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\alpha_c = \frac{R}{2Z_c} \quad , \quad \alpha_d = \frac{G}{2Y_c} \quad (2.10), (2.11)$$

ve toplam zayıflama  $\alpha = \alpha_c + \alpha_d$  eşitliği ile ifade edilir.

Desibel cinsinden zayıflatma, toplam zayıflatmanın 8.686 ile çarpılması ile elde edilir.

#### 2.2.1.1 Dielektrik kayıpları dolayısı ile oluşan zayıflatma

Dielektrik kayıpları, dielektrik sabiti  $\epsilon$  kompleks olduğunda oluşur(Denklem 2.13). Tanjant kaybı;

$$\tan \delta_l = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \approx \delta_l \quad (2.12)$$



$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (2.13)$$

Dielektrik kaybından dolayı oluşan zayıflatma sabiti;

$$\alpha_d = \frac{GZc}{2} = \frac{\pi}{\lambda_o} \frac{\varepsilon_g}{\sqrt{\varepsilon_{eff}}} \frac{\varepsilon_{eff} - 1}{\varepsilon_g - 1} \tan \delta_l \quad (2.14)$$

olarak bulunur. (2.14) no'lu denklem elde edilirken  $w\sqrt{\mu_o\varepsilon_o} = k_o = 2\pi/\lambda_o$  kullanılır. Örnek olarak; eğer  $\varepsilon_r = 9.7, \varepsilon_{eff} = 6.55$  ve  $\tan \delta_l = 2.10^{-4}$  ise  $\alpha_d = 1.52.10^{-3} \text{ Np/dalgaboyu}$  bulunur.  $\alpha_d$ 'nin desibel cinsinden değeri neper cinsinden değerine oranla çok küçük bir değer olan 0.013 dB/dalgaboyudur. İletken kayıplarından dolayı oluşacak zayıflatma çok daha büyük olacaktır.

### 2.2.1.2 İletkenlik zayıflatması

Süreklilik denkleminde de görüleceği gibi iletken boyunca akım yoğunluğu  $J_z$  ile, yük yoğunluğu aynı şekilde değişim gösterir. Bu sebepten  $W$  genişliğindeki iletken şeritte akım yoğunluğu yük yoğunluğuna benzer davranacaktır. Sonsuz incelikte şeridin kenarında, akım yoğunluğu kenardan uzaklığın karekökü ile ters orantılı olarak artacak ve kenarda sonsuz olacaktır. Yoğunluk, toplam akımın sonlu değerini vermesi amacı ile entegre edilebilir fakat güç kaybı hesaplamaları akım yoğunluğunun karesini entegre etmeyi gerektirdiğine göre, sonsuz ince şeritte akım yoğunluğunu bulmak için sonsuz güç kaybını elde ederiz. Pratikte iletkenler sonlu kalınlığa sahiptir ve güç kaybı da sonludur. Sonuç olarak, iletkenlerin sonlu kalınlığını göz önünde bulundurmak gereklidir. Ayrıca, toplam akımın mikroşeridin iki yüzünü böldüğü de dikkate alınmalıdır.

Akım dağılımı, akım bölünmesi ve güç kaybı konform dönüşüm teknikleri kullanılarak hesaplanabilir. Kullanımı basit formüller elde edebilmek amacı ile bazı yaklaşımlar yapmak gereklidir. Mikroşerit hat analizleri Ek.I'de yer almaktadır.(Hammerstad, 1975)

$R_1$ , mikroşeridin dağılmış devre parametreleri cinsinden normalize seri direnci olup aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\frac{R_1 W}{R_m} = LR \left( \frac{1}{\pi} + \frac{1}{\pi^2} \ln \frac{4\pi W}{T} \right) \quad (2.15)$$

Kayıp oranı  $LR$ ;

$$LR = 1, \quad \frac{W}{H} \leq 0.5 \quad (2.16)$$

$$LR = 0.94 + 0.132 \frac{W}{H} - 0.0062 \left( \frac{W}{H} \right)^2, \quad 0.5 < \frac{W}{H} \leq 10$$

Kayıp oranı, akımın eşit olmayan dağılımına sebep olan direnç artışını verir. Dağılmış devre parametreleri cinsinden yer düzleminin normalize seri direnci,  $R_2$ ;

$$W \frac{R_2}{R_m} = \frac{W/H}{W/H + 5.8 + 0.03 W/H}, \quad 0.1 \leq \frac{W}{H} \leq 10 \quad (2.17)$$

Denklem (2.17)'de  $R_m$  deri etkisi olup, (2.18) no'lu denklem ile verilir.

$$R_m = (\omega \mu / \sigma)^{\frac{1}{2}} \quad (2.18)$$

Toplam seri direnç  $R_1 + R_2$  'dır. İletken kaybı sebebi ile oluşan zayıflatma;

$$\alpha_c = \frac{R_1 + R_2}{2Z_c} \quad (2.19)$$

Toplam zayıflatma;

$$\alpha = \alpha_d + \alpha_c \quad (2.20)$$

Kuvazi – TEM modunda magnetik alan ve buna bağlı olan iletken kayıpları, taban maddesine bağlı değildir.

### 2.2.2 Mikroşerit hattın yüksek frekans davranışı

Kuvazi-TEM modunu tanımlayan eşitlikler, 1 mm kalınlığındaki taban maddesi ve 2 GHz'den 4GHz'e kadar olan frekanslarda kabul edilebilir doğrulukla kullanılır. 0.5 mm kalınlığında taban maddesi için, üst frekans limiti 4-8 GHz'e çıkacaktır. Bu limitler aşıldığında efektif dielektrik sabitinin frekans dispersiyonu ve karakteristik empedansın frekans ile değişimini göz önünde bulundurmak gereklidir. Yüksek frekanslarda, elektrik alan mikroşerit ile yer düzlemi arasında sınırlandırılır. Bu bölgede alanın yoğun konsantrasyonu, efektif dielektrik sabitinde ve zayıflatmada artmaya sebep olur.

Deri etkisi direnci  $R_m$ 'in artması ve akımın büyük bir çoğunluğunun mikroşeridin iç yüzü üzerinde akması sebebi ile iletken kaybı da artış gösterir. Sonuçların yer aldığı 5. bölümde

sıklıkla kullanılan taban maddelerinden RT/Duroid 6006, PTFE/ microfiber glass, Alumina ve Gallium-arsenide için dispersif özellikler yer almaktadır.

Mikroşerit hatların bilgisayar destekli modellenmesinde(CAD), efektif dielektrik sabitini bulmak amacı ile basit formüllere sahip olmak önemlidir. Geliştirilmiş pek çok formülasyon arasından doğruluğu çok geniş bir banda sahip formülasyonlar aşağıda yer almaktadır.

$$\varepsilon_{eff}(f) = \varepsilon_r - \frac{\varepsilon_r - \varepsilon_e(0)}{1 + \left(\frac{f}{f_a}\right)^m} \quad (2.21)$$

$$Z_o(f) = Z_o \left( \frac{\varepsilon_e(0)}{\varepsilon_{eff}(f)} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{\varepsilon_{eff}(f) - 1}{\varepsilon_e(0) - 1} \quad (2.22)$$

$\varepsilon_{eff}(f)$ ; f frekansındaki bağıl efektif dielektrik sabiti,

$\varepsilon_{eff}(0)$ ; 0 frekansındaki bağıl efektif dielektrik sabiti,

$Z_o(f)$ ; f frekansındaki karakteristik empedans,

$Z_o(0)$ ; 0 frekansındaki karakteristik empedans.

Burada;

$$f_a = \frac{f_b}{0.75 + (0.75 - 0.332\varepsilon_r^{-1.73})W/H}$$

$$f_b = \frac{47.746}{H\sqrt{\varepsilon_r - \varepsilon_{eff}(0)}} \tan^{-1} \varepsilon_r \sqrt{\frac{\varepsilon_{eff}(0) - 1}{\varepsilon_r - \varepsilon_{eff}(0)}}$$

$$m = m_o m_c \leq 2.32$$

$$m_o = 1 + \frac{1}{1 + \sqrt{W/H}} + 0.32(1 + \sqrt{W/H})^{-3}$$

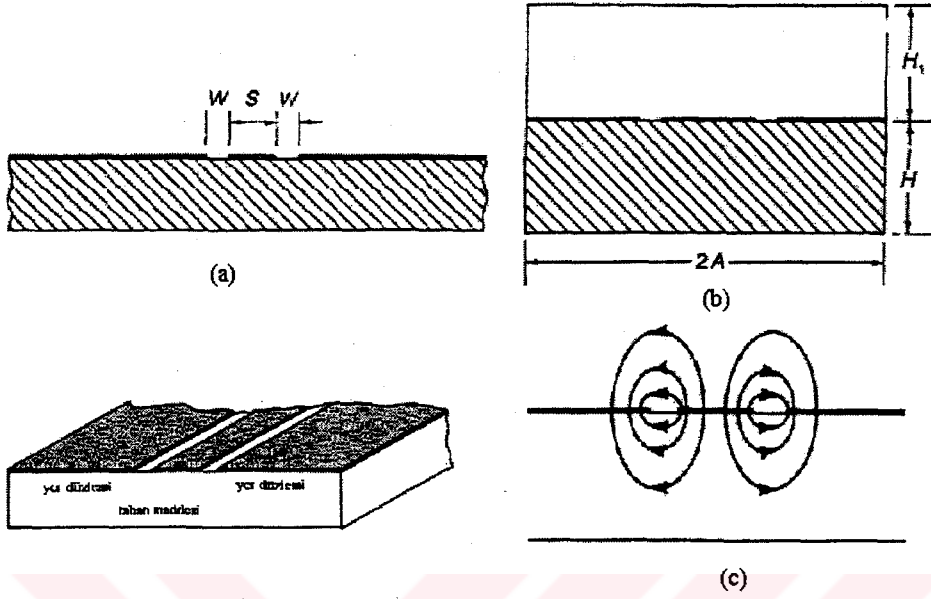
$$m_c = 1 + \frac{1.4}{1 + W/H} (0.15 - 0.235e^{-0.45f/f_a})$$

$$W/H \leq 0.7$$

$$= 1$$

$$W/H > 0.7$$

### 2.3 Eş Düzlemli Dalga Kılavuzu



Şekil 2.5 (a) Temel Eş düzlemli dalga kılavuzu, (b) Ekranlanmış Eş düzlemli dalga kılavuzu, (c) elektrik alan dağılımı.

Şekil 2.5 (a)'da şerit genişliği  $S$  ve şerit–yer düzlemi boşluğu  $W$  olan temel eş düzlemli dalga kılavuzu, (b)'de ekranlanmış eş düzlemli dalga kılavuzu gösterilmiştir. Eş düzlemli dalga kılavuzunun mikroşerit hata oranla en önemli avantajı, iletken şeritteki şönt aktif ve pasif devre elemanları ile yer düzleminin taban maddesinin aynı tarafında olmasıdır. Mikroşerit hatta, yer düzlemi ile bağlantı alumina gibi seramik maddeler için oldukça zor olan taban maddesi içinden delik delerek olur. Şekil 2.5 (c) eş düzlemli dalga kılavuzunun elektrik alan dağılımını gösterir.

Eş düzlemli dalga kılavuzunun alçak frekanslardaki karakteristiği konform dönüşüm tekniği ile belirlenebilir. Ek. I'de eş düzlemli dalga kılavuzu için çözüm yer almaktadır. İdeal durumda, yer düzlemi, yarık genişliği  $W$ ' ya oranla çok geniş ise elektrik alan eş düzlemli dalga kılavuzunun hava için dağılımı ile aynı dağılımı gösterir. Hattın dağılmış kapasitansı, yarısı hava doldurulmuş hattın kapasitansı ile tamamı dielektrik ile çevrelenmiş hattın kapasitansının toplamıdır.

$$C = 2\epsilon_o \frac{K}{K'} + 2\epsilon_r \epsilon_o \frac{K}{K'} \quad (2.23)$$

Burada  $K(k)$  ve  $K' = K(k')$  birinci türden tam eliptik entegrallerdir.  $k$  modülü formül (2.24) ile ifade edilir.

$$k = \frac{1}{1/k} = \frac{S/2}{W + S/2} = \frac{S}{S + 2W} \quad (2.24)$$

Eş düzlemlı dalga kılavuzunun efektif dielektrik sabiti;

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} \quad (2.25)$$

Sonuç olarak, karakteristik empedans aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir.

$$Z_c = \frac{Z_o K'}{4\sqrt{\epsilon_e} K} \quad (2.26)$$

Taban maddesi hava-dielektrik arayüzüne dik  $\epsilon_y$  ve iletkenle paralel  $\epsilon_r$  dielektriğine sahip ise,  $\epsilon_r, \epsilon_g = \sqrt{\epsilon_r \epsilon_y}$  ile yer değiştirir.

Çoğu uygulamada, mikrodalga devresinin ekranlanması önemlidir. Eğer ekranlama boyutları büyük ise, ekranlamanın hat karakteristiği üzerinde önemli bir etkisi olmayacaktır. Tektaş mikrodalga devrelerinde, taban maddesinin çok ince olmasından dolayı taban maddesinin üzerinde başka bir yer düzlemi kullanmak devrenin mekanik uyumu ve daha iyi ısı yalıtım sağlaması açısından önemlidir. Bugüne kadar pek çok ekranlama tasarlanmıştır. Burada yer alan ekranlanmış eş düzlemlı dalga kılavuzunda, konform dönüşüm tekniğini basite indirgeyebilmek amacı ile yarık kısımlardaki hava dielektriği yerine magnetik duvarların var olduğu kabul edilmiştir. Bu varsayım üst ve alt ekranlamaların iletim hattından eşit uzaklığa yerleştirildiği durumda, yani  $H = H_1$  durumunda geçerlidir. İletim hatlarının çoğu uygulamasındaki karşılaştırmalarına göre bu varsayım dikkate alınmayacak kadar küçük hata yaratmaktadır. Bu varsayımın avantajı, hava ve dielektrik bölgelerini deouple ederek sadece hava ve dielektrik ile doldurulmuş bölgenin kapasitansını bulmayı yeterli kılar.

Ekranlamalı eş düzlemlı dalga kılavuzunun efektif dielektrik sabiti:

$$\epsilon_e = 1 + q(\epsilon_r - 1) \quad (2.27)$$

Burada  $q$  dolgu faktörü olup aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$q = \frac{K(k_1)/K(k_1')}{K(k_2)/K(k_2') + K(k_1)/K(k_1')} \quad (2.28)$$

$K$ , birinci türden tam eliptik integral olup, tamlayan modülleri  $k_1'$  ve  $k_2'$  sırası ile

$\sqrt{1-k_1^2}$  ve  $\sqrt{1-k_2^2}$  olarak verilebilir.

$$k_1 = \frac{\tanh(\pi S/4H)}{\tanh[\pi(S+2W)/4H]} \quad (2.29)$$

$$k_2 = \frac{\tanh(\pi S/4H_1)}{\tanh[\pi(S+2W)/4H_1]} \quad (2.30)$$

Karakteristik empedans:

$$Z_c = \frac{Z_o}{2\sqrt{\epsilon_e} [K(k_1)/K(k_1') + K(k_2)/K(k_2')]} \quad (2.31)$$

$K/K'$  oranı Ek .I kullanılarak kolayca hesaplanabilir.

Taban maddesi anizotropik yapıya sahip ise,  $\epsilon_r$  yerine  $\epsilon_g = \sqrt{\epsilon_r \epsilon_y}$  yerleştirilir ve madde

kalınlığı  $H$  yerine efektif madde kalınlığı  $H_e = \sqrt{\frac{\epsilon_r}{\epsilon_y}} H$  gelir. (Collis, 1992)

### 2.3.1 Eş Düzlemli Dalga Kılavuzunda Zayıflatma

Eş düzlemli dalga kılavuzunda dielektrik kaybından dolayı oluşan zayıflatma, mikroşerit hatta olduğu gibi denklem (2.14) ile verilebilir. Dolgu faktörü,  $q$  kullanılarak aşağıdaki formül elde edilir. Bu formül,  $q$  kullanıldığı sürece ekranlanmış ve ekranlanmamış bütün yapılar için kullanılabilir.

$$\alpha_d = \frac{\pi}{\lambda_o} \frac{\epsilon_r'}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} q \cdot \tan \delta_l \quad (2.32)$$

Merkezdeki iletken birim uzunlukta seri dirence sahiptir.

$$R_1 = \frac{R_m}{4S(1-k^2)K^2(k)} \left[ \pi + \ln \frac{4\pi S}{T} - k \ln \frac{1+k}{1-k} \right] \quad (2.33)$$

Devre parametreleri cinsinden yer düzleminin seri direnci:

$$R_2 = \frac{kR_m}{4S(1-k^2)K^2(k)} \left[ \pi + \ln \frac{4\pi(S+2W)}{T} - \frac{1}{k} \ln \frac{1+k}{1-k} \right] \quad (2.34)$$

burada  $k = \frac{1}{1/k} = \frac{S/2}{W+S/2} = \frac{S}{S+2W}$  olup iletken kaybı:

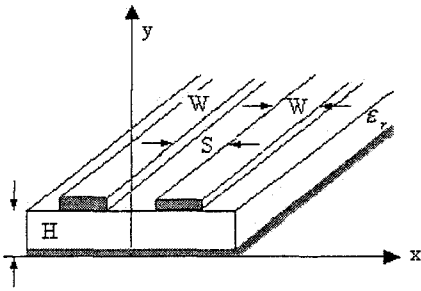
$$\alpha_c = \frac{R_1 + R_2}{2Z_c} \quad (2.35)$$

### 2.3.2 Eş Düzlemli Dalga Kılavuzunun Yüksek Frekans Davranışı

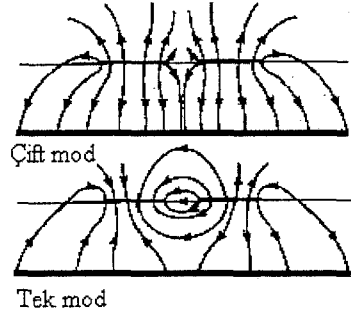
Eş düzlemli dalga kılavuzlarının dispersif özellikleri mikroşerit hatları ile benzerlik gösterir. Efektif dielektrik sabitini ve karakteristik empedansı hesaplamak için mevcut çalışmalar mikroşerit hatlarına kıyasla daha azdır. Eş düzlemli dalga kılavuzu, iki kuplajlı yarık hat gibi düşünülebilir ve bu görüş sonucunda kuvazi-TEM tipinde iki yayılım modu olacağı aşikardır. Çoğu mikrodalga entegre devrelerinde, hat boyutları dalga boyuna oranla o kadar küçüktür ki 50GHz'de dahi kuvazi-TEM formülasyonları kullanılabilir.

### 2.4 Kuplajlı Mikroşerit İletim Hattı

Kuplajlı mikroşerit iletim hattı,  $W$  genişliğinde iki iletken şeridin yer düzlemi üzerindeki dielektrik taban maddesi üzerine yan yana yerleştirilmesi ile oluşur. (Şekil 2.6)



(a)



(b)

Şekil 2.6 (a) Kuplajlı mikroşerit iletim hattı, (b) Tek ve çift mod için elektrik alan dağılımları.

Kuplajlı mikroşerit iletim hattında, üç iletkenli bir yapıya sahip olmasından dolayı, iki temel kuvazi-TEM yayılım modu vardır. Çift mod, şeritlerin eşit  $V$  potansiyeline ve akıma sahip oldukları durumdur. Tek mod, şeritlerin zıt  $V$  potansiyeline,  $-V$  ve  $V$ , sahip oldukları



$C_{ga}$  ve  $C_{gd}$  sırası ile, Ek.I'de yer alan konform dönüşüm tekniği kullanılarak aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$C_{ga} = \epsilon_o \frac{K(k')}{K(k)}; k = \frac{S/H}{S/H + 2W/H} \quad (2.41)$$

$$C_{gd} = \frac{\epsilon_o \epsilon_r}{\pi} \ln[\coth(\pi S/4H)] + 0.65 C_f \left[ \frac{0.02}{S/H} \sqrt{\alpha \epsilon_r} + 1 - \epsilon_r^{-2} \right] \quad (2.42)$$

Tek ve çift modda karakteristik empedans ve efektif dielektrik sabitleri sırası ile (2.43) ve (2.44) ile verilebilir. Burada  $a$ , dielektrik olarak hava seçildiğini,  $i$  tek ve çift modu ifade eder.

$$Z_c^i = \left( c \sqrt{C_i C_i^a} \right)^{-1} \quad (2.43)$$

$$\epsilon_{eff}^i = \frac{C_i^a}{C_i} \quad (2.44)$$

#### 2.4.1 Kuplajlı Mikroşerit Hat Zayıflatması

Kuplajlı mikroşerit hatlarda, mikroşerit hatlarda olduğu gibi iki temel zayıflatma sebebi vardır: dielektriksel zayıflatma ve iletken zayıflatması. İletken zayıflatması,  $\alpha_{co}$  (dB/birim uzunluk), (2.45) numaralı formül ile verilebilir. Bu ifadede yer alan  $C_{ai}(t)$ , hava dielektriğine sahip hat kapasitansını,  $R_s$ , deri etkisini,  $i$  indisi, tek ve çift mod için kullanılabileceğini ifade eder.

$$\alpha_c^i = \frac{8.686 R_s}{240 \pi Z_{oi}} \frac{2}{H} \frac{1}{c(C_i^a)^2} \left[ \frac{\partial C_i^a}{\partial (W/H)} \left( 1 + 2 \frac{W}{2H} \right) - \frac{\partial C_i^a}{\partial (S/H)} \left( 1 - 2 \frac{S}{2H} \right) + \frac{\partial C_i^a}{\partial (T/H)} \left( 1 + 2 \frac{T}{2H} \right) \right] \quad (2.45)$$

Tek mod zayıflatması,  $\alpha_{co}$ , daima çift mod zayıflatmasından büyüktür. Dielektrik zayıflatması,  $\alpha_{di}$  (dB/birim uzunluk), büyük çoğunlukla iletken zayıflatmasından küçüktür ve aşağıdaki gibi verilebilir.

$$\alpha_d^i = 27.3 \frac{\epsilon_r}{\sqrt{\epsilon_{eff}^i}} \frac{\epsilon_{eff}^i - 1}{\epsilon_{r-1}} \frac{\tan \delta}{\lambda_o} \quad (2.46)$$

Burada  $\tan \delta$  dielektrik maddenin tanjant kaybı,  $\lambda_o$  ise serbest uzay dalga boyudur. (Bahl, 1988)

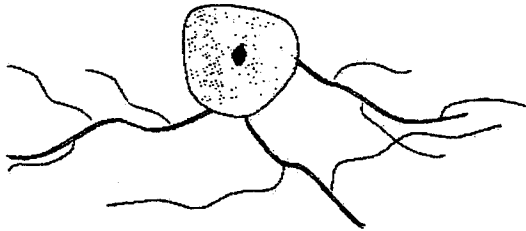
### 3. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

Bilim dünyası 1940'lı yıllarda yapay sinir ağları ile tanıştı. Bu alanda yapılan ilk çalışmalar beyin hücrelerinin işlevlerinin ve birbirleri ile haberleşme şekillerinin ortaya çıkarılmasını amaçlamaktaydı. O zamandan beri yapay sinir ağları gerek teorik gerekse pratik anlamda dikkate değer miktarda yol katetti. Bugün birçok hücrenin belli bir düzende bir araya getirilmesi ve uygun öğrenme algoritmaları ile sinir ağları kurulabilmekte ve bu ağlar çok karmaşık görevleri başarıyla yerine getirebilmektedir. Robot denetiminden ses tanıma uygulamalarına kadar birçok alanda yapay sinir ağlarına rastlanabilir. Bu sistemleri bu kadar ilginç kılan özelliklerden bazıları; sistemin, kendini oluşturan alt öğelerin hatalarını kompanze edebilmesi ve karışık eşleştirmeleri belli koşullar sağlandığı takdirde önceden tanımlanabilen bir hata sınırı içerisinde gerçekleyebilmesidir.

#### 3.1 Doğal Sinir Hücresi ve Sinir Ağları

İnsan beynini oluşturan sinir hücreleri ve bu hücrelerin oluşturduğu oldukça kompleks yapılar olan ağlar gerek çalışma prensipleri, gerekse yapılarından dolayı bilim adamlarının her zaman ilgisini çekmiştir.

Şekil 3.1'de görülen sinir hücresi insan beynini oluşturan milyarlarca hücreden yalnızca biridir. Bu hücreler sinir ağlarının birim elemanıdır. Üstlenecekleri işlevin özelliğine göre değişen sayılarda bir araya gelerek, insan beyninin düşünme, karar verme, öğrenme v.b. fonksiyonlarını gerçekleştirirler.



Şekil 3.1 Bir sinir hücresi.

Bir sinir hücresi hücre gövdesi, akson ve dendrit adı verilen bölümlerden oluşur. Hücreler birbirlerine dendrit adı verilen uzantılarla bağlanırlar. Bağlantı noktalarına sinaps denir. Bu bağlantılar aynı zamanda hücreler arasında iletişim kanalı olarak vazife görürler ve sinyalleri taşıma işlevini yerine getirirler. Sinyal taşıma ise elektrik yüklü iyonlar yardımıyla olur. Böylesine ilginç bir taşıma yöntemine sahip olan sinir hücrelerinin gizemi bu özelliklerinden

kaynaklanmaktadır.

Sinir hücrelerinin bir tür elektriksel yolla haberleşmesi, bilim adamlarının dikkatini çekmiş, elektrik devreleri veya bir mekanizma ile sinir hücrelerinin çalışmasını gerçekleştirebilecekleri düşüncesinin ortaya çıkmasına ön ayak olmuştur. İnsan beynini oluşturan, insan zekasının kaynağı olan bu hücrelerin tüm sırları henüz çözülememiştir. Kısa bir süre öncesine kadar sinir hücrelerinin yenilenemediği sanılıyordu. Ancak yapılan son araştırmalar insan beyninde gerektiğinde yeni sinir hücrelerinin üretildiğini ortaya koymuştur. İleride bu özellikten yararlanarak belki de laboratuvar ortamında çoğaltılacak sinir hücreleri ile yapay sinir ağları konusunda yenilikler yaratılacaktır.



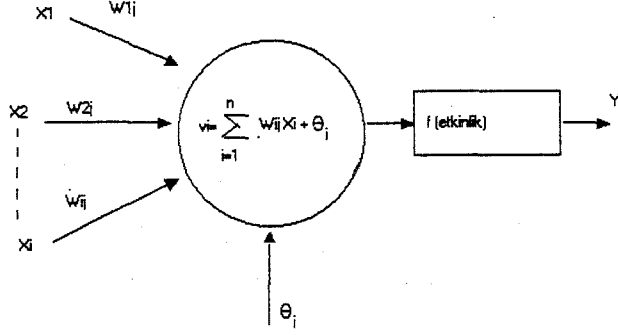
Şekil 3.2 Sinir hücrelerinin birbiriyle bağlanması.

### 3.2 Yapay Hücre Modelleri

Yapay sinir hücreleri, YSA'nın çalışmasına esas teşkil eden en küçük bilgi işleme birimidir. Geliştirilen hücre modellerinde bazı farklılıklar olmakla birlikte genel özellikleri ile bir yapay hücre modeli, Şekil 3.3'de görüldüğü gibi girdiler, ağırlıklar, birleştirme fonksiyonu, aktivasyon (etkinleştirme) fonksiyonu ve çıktılar olmak üzere 5 bileşenden meydana gelir. Girdiler, diğer hücrelerden ya da dış ortamlardan hücreye giren bilgilerdir. Bilgiler, bağlantılar üzerindeki ağırlıklar üzerinden hücreye girer ve ağırlıklar, ilgili girişin hücre üzerindeki etkisini belirler. Birleştirme fonksiyonu, bir hücreye gelen net girdiyi hesaplayan bir fonksiyondur ve genellikle net girdi, girişlerin ilgili ağırlıkla çarpımlarının toplamıdır. Birleştirme fonksiyonu, ağ yapısına göre maksimum alan, minimum alan ya da çarpım fonksiyonu olabilir. Aktivasyon fonksiyonu ise birleştirme fonksiyonundan elde edilen net girdiyi bir işlemde geçirerek hücre çıktısını belirleyen ve genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Hücre modellerinde, net girdiyi artıran +1 değerli polarma girişi yada azaltan -1 değerli eşik girişi bulunabilir ve bu giriş de sabit değerli bir giriş olarak girdi vektörü ( $x_0$ ), katsayısı ise (genellikle b ile gösterilir) ağırlık vektörü ( $W_0$ ) içerisine alınabilir. Genel olarak hücre modelleri Şekil 3.3'deki gibi olmakla birlikte gerçekleştirdiği işleve göre hücreler statik

yada dinamik bir davranış gösterebilirler.

### 3.2.1 Statik Hücre Modeli



Şekil 3.3 Statik Hücre Modeli.

Şekil 3.3’de ağırlıkların sabit olduğu ve hücrede geri besleme yada geciktirilmiş sinyaller kullanılmadığı dikkate alınırsa bu hücre statik bir işlevi gerçekleştireceğinden bu model, statik hücre modeli olarak söylenebilir.

Statik hücrenin matematiksel modeli Eşitlik (3.1) deki gibi yazılabilir.

$$v = \sum_{i=0}^x w_i x_i \quad \text{yada} \quad v = \sum_{i=0}^x w_i x_i + b \quad (3.1)$$

Burada; W- hücrenin ağırlıklar matrisini, x- hücrenin giriş vektörünü, v- hücrenin net girişini, y- hücre çıkışını ve  $\phi(\cdot)$ - hücrenin aktivasyon fonksiyonunu göstermektedir. Eşitlik (3.1) den, x giriş vektörünün bileşenlerinin dış (geri beslemesiz) girişler olması durumunda hücrenin doğrusal olmayan statik bir işlevi gerçekleştireceği görülmektedir.

#### 3.2.1.1 Aktivasyon Fonksiyonları

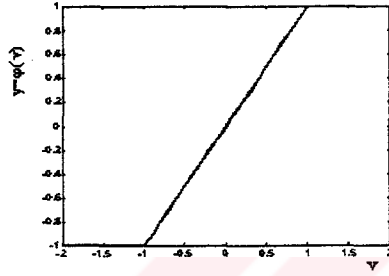
Hücre modellerinde, hücrenin gerçekleştireceği işleve göre çeşitli tipte aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. Aktivasyon fonksiyonları sabit parametrelili yada uyarlanabilir parametrelili seçilebilir.

##### *Doğrusal ve Doyumlu-doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu*

Doğrusal bir problemi çözmek amacıyla kullanılan doğrusal hücre ve YSA’ da yada genellikle katmanlı YSA’ nın çıkış katmanında kullanılan doğrusal fonksiyon, hücrenin net

girdisini doğrudan hücre çıkışı olarak verir. Doyumlu doğrusal aktivasyon fonksiyonu ise aktif çalışma bölgesinde doğrusaldır ve hücrenin net girdisinin belirli bir değerinden sonra hücre çıkışını doyuma götürür. Doyumlu doğrusal aktivasyon fonksiyonunun Eşitlik (3.2)'de matematiksel tanımı, Şekil 3.4'de ise grafiği görülmektedir.

$$y = \begin{cases} 1 & v > 1 \\ v & -1 < v < 1 \\ -1 & v < -1 \end{cases} \quad (3.2)$$



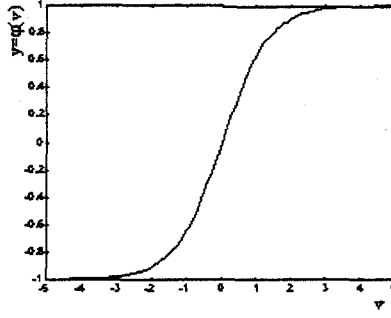
Şekil 3.4 Doyumlu doğrusal aktivasyon fonksiyonu.

### ***Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu***

Şekil 3.5'de grafiği verilen çift yönlü sigmoid (tanh) fonksiyonu, türevi alınabilir, sürekli ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olması nedeniyle doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılan YSA'larında tercih edilir. Çift yönlü sigmoid fonksiyonun tanımı Eşitlik (3.3)'de ve tek yönlü sigmoid fonksiyonunun matematiksel ifadesi ise Eşitlik (3.4)'de verilmiştir.

$$\varphi(v) = a \frac{1 - e^{-\lambda v}}{1 + e^{-\lambda v}} \quad (3.3)$$

$$\varphi(v) = a \frac{1}{1 + e^{-\lambda v}} \quad (3.4)$$

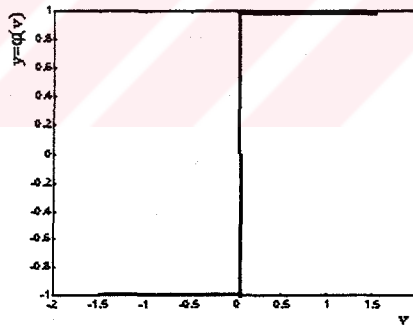


Şekil 3.5 Sigmoid (tanh) aktivasyon fonksiyonu.

### ***Eşik Aktivasyon Fonksiyonu***

McCulloch-Pitts modeli olarak bilinen eşik aktivasyon fonksiyonlu hücreler, mantıksal çıkış verir ve sınıflandırıcı ağlarda tercih edilir. Şekil 3.6'da verilen ve Perseptron (Algılayıcı) olarak da söylenen eşik fonksiyonlu hücrelerin matematiksel modeli aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$y = \begin{cases} 1 & v \geq 0 \\ -1 & v < 0 \end{cases} \quad (3.5)$$



Şekil 3.6 Eşik aktivasyon fonksiyonu.

### **3.2.2 Dinamik Hücre Modelleri**

Şekil 3.3'de verilen yapay hücre modeli, x girişlerinden y çıkışlarına doğrusal olmayan statik bir dönüşümü gerçekleştirir. Örüntü tanıma ve sınıflandırma uygulamalarında statik hücre yada YSA modelleri uygun olmakla birlikte sistem modelleme ve denetimi gibi dinamik problemlerin çözümünde dinamik hücre yada YSA yapılarının kullanılması gereklidir

### 3.3 Yapay Sinir Ağı'nın Tanımı

Genel anlamda YSA, beynin bir işlevini yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir sistem olarak tanımlanabilir. YSA, yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekilde bağlanmasından oluşur ve genellikle katmanlar şeklinde düzenlenir. Donanım olarak elektronik devrelerle yada bilgisayarlarda yazılım olarak gerçekleştirilebilir.

#### 3.3.1 Yapay Sinir Ağı Modellerinin Çıkarılması

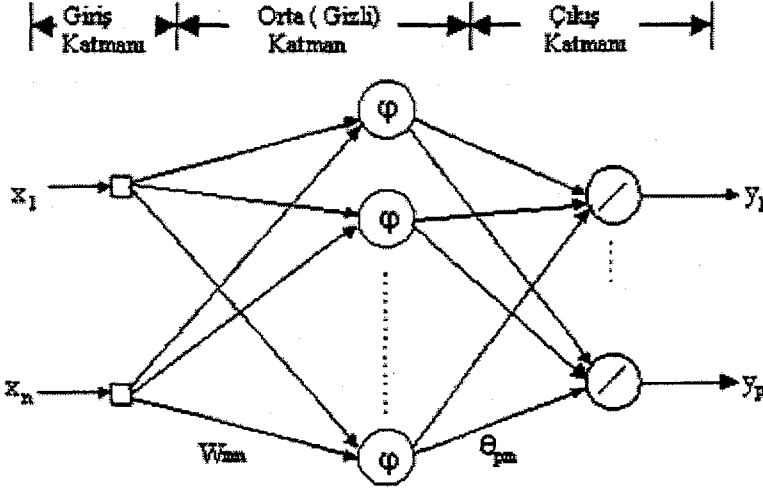
Genel olarak YSA modelleri; Ağı yapısına; 1)ileri beslemeli, 2)geri beslemeli, ağırlık matrislerinin simetrik veya asimetrik oluşuna, ağırlık matrisi değerlerinin sabit veya değişken oluşuna, ağda yer alan düğümlerin özelliklerine, kullanılan eşik fonksiyonunun deterministik veya stokastik oluşuna, düğüme sadece analog / ikil veya sürekli değerlerin uygulanabilmesine, eğitim veya öğrenme kurallarına göre sınıflandırılabilir.

#### 3.3.2 Yapay Sinir Ağı Yapıları

Yapay sinir ağları, hücrelerin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmalarından oluşur. Hücre çıkışları, ağırlıklar üzerinden diğer hücelere ya da kendisine giriş olarak bağlanabilir ve bağlantılarda gecikme birimi de kullanılabilir. Hücrelerin bağlantı şekillerine, öğrenme kurallarına ve aktivasyon fonksiyonlarına göre çeşitli YSA yapıları geliştirilmiştir.

##### 3.3.2.1 İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (İBYSA)

İleri beslemeli YSA'da, hücreler katmanlar şeklinde düzenlenir ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilir. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan orta (gizli) katmandaki hücelere iletir. Bilgi, orta ve çıkış katmanında işlenerek ağ çıkışı belirlenir. Bu yapısı ile ileri beslemeli ağlar doğrusal olmayan statik bir işlevi gerçekleştirir. İleri beslemeli 3 katmanlı YSA'nın, orta katmanında yeterli sayıda hücre olmak kaydıyla, herhangi bir sürekli fonksiyonu istenilen doğrulukta yaklaştırabileceği gösterilmiştir. En çok bilinen geriye yayılım öğrenme algoritması, bu tip YSA'ların eğitiminde etkin olarak kullanılmakta ve bazen bu ağlara geriye yayılım ağları da denmektedir. Şekil 3.7'de giriş, orta ve çıkış katmanı olmak üzere 3 katmanlı ileri beslemeli YSA yapısı verilmiştir.



Şekil 3.7 İleri beslemeli 3 katmanlı YSA.

Herhangi bir problemi çözmek amacıyla kullanılan YSA da, katman sayısı ve orta katmandaki hücre sayısı gibi kesin belirlenememiş bilgilere rağmen nesne tanıma ve sinyal işleme gibi alanların yanı sıra ileri beslemeli YSA, sistemlerin tanımlanması ve denetiminde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

#### ***Tek katmanlı ileri beslemeli ağlar***

Genelde tek bir hücre istenilen giriş çıkış işlevini yerine getiremez. Bunun için bağlantı ağırlıkları dışında aynı özelliklere sahip hücreler bir araya getirilerek katmanlar oluşturulur. Buradaki tek katman terimi, nöronların çıkış katmanına karşı düşmektedir. Herhangi bir hesaplamanın yapılmadığı giriş katmanı göz önüne alınmaz. Bu tür ağlar algılayıcı (perceptron) olarak bilinir

#### ***Çok katmanlı ileri beslemeli ağlar***

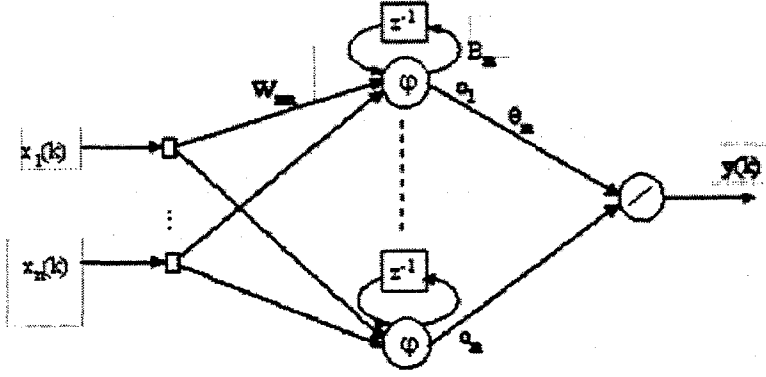
Çok katmanlı ileri beslemeli ağlar, tek katmanlı ağların arka arkaya bağlanmasından oluşurlar. Bir katmanın girişi, bir önceki katmanın çıkışıdır. Giriş katmanı sadece girişi çoğullamaktadır. Yani girişi ile çıkışları aynıdır. Giriş ile çıkış arasında kalan katmanlara gizli katmanlar adı verilmektedir. Genelde bir veya iki gizli katman kullanmak yeterli olmaktadır. Gizli katmanlardaki hücre sayıları farklı olabilir. Çok katmanlı ağlar karmaşık karar ayrılmasında kullanılırlar.

#### **3.3.2.2 Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (GBYSA)**

Geri beslemeli YSA' da, en az bir hücrenin çıkışı kendisine ya da diğer hücrelere giriş olarak verilir ve genellikle geri besleme bir geciktirme elemanı üzerinden yapılır. Geri besleme, bir





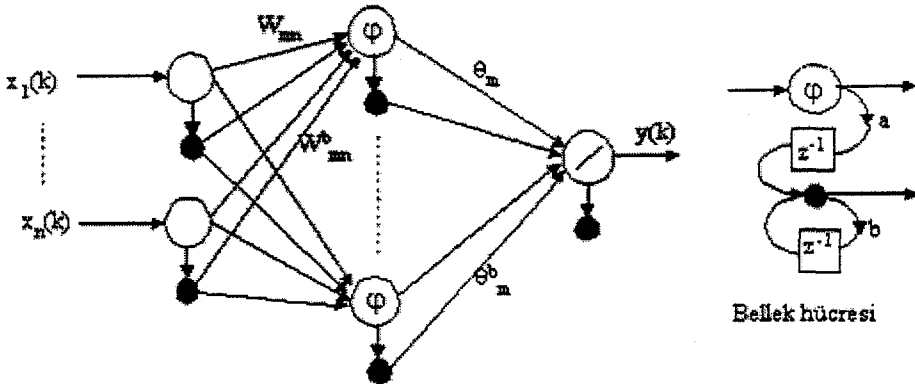


Şekil 3.9 YGKI yapay sinir ağı.

YGKI ağlar, ileri beslemeli YSA'nın eğitim algoritmalarında gerçekleştirilen küçük değişikliklerle eğitilebilmeleri nedeniyle ileri ve geri beslemeli YSA'nın ortak özelliklerini taşımaktadır. Özellikle bozucu ve ölçülemeyen girişleri olan dinamik sistemleri modellemek amacıyla kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır.

### 3.3.2.3 Bellek Hücreli YSA Yapıları (BHYSA)

Doğrusal olmayan sistemlerin tanımlanması ve denetiminde, katmanlı YSA yapıları etkin olarak kullanılmaktadır. YSA ile sistem tanımlamada, doğru model yapısının seçilebilmesi ve model girişlerinin belirlenebilmesi için sistemin giriş ve çıkışının gecikme derecelerinin bilinmesi gerekir. Sistemin derecesinin doğru belirlenememesi, modelde temsil edilemeyen dinamikler nedeniyle kararlı ve değişen dinamik şartlarda doğru bir model elde edilmesini etkiler. Bu nedenle, geri beslemeli YSA yapıları kullanılarak sistemin derecesine ihtiyaç duymayan tanı modelleri geliştirilmiştir. Şekil 3.10'da Bellek Hücreli Yapay Sinir Ağları (BHYSA) olarak söylenen ve ağıdaki her bir hücre için bir bellek hücresinin kullanıldığı katmanlı-geri beslemeli bir ağ yapısı verilmiştir.



Şekil 3.10 Bellek hücreli yapay sinir ağı ve bellekli bir hücrenin yapısı.

BHYSA'da her bir ağ hücresine ait olan bellek hücresi, bir ağırlık ( $b_j$ ) üzerinden öz geri besleme girişine ve başka bir ağırlık üzerinden ( $a_j$ ) ait olduğu hücrenin gecikmiş girişine göre bir çıkış üretir. Çıkış katmanında ise genellikle sadece öz geri besleme kullanılır.

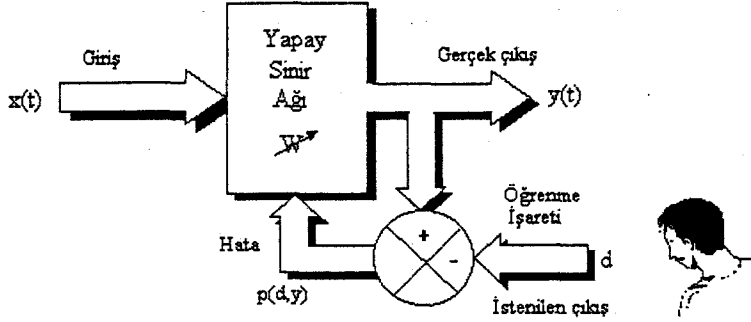
BHYSA'nın doğrusal olmayan bir sistemi modelleme ve denetim yeteneği, sadece sistemin o anki giriş ve bir önceki çıkış verileri model girişi alınarak incelenmiş ve tatmin edici sonuçlar alındığı gösterilmiştir. İleri beslemeli katmanlı YSA'nın sadece gizli katmanında bellek hücreleri kullanılarak bellek hücresinin, ait olduğu hücre çıkışının geçmişteki örneklerini giriş olarak aldığı ve zaman gecikmeli YSA olarak söylenen geri beslemeli ağ yapıları da incelenmiştir.

### 3.3.3 Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme

Yapay sinir ağlarında, kullanılan mimarinin yanı sıra, ağırlık değerlerinin belirlenme eğitim metodu da önemli bir ayırt edici karakteristiktir. Gruplama açısından bakıldığında, öğrenme modları ikiye ayrılabilir: Eğitici (supervised) ve Eğitici (unsupervised) öğrenme (Zhang 2000).

#### 3.3.3.1 Eğitici Öğrenme

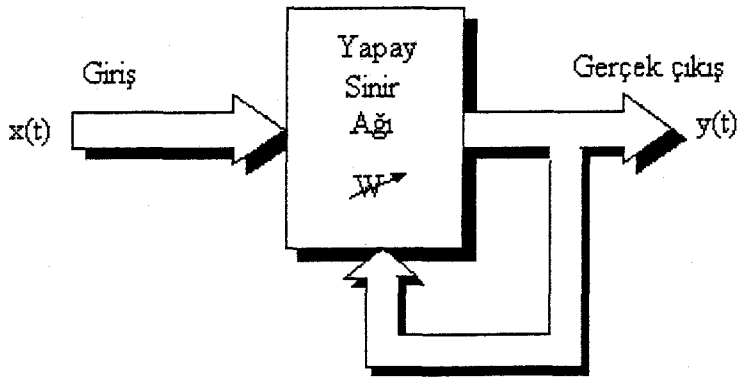
Eğitici öğrenme moduyla, yapay sinir ağının eğitimi için eğitici veriler (eğitim seti) kullanılmaktadır. Eğitim seti giriş bilgileri ve istenen(hedef) bilgiler olmak üzere iki ayrı vektör gibi düşünülebilir. Vektörlerin her bir karşılıklı elemanları bir eğitim çiftini oluşturmaktadır. Eğitim seti ağın eğitimine başlamadan önce belirlenmektedir. Ağın eğitimi için, öncelikle bağlantı ağırlıklarına rastgele değerler atanmaktadır. Daha sonra eğitim çiftlerine bağlı olarak bir algoritma dahilinde ağırlıklar yenilenmektedir. İstenilen bilgiler ve ağın çıkışı arasındaki fark(hata) azalınca kadar eğitim sürdürülmektedir. Ağ çıkışındaki, hatanın azalması ağırlıkların kararlılık kazanması demektir. Ağırlıklar istenilen kararlılığa ulaştığında eğitim bitirilmektedir. Geri yansıtmalı yapay sinir ağı modeli de eğitici öğrenme modunu kullanmaktadır. Şekil 3.11'de eğitici öğrenme yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Eğitici öğrenme.

### 3.3.3.2 Eğiticişiz öğrenme

Eğiticişiz öğrenme moduna "Kendi kendine öğrenilebilen mod" da denilmektedir. Bu öğrenme modunda eğitim seti kullanılmamaktadır. Ağ, birbirine benzer giriş bilgilerini gruplamakta, veya giriş bilgisinin hangi gruba ait olduğunu göstermektedir. Ağ eğitimi için sadece giriş bilgileri yeterli olmakta, referans alınacak(eğitici) bilgiye ihtiyaç duyulmamaktadır. Ağın performansını kendiliğinden izlemesi söz konusudur. Ağ, giriş sinyallerinin yönüne veya düzenine bakmakta ve ağın fonksiyonuna göre ayarlama yapmaktadır. Ağ kendini nasıl organize edeceği hakkında bir miktar bilgiye sahip olmalıdır. Şekil 3.12'de eğiticişiz öğrenme yapısı gösterilmiştir.

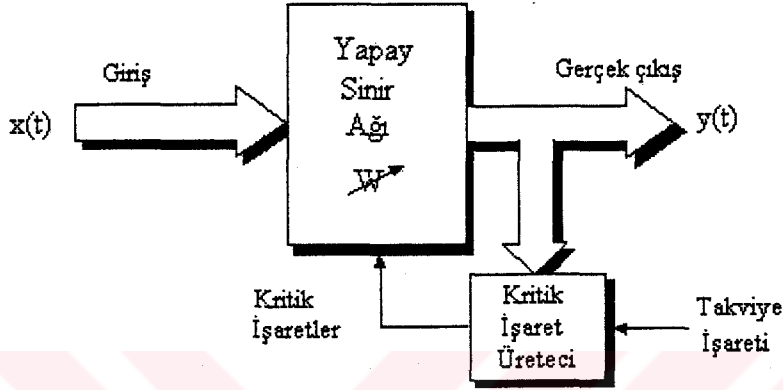


Şekil 3.12 Eğiticişiz öğrenme yapısı.

### 3.3.3.3 Takviyeli öğrenme

Bu öğrenme kuralı eğitici öğrenmeye yakın bir metottur. Denetimsiz öğrenme algoritması

istenilen çıkışın bilinmesine gerek duymaz. Hedef çıktıyı vermek için "öğretmen" yerine, burada YSA'ya bir çıkış verilmemekte fakat elde edilen çıkışın verilen girişe karşılık iyiliğini değerlendiren bir kriter kullanılmaktadır. Şekil 3.13'de takviyeli öğrenme yapısı gösterilmektedir. Optimizasyon problemlerini çözmek için Hilton ve Sejnowski'nin geliştirdiği Boltzman kuralı veya genetik algoritma tasdikli öğrenmeye örnek olarak verilebilirler.



Şekil 3.13 Takviyeli öğrenme yapısı.

### 3.4 Yapay Sinir Ağlarının Üstünlükleri

Yapay sinir ağları modelleri, biyolojik sinir ağlarının çalışma biçimlerinden esinlenerek ortaya çıkarılmıştır. Yapay sinir ağları, biyolojik olmayan yapı taşlarının düzgün bir tasarımla birbirlerine yoğun olarak bağlanmalarından oluşmaktadırlar. Sinir sisteminin modellenmesi için yapılan çalışmalar sonucu oluşturulan yapay sinir ağları, biyolojik sinir sisteminin üstünlüklerine de sahiptir. Bu üstünlükleri şu şekillerde özetleyebilmek mümkündür. Birinci üstünlük YSA'nın paralellik özelliğidir. YSA modelinde her eleman kendi kendinin işlemcisi olabilmektedir. Aynı katmanlar arasında zaman bağımlılığı yoktur, tamamıyla eşzamanlı olarak çalışabilirler. Bu özelliği nedeniyle YSA, hız konusunda oldukça büyük üstünlük sağlamaktadır. İkinci üstünlüğü ise, YSA'nın öğrenebilme özelliğinin bulunmasıdır. İnsan sinir sisteminin, problemleri çözebilmek için öğrenme özelliği olduğu gibi, YSA'nın da bu özelliği mevcut bulunmaktadır. Üçüncü üstünlüğü ise, paralel çalışan YSA'nın karışık işlevler gerektirmemesi, basit işlemleri içermesidir. YSA'nın bir başka üstünlüğü de ayrı ayrı elemanlarda meydana gelen hasarın, başarımda ciddi bir düşüşe yol açmamasıdır. Halbuki bilgisayarın herhangi bir işlem elemanını yerinden almak onu etkisiz bir makineye dönüştürmektedir.

ilgilenmek yerine, sadece problemin gerekli parçası ile ilgilenmektedir ve problemin bir parçası işlemektedir. Hücrelerin çok basit işlem yapmalarına rağmen, sağlanan görev paylaşımı sayesinde, çok karmaşık problemler çözülebilmektedir.

**Hata Toleransı:** Sayısal bir bilgisayarda, herhangi bir işlem elemanını yerinden almak, onu etkisiz bir makineye dönüştürmektedir. Ancak yapay sinir ağlarında bir elemanda meydana gelebilecek hasar çok büyük önem teşkil etmez. Yapay sinir ağlarının paralel çalışması hız avantajı ile birlikte yüksek hata sağlamaktadır. Seri bilgi işlem yapan bir sistemde herhangi bir birimin hatalı çalışması, hatta bozulmuş olması tüm sistemin hatalı çalışmasına veya bozulmasına sebep olacaktır. Paralel bilgi işleme yapan bir sistemde ise, sistemin ayrı ayrı işlem elemanlarında meydana gelecek olan hatalı çalışma veya hasar, sistemin performansında keskin bir düşüşe yol açmadan, performansın sadece hata birimlerinin bir oranınca düşmesine sebep olur.

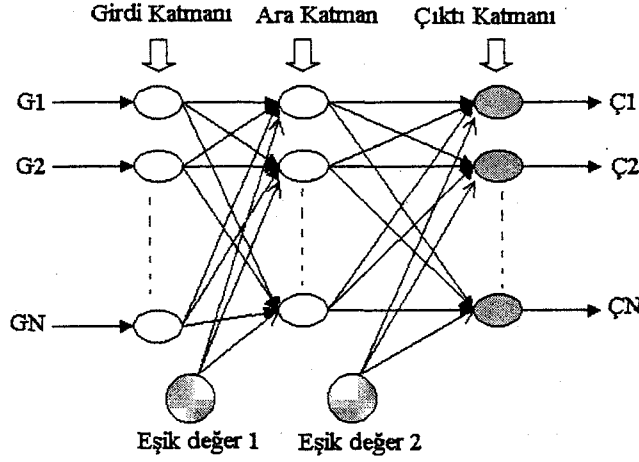
**Öğrenebilirlik:** Alışlagelmiş veri işleme yöntemlerinin çoğu programlama yolu ile hesaplamaya dayanmaktadır. Bu yöntemler ile, tam tanımlı olmayan bu problemin çözümü yapılamaz. Bunun yanında, herhangi bir problemin çözümü için probleme yönelik bir algoritmanın geliştirilmesi gerekmektedir. Yapay sinir ağları problemleri verilen örneklerle çözer. Çözülecek problemler için yapı aynıdır.

### 3.5 Bazı Ağ Mimarileri ve Öğrenme Algoritmaları

Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan bazı YSA yapıları anlatılmaktadır. Diğer ağ ve öğrenme yapıları (Zhang 2000)'de bulunabilir.

#### 3.5.1 Çok Katmanlı Algılayıcılar(ÇKA)

ÇKA ağlarının yapısı Şekil 3.14'de gösterildiği gibidir. Şekilden de görülebileceği gibi ÇKA ileriye doğru bağlantılı ve 3 katmandan oluşan bir ağdır. Girdi katmanı ,dış dünyadan gelen bilgileri alarak ara katmana gönderir. Ara katmanlar girdi katmanından gelen bilgileri işleyerek bir sonraki katmana gönderir. Çıktı katmanı, ara katmandan gelen bilgileri işleyerek, ağa girdi katmanından verilen girdilere karşılık ağın ürettiği çıktıları belirleyerek dış dünyaya gönderir.



Şekil 3.14 ÇKA modeli.

ÇKA ağı öğretmenli öğrenme stratejisini kullanır. Ağa hem örnekler, hem de örneklerden elde edilmesi gereken çıktılar verilmektedir. Ağ kendisine gösterilen örneklerden genellemeler yaparak problem uzayını temsil eden bir çözüm uzayı üretir. Ağın öğrenebilmesi için eğitim seti adı verilen ve örneklerden oluşan bir sete ihtiyaç vardır. Bu set içinde her örnek için ağın, hem girdiler, hem de o girdilere karşılık üretmesi gereken çıktıları yer alır. ÇKA, ileriye ve geriye doğru hesaplama olmak üzere iki safhadan oluşur. İleriye doğru hesaplama, ağın çıktısını hesaplama safhasıdır. Geriye doğru hesaplama, ağırlıkları değiştirme safhasıdır. Daha detaylı bilgi Zhang (2000)'da yer almaktadır.

### 3.5.2 Radyal Fonksiyon Temelli Ağlar (RBF)

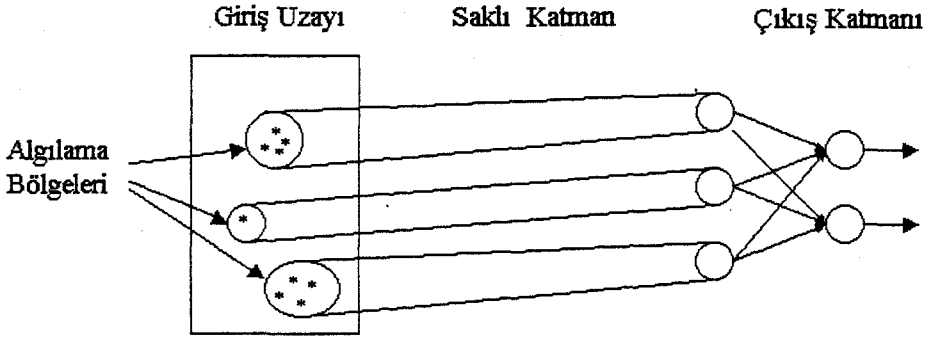
Radyal fonksiyon temelli ağlar, ÇKA ağlarına benzer bir şekilde haritalama işlemini yapar. Fakat yapısı ve birimlerinin işleyişi farklıdır. RBF ağları giriş, saklı katman ve çıkış katmanı olmak üzere üç katmandan oluşur. Saklı katman ve çıkış katmanlarındaki nöronlar farklıdır. Saklı katmanda bulunan radyal temelli fonksiyonları kullanan nöronlar lokal haritalama işlemini gerçekleştirir. Bu fonksiyonlar özellik uzayında algılama bölgelerinin merkezine yerleştirilmiştir. Her özellik uzayı algılama bölgesi, bir radyal temelli fonksiyon içeren saklı katman nöronunu harekete geçirir.

$x$  giriş vektörü,  $\mu_j$  algılama bölgeleri olarak ifade edilen bir bölgenin merkezi,  $\sigma_j$  algılama bölgesinin genişliği olmak üzere;

$$g_j(x) = \exp\left[-\frac{(x - \mu_j)^2}{\sigma_j^2}\right] \quad (3.6)$$



eşitliği  $g_j(x)$   $j$ . saklı katman nöronun çıkışını verir.



Şekil 3.15 Radyal fonksiyon temelli ağlar.

Çıkış katmanı standart lineer nöronlardan oluşmuştur ve saklı katman nöronlarının lineer dönüşümünü sağlar. Giriş vektörünün algılama alanlarının birinin merkezine yakın olması durumunda saklı katman nöronu uyarılacaktır. Giriş vektörü iki adet algılama alanının merkezinin arasında ve ikisinin bölge genişliği  $\sigma$ , içinde bulunursa bu bölgelere denk düşen saklı katman nöronlarının ikisi de kısmen uyarılacaktır. Giriş vektörünün, algılama alanlarının uzağında bulunması durumunda hiçbir saklı katman nöronu uyarılmayacak ve RBF çıkışı, çıkış katmanındaki nöronların bias değerlerine eşit olacaktır. RBF’de lokal haritalama söz konusudur yani yalnızca algılama bölgelerinin yakınlarında bulunan giriş değerleri saklı katmanların uyarılmasını sağlayabilir. ÇKA’da ise tersine global haritalama söz konusudur ve tüm girişler çıkış değeri oluşturur.

Etkin RBF ağları oluşturmada radyal temelli fonksiyonlar ve bunların genişlik parametrelerinin seçimi önemlidir. Genişlik, tüm algılama bölgelerini kapsamalı fakat bir fonksiyonla tüm giriş uzayını kapsamamalıdır. Bu da tek bir giriş vektörü için tüm saklı katman nöronlarının uyarılmaması anlamına gelir.

### 3.5.3 Genelleştirilmiş Regresyon Ağları (GRNN)

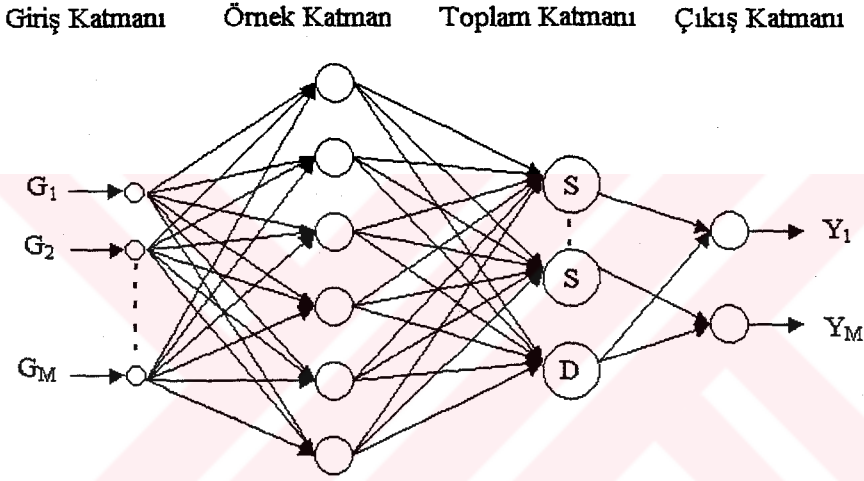
Genelleştirilmiş Regresyon Ağları özellikle sistem modelleme ve kestirimi gibi fonksiyon yaklaştırma uygulamalarına en uygun ileri beslemeli yapay sinir ağlarıdır.

GRNN dört katmandan oluşur. İlk katman giriş katmanıdır ve ikinci katmana tam olarak bağlanmıştır. İkinci katmanda her bir giriş örneğini temsil eden bir nöron vardır. Bu katman RBF ağlarındaki ilk katmanın işlevine benzer bir işlev gerçekleştirir; girişler ve depolanmış örnekler arasındaki uzaklık ölçütünü hesaplayarak çıkış üretirler. Üçüncü katman toplama



katmanı olarak isimlendirilir, S-toplama ve D-toplama nöronlarından oluşur. S-toplama nöronları ikinci katmanın çıkışlarının ağırlıklı toplamını gerçekleştirir. D-toplama nöronları ise bu çıkış değerlerini ağırlıksız olarak toplar. Dördüncü katmandaki çıkış nöronlarının her birine bağlı sadece bir S-toplama nöronu ve hepsine ortak olarak bağlantılı bir adet D-toplama nöronu vardır.

İkinci katmanda  $\sigma$  genişlik katsayısına sahip gauss fonksiyonları kullanılır. Üçüncü katmanda ise toplama katmanında ağırlıklı toplama olarak ifade edilebilecek S-toplamaları ve ağırlıksız toplama olarak ifade edilebilecek D-toplamı gerçekleştirilir. Çıkış katmanında ise her bir S-toplamı D-toplamına bölünerek çıkışlar elde edilir(Zhang, 2000).

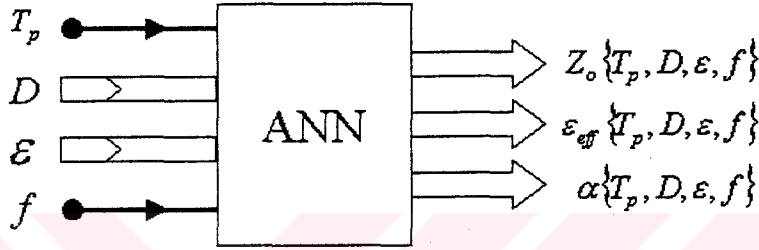


Şekil 3.16 Genelleştirilmiş regresyon ağ yapısı.

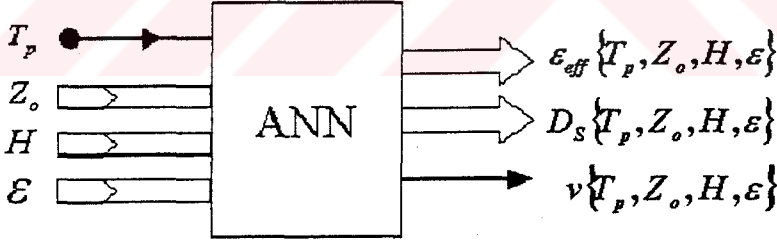
#### 4. PROBLEMİN TANIMI

Bu çalışmada, en sık kullanılan dört tip düzlemsel iletim hattının analizi ve sentezi yapay sinir ağı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu iletim hatları: 1- Mikroşerit hat; 2- Kuplajlı mikroşerit hat; 3- Eş Düzlemli dalga kılavuzu ; 4- Ekranlanmış Eş Düzlemli dalga kılavuzu olup sırası ile Şekil 2.1 (a), Şekil 2.6 (a), Şekil 2.5 (a) ve Şekil 2.5 (b)'de verilmiştir.

Bu problemi tanımlamak için iki kara – kutu kullanılmıştır: (i) Problemin ileri yöndeki tanımı için YSA analiz kara – kutu modeli (Şekil 4.1), (ii) Problemin ters yöndeki tanımı için YSA sentez kara – kutu modeli (Şekil 4.2).



Şekil 4.1 YSA analiz kara – kutu modeli.



Şekil 4.2 YSA sentez kara – kutu modeli.

##### 4.1 Problemin İleri Yöndeki Tanımı : YSA Analiz Kara – Kutu Modeli

YSA analiz kara – kutu analiz modelinin giriş büyüklükleri aşağıdaki şekilde verilebilir:

- (1)  $T_p$  :Düzlemsel iletim hattının tipini veren serbest değişkendir ve 1,2,3,4 ayrık sayıları ile tanımlanır. Buna göre sırası ile 1,2,3 ve 4; 1- Mikroşerit hat; 2- Eş Düzlemli dalga kılavuzu ; 3- Ekranlamalı Eş Düzlemli dalga kılavuzu, 4- Kuplajlı mikroşerit hat yapılarını ifade eder.

(2)  $\mathbf{D}$  : Düzlemsel iletim hattının boyutlarını tanımlayan geometrik boyut vektörüdür ve aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$\mathbf{D} = [W \ H_1 \ H_2 \ S \ T]^T$$

Burada  $H_1, H_2$  sırası ile dielektrik maddenin ve ekranlamanın yüksekliği olup Şekil 2.1 (a), Şekil 2.6 (a), Şekil 2.5 (a) ve Şekil 2.5 (b)' de dört yapı için görülmektedir.  $W$  ve  $T$ , sırası ile iletken şeridin genişliği ve kalınlığı,  $S$  ise iki şerit arasındaki boşluktur.

(3)  $\mathbf{\epsilon}$  : Dielektrik taban maddesinin elektriksel özellikleri olup iki elemanlı bir vektörle ifade edilebilir.

$$\mathbf{\epsilon} = [\epsilon_x \ \epsilon_y]^T$$

$\epsilon_x, \epsilon_y$  düzlemsel iletim hattında kullanılan dielektrik maddenin  $x$  ve  $y$  doğrultusundaki dielektrik sabitidir.

(4)  $f$  : Operasyon frekansı olup giriş tarafında pozitif bir reel sayı ile ifade edilir.

Aşağıda verilen vektörler YSA analiz kara – kutu analiz modelinde giriş değişkenlerinin fonksiyonu olarak çıkışında elde edilir.

(1)  $\mathbf{Z}_o$  : Hattın karakteristik empedansı olup sırası ile tek ve çift modda aynı doğrultuda yayılan gerilim ve akım bileşenlerinin oranıdır.

$$\mathbf{Z}_o = [Z_{o,ev} \ Z_{o,odd}]^T$$

(2)  $\mathbf{\epsilon}_{eff}$  : Efektif dielektrik sabiti vektörü olup sırası ile tek ve çift modlardaki efektif dielektrik sabitleridir.

$$\mathbf{\epsilon}_{eff} = [\epsilon_{eff,ev} \ \epsilon_{eff,odd}]^T$$

(3)  $\alpha$  : Hattın zayıflatma sabiti vektörüdür.

$$\alpha = [\alpha_{c,ev} \ \alpha_{c,odd} \ \alpha_{d,ev} \ \alpha_{d,odd} \ \alpha_{T,ev} \ \alpha_{T,odd}]^T$$

Burada ilk iki eleman iletken kayıplarından dolayı oluşan zayıflatmayı, üçüncü ve dördüncü elemanlar dielektrik kayıplarından dolayı oluşan zayıflatmayı sırası ile tek ve çift modlarda ifade eder. Eğer transmisyon sistemi sadece bir yayılım moduna sahipse, tek ve çift modlar için tüm sistem parametreleri birbirine eşit alınmalıdır.

#### 4.2 Problemin Ters Yöndeki Tanımı : YSA Sentez Kara – Kutu Modeli

Problemin sentez kısmında analiz kısmındakine benzer bir terminoloji kullanılır. YSA sentez modelinde, giriş kısmında seçilmiş dielektrik taban maddesi  $\{H = [H_1 \ H_2]^T, \varepsilon\}$ , karakteristik empedans  $Z_o$  ve iletim hattının tipinin fonksiyonu olarak ağı çıkışında efektif dielektrik sabiti vektörü, yayılım hızı ve iletken şeridin geometrik boyutları ( $D_s = [W \ S]^T$ ) elde edilir.

#### 4.3 RF/Mikrodalga Düzlemsel İletim Hattı Analiz ve Sentez YSA' sının Oluşturulması

Bu çalışmada, fonksiyon yaklaştırmak amacı ile iki tip nöron ağı kullanılmıştır. Bunlar; (1) Çok Katmanlı Algılayıcı(ÇKA), (2) Radyal Tabanlı Fonksiyon (RBF) ağlarıdır. Cybenko ve Hornik, 1989 yılında, nonlinear, sürekli, çok boyutlu  $f$  fonksiyonunu istenilen yaklaşıklıkla yaklaştıran üç katmanlı bir algılayıcı olduğunu kanıtlamıştır. Bu evrensel yaklaştırma teorisi, RBF ağları için Park ve Sandberg tarafından 1991 yılında kanıtlanmıştır. Bu iki nöron ağı hakkında detaylı bilgi 3. bölümde yer almaktadır.

Hem çok katmanlı algılayıcı hemde radyal tabanlı fonksiyon ağ yapısı ileri beslemeli ağ yapıları olup ağ yapısındaki veri aktarma işlemleri giriş nöronlarından çıkış nöronlarına doğru olmak üzere tek yönde ilerler. Bu çalışmada iki yapı içinde üç katmanlı ağ yapısı kullanılmıştır. Bu ağ yapısı; (1) 9 nörondan oluşan giriş katmanı, (2) 12 nörondan oluşan saklı katman, (3) 10 nörondan oluşan çıkış katmanından oluşmaktadır. Sigmoid ve Gauss fonksiyonları sırası ile ÇKA ve RBF ağlarında aktivasyon fonksiyonu olarak seçilmiştir. Bu iki aktivasyon fonksiyonu birbirinden farklı özellik gösterir.

ÇKA ağında, her bir saklı nöronun aktivasyon fonksiyonu giriş vektörüne ve o nöronun

sinaptik ağırlık vektörüne iç çarpım olarak etki eder. Diğer taraftan, RBF ağında her bir saklı nöronun aktivasyon fonksiyonu, giriş vektörü ile o nöronun merkezi arasında öklit normu olarak işlev görür. ÇKA ağında, Levenberg-Marquardt (LM) geri yayılım öğrenme algoritması kullanılmıştır.

Yapay sinir ağı eğitim ve testi için kullanılacak veriler, hazırlanan bilgisayar programı tarafından elde edilmiştir. Bu veri üretici program, ikinci bölümde yer alan yaklaşık sonuçları kullanır ve elde edilen sonuçlar problemin YSA modeline göre uygun bir dosya biçimine dönüştürülür. Analiz ve sentez YSA'sı için aynı eğitim ve test kümeleri kullanılmıştır. Verileri ağda kullanılacak biçime uydurmak amacı ile oluşturulan dosyalar çıkış ve girişin bir arada yer aldığı text dosyalarıdır. Bu dosyalar Ek.II'de yer alan programlar ile oluşturulmuş ve oluşturulan veri kümelerinin bir kısmı eğitim kümesi, bir kısmı test kümesi olarak kullanılmıştır.

p giriş ve q çıkışa sahip bir sistem için n adet eğitim ve test veri çifti aşağıda belirtilen yapıdadır.

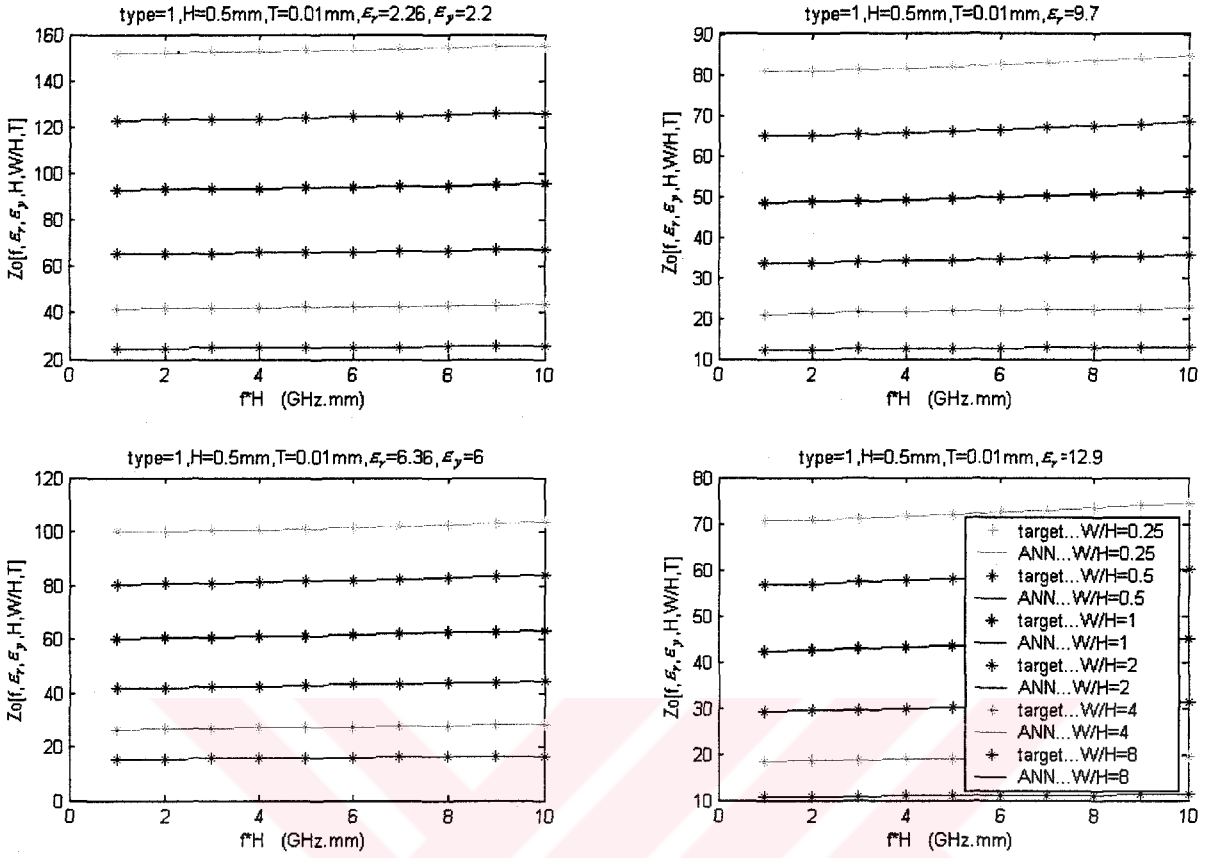
$$\begin{aligned} &(x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \dots, x_p^{(1)}; y_1^{(1)}, y_2^{(1)}, \dots, y_q^{(1)}), \\ &(x_1^{(2)}, x_2^{(2)}, \dots, x_p^{(2)}; y_1^{(2)}, y_2^{(2)}, \dots, y_q^{(2)}), \\ &\dots\dots\dots \\ &(x_1^{(n)}, x_2^{(n)}, \dots, x_p^{(n)}; y_1^{(n)}, y_2^{(n)}, \dots, y_q^{(n)}), \end{aligned}$$

YSA analiz ve sentez modeli terminolojisinden de anlaşılacağı gibi bu çalışmada eğitim ve test veri çiftlerinde  $p=9$  ve  $q=10$ 'dir. Bu çalışmada, RF/Mikrodalga düzlemsel iletim hattı analiz ve sentez YSA'sının oluşturulması için 700 eğitim veri çifti kullanılmıştır. Ağı test amacı ile ise 250 test veri çifti kullanılmıştır. Bu problemdeki gibi eğitim datasının büyük olduğu durumlarda ve fonksiyon yaklaştırma problemlerinde RBF ağı ÇKA ağına oranla sonuçlara daha iyi bir yaklaşıklıkla yaklaşmaktadır. Sonuç olarak YSA analiz ve sentez modelleri uygulama olarak, çok yaygın iki anizotropik materyal PTFE/ microfiber glass , RT/ Duroid 6006 ve iki izotropik materyal Alumina , Gallium-arsenide için uygulanarak sentez ve analiz karakteristikleri ile hedef değerleri ile karşılaştırmalı olarak elde edilmiştir ve modellerin çok iyi bir doğrulukla fonksiyon yaklaşıklığı yaptığı tespit edilmiştir. 5. bölümde RBF analiz ve sentez ağlarını kullanarak elde edilen bazı grafikler ve bu grafiklere ait sayısal değer tabloları verilmiştir.

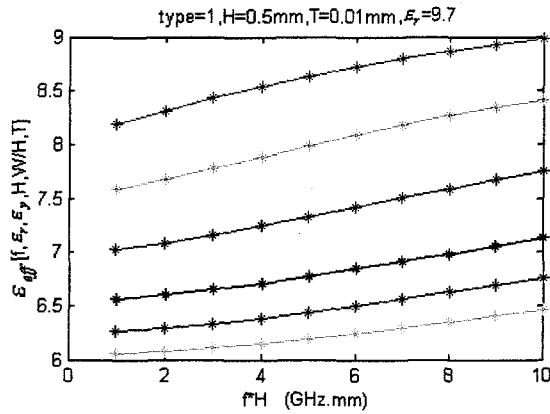
## 5. UYGULAMALAR

Bu bölümde, çalışmada YSA modeli oluşturulan dört tip iletim hattının grafikleri ve grafiklere ait sayısal değerlerden oluşan tabloları verilecektir. Bölüm 5.1-5.4 arası sırası ile mikroşerit hat, eş düzlemlı dalga kılavuzu, ekranlamalı eş düzlemlı dalga kılavuzu ve kuplajlı mikroşerit hattın grafiklerini ve tablolarını içerir. Bu dört bölümde grafikler YSA analiz kara-kutu modelinden( $\Leftrightarrow$ ileri problem) elde edilen grafikler ve YSA sentez kara-kutu modelinden( $\Leftrightarrow$ ters problem) elde edilen grafikler olmak üzere sıralanmıştır ve grafikler ikisi anizotropik, ikisi izotropik olmak üzere dört farklı dielektrik sabitine sahip (PTFE/mikrofiber cam, RT/Duroid, alumina, galyum arsenit) taban maddesi kullanılarak elde edilmiştir. Kullanılan taban maddesinin dielektrik sabitleri ve diğer parametreleri grafiğin üzerinde yer almaktadır. Grafiklerde farklı renkteki eğriler farklı W/H oranlarını ifade eder. Bu oranlar grafiklerin bazılarının sağ alt köşesinde yer almaktadır. Eğrilerin üzerindeki \* hedef değerlerini, eğriler ise YSA sonuçlarını belirtir. Bu, YSA analiz ve sentez kara-kutu modellerinin ne kadar iyi bir yaklaşıklıkla yaklaşım yaptığını grafiklerde gösterebilmek amacı ile yapılmıştır. Şekil 5.1-5.3 arasında type=1 olarak tanımlanan mikroşerit hattın sırası ile karakteristik empedansının, efektif dielektrik sabitinin ve zayıflatmalarının grafikleri yer alır. Tablolar hedef değerler ile YSA sonuçlarını sayısal olarak karşılaştırabilmek amacı ile verilmiştir. Şekil 5.4'de YSA sentez kara-kutu ( $\Leftrightarrow$ ters problem) modeli kullanılarak elde edilmiş efektif dielektrik sabitinin karakteristik empedans ile değişim grafiği yer almaktadır. Çizelge 5.2, Şekil 5.4'ü tanımlayan değerleri içerir. Sonraki üç bölümde benzer şekilde type=2(eş düzlemlı dalga kılavuzu), type=3(ekranlamalı eş düzlemlı dalga kılavuzu) ve type=4(kuplajlı mikroşerit hat) yapılarının karakteristik empedans, efektif dielektrik sabiti, zayıflatma grafikleri ve bu grafiklere ait çizelgeleri içerir. Ardından gelen YSA sentez kara-kutu modeli kullanarak gerçekleştirilen alçak geçiren filtre uygulamasında ise amaç sentez formül sonuçları ile YSA sentez modeli sonuçlarını karşılaştırmaktır. İki yöntemin de sonuçlarını kullanarak devreler Microwave Office programında gerçekleştirilmiştir(Şekil 5.28 (a)-Şekil 5.28 (b)). Mikroşerit AGF'nin karakteristiğini belirleyen grafikler Şekil 5.29'da yer almaktadır. Şekil 5.29 (a) sentez formülleri ve YSA sentez kara-kutu modeli sonuçları ile elde devrelerin genlik cevaplarını, Şekil 5.29 (b) ise kazanç grafiklerini vermektedir.

## 5.1 Mikroşerit İletim Hattı için Analiz ve Sentez YSA Kara – Kutu Modeli Sonuçları

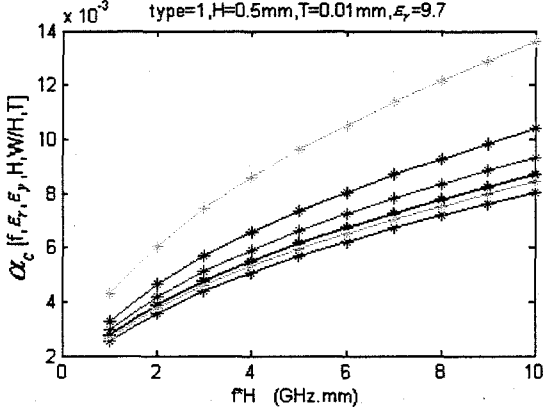


Şekil 5.1 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen dört farklı taban maddesine sahip mikroşerit hattın karakteristik empedansının normalize frekans ile değişim grafikleri.

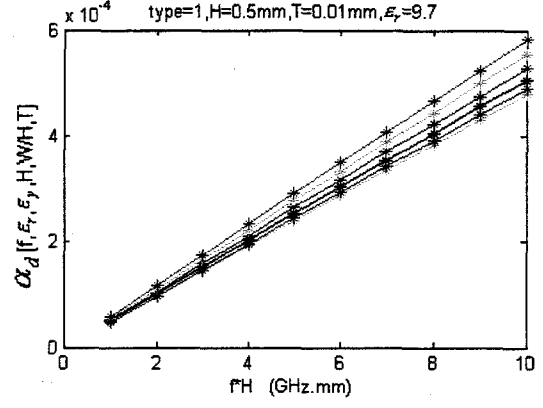


Şekil 5.2 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen alumina taban maddesine sahip mikroşerit hattın efektif dielektrik sabitinin normalize frekans ile değişim grafiği.

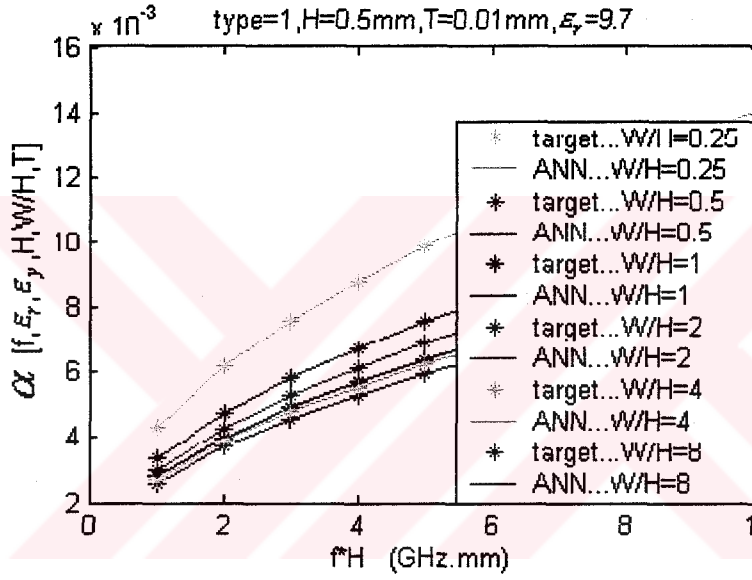




(a)



(b)

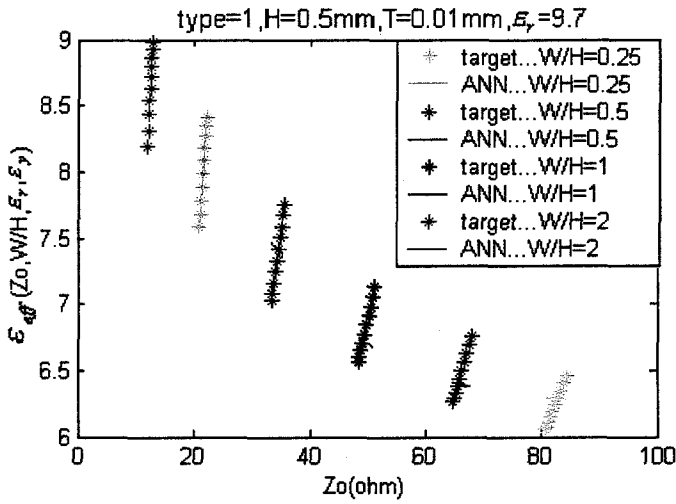


(c)

Şekil 5.3 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen alumina taban maddesine sahip mikroşerit hattın (a) iletken kayıpları sebebiyle oluşan zayıflatması, (b) dielektrik kayıpları sebebiyle oluşan zayıflatması, (c) toplam zayıflatması(Np/cm).

Çizelge 5.1 YSA analiz kara-kutu modeli test sonuçları: Mikroşerit iletim hattında efektif dielektrik sabitinin değişimi

| Type= 1, H=0.5, T=0.01, $\epsilon_r=9.7$ |                         |                       |                         |                       |                         |                       |
|------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| f(GHz)                                   | W/H=0.25                |                       | W/H=0.5                 |                       | W/H=1                   |                       |
|                                          | $\epsilon_{eff}$ -hedef | $\epsilon_{eff}$ -YSA | $\epsilon_{eff}$ -hedef | $\epsilon_{eff}$ -YSA | $\epsilon_{eff}$ -hedef | $\epsilon_{eff}$ -YSA |
| 2                                        | 6.0523403               | 6.0525572             | 6.2590473               | 6.2586896             | 6.5649063               | 6.5651091             |
| 4                                        | 6.0761997               | 6.0770839             | 6.2919071               | 6.2904489             | 6.6036869               | 6.6045138             |
| 6                                        | 6.1082581               | 6.1090752             | 6.3342367               | 6.3328891             | 6.6533248               | 6.6540890             |
| 8                                        | 6.1468456               | 6.1470676             | 6.3836065               | 6.3832403             | 6.7107121               | 6.7109198             |
| 10                                       | 6.1907894               | 6.1908381             | 6.4383651               | 6.4382847             | 6.7737566               | 6.7738022             |
| 12                                       | 6.2391498               | 6.2389207             | 6.4972378               | 6.4976157             | 6.8408776               | 6.8406633             |
| 14                                       | 6.2911285               | 6.2906708             | 6.5591860               | 6.5599408             | 6.9108223               | 6.9103943             |
| 16                                       | 6.3460282               | 6.3453233             | 6.6233419               | 6.6245044             | 6.9825763               | 6.9819171             |
| 18                                       | 6.4032324               | 6.4024016             | 6.6889726               | 6.6903427             | 7.0553120               | 7.0545350             |
| 20                                       | 6.4621933               | 6.4618089             | 6.7554576               | 6.7560915             | 7.1283541               | 7.1279946             |
| f(GHz)                                   | W/H=2                   |                       | W/H=4                   |                       | W/H=8                   |                       |
|                                          | $\epsilon_{eff}$ -hedef | $\epsilon_{eff}$ -YSA | $\epsilon_{eff}$ -hedef | $\epsilon_{eff}$ -YSA | $\epsilon_{eff}$ -hedef | $\epsilon_{eff}$ -YSA |
| 2                                        | 7.0221554               | 7.0220575             | 7.5827562               | 7.582813              | 8.1925506               | 8.1924132             |
| 4                                        | 7.0857246               | 7.0853256             | 7.6787836               | 7.6788072             | 8.3138552               | 8.3134562             |
| 6                                        | 7.1611733               | 7.1608046             | 7.7827255               | 7.7827473             | 8.4311249               | 8.4311249             |
| 8                                        | 7.2432849               | 7.2431847             | 7.8874469               | 7.8874528             | 8.5386571               | 8.5386258             |
| 10                                       | 7.3288366               | 7.3288146             | 7.9893465               | 7.9893478             | 8.6351696               | 8.6352573             |
| 12                                       | 7.4156370               | 7.4157404             | 8.0865471               | 8.0865410             | 8.7210062               | 8.7219831             |
| 14                                       | 7.5021489               | 7.5023554             | 8.1781406               | 8.1781284             | 8.7971063               | 8.7974569             |
| 16                                       | 7.5872901               | 7.5876082             | 8.2637888               | 8.2637700             | 8.8645726               | 8.8642457             |
| 18                                       | 7.6703079               | 7.6706828             | 8.3434914               | 8.3434693             | 8.9244869               | 8.9241245             |
| 20                                       | 7.7506940               | 7.7508674             | 8.4174434               | 8.4174332             | 8.9778366               | 8.9773245             |

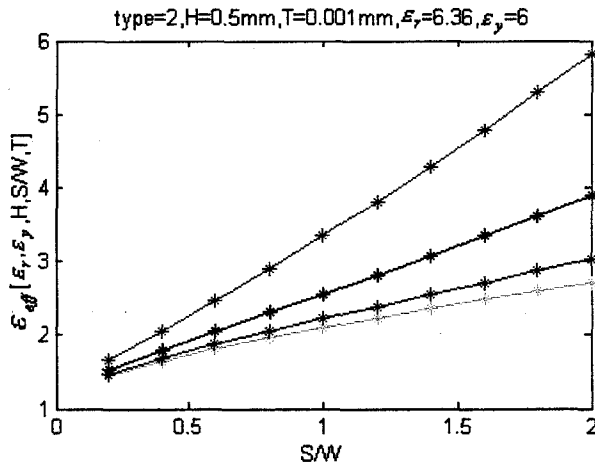


Şekil 5.4 YSA Sentez kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen alumina taban maddesine sahip mikroşerit hattın efektif dielektrik sabitinin karakteristik empedans ile değişim grafiği.

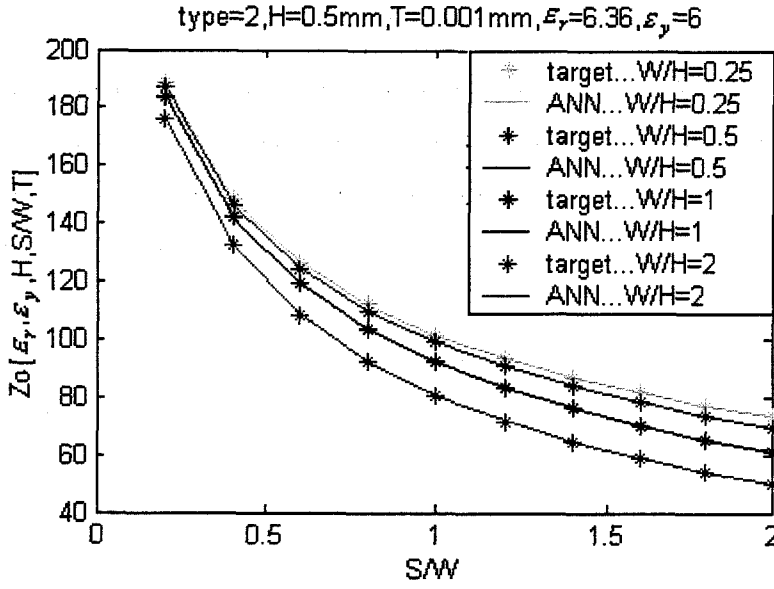
Çizelge 5.2 YSA sentez kara-kutu modeli test sonuçları: Mikroşerit iletim hattında efektif dielektrik sabitinin karakteristik empedans ile değişimi

| Type= 1, H=0.5, T=0.01, $\epsilon_r = 9.7$ |                         |                       |               |                         |                       |
|--------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------|-------------------------|-----------------------|
| W/H=0.25                                   |                         |                       | W/H=0.5       |                         |                       |
| $Z_0(\Omega)$                              | $\epsilon_{eff}$ -hedef | $\epsilon_{eff}$ -YSA | $Z_0(\Omega)$ | $\epsilon_{eff}$ -hedef | $\epsilon_{eff}$ -YSA |
| 80.755581                                  | 6.0523403               | 6.0559584             | 64.867231     | 6.2590473               | 6.2608043             |
| 80.977488                                  | 6.0761997               | 6.0752646             | 65.101870     | 6.2919071               | 6.2904411             |
| 81.274773                                  | 6.1082581               | 6.1069589             | 65.402980     | 6.3342367               | 6.3355552             |
| 81.631281                                  | 6.1468456               | 6.1490751             | 65.752558     | 6.3836065               | 6.3823303             |
| 82.035536                                  | 6.1907894               | 6.1887185             | 66.138290     | 6.4383651               | 6.4396881             |
| 82.478307                                  | 6.2391498               | 6.2404892             | 66.550687     | 6.4972378               | 6.4958920             |
| 82.951769                                  | 6.2911285               | 6.2904465             | 66.982081     | 6.5591860               | 6.5602820             |
| 83.449141                                  | 6.3460282               | 6.3472101             | 67.426141     | 6.6233419               | 6.6232003             |
| 83.964487                                  | 6.4032324               | 6.3989054             | 67.877609     | 6.6889726               | 6.6867914             |
| 84.492608                                  | 6.4621933               | 6.4613183             | 68.332117     | 6.7554576               | 6.7551584             |
| W/H=1                                      |                         |                       | W/H=2         |                         |                       |
| $Z_0(\Omega)$                              | $\epsilon_{eff}$ -hedef | $\epsilon_{eff}$ -YSA | $Z_0(\Omega)$ | $\epsilon_{eff}$ -hedef | $\epsilon_{eff}$ -YSA |
| 48.452937                                  | 6.5649063               | 6.5667781             | 33.499296     | 7.0221554               | 7.0260839             |
| 48.647121                                  | 6.6036869               | 6.6025755             | 33.700714     | 7.0857246               | 7.0836814             |
| 48.894622                                  | 6.6533248               | 6.6534929             | 33.938315     | 7.1611733               | 7.1600640             |
| 49.179315                                  | 6.7107121               | 6.7113803             | 34.195134     | 7.2432849               | 7.2471157             |
| 49.490312                                  | 6.7737566               | 6.7725238             | 34.460796     | 7.3288366               | 7.3253192             |
| 49.819425                                  | 6.8408776               | 6.8424345             | 34.728378     | 7.4156370               | 7.4152665             |
| 50.160234                                  | 6.9108223               | 6.9090634             | 34.993148     | 7.5021489               | 7.5068228             |
| 50.507621                                  | 6.9825763               | 6.9845766             | 35.251889     | 7.5872901               | 7.5819700             |
| 50.857491                                  | 7.0553120               | 7.0528386             | 35.502459     | 7.6703079               | 7.6726906             |
| 51.206576                                  | 7.1283541               | 7.1276852             | 35.743500     | 7.7506940               | 7.7451293             |

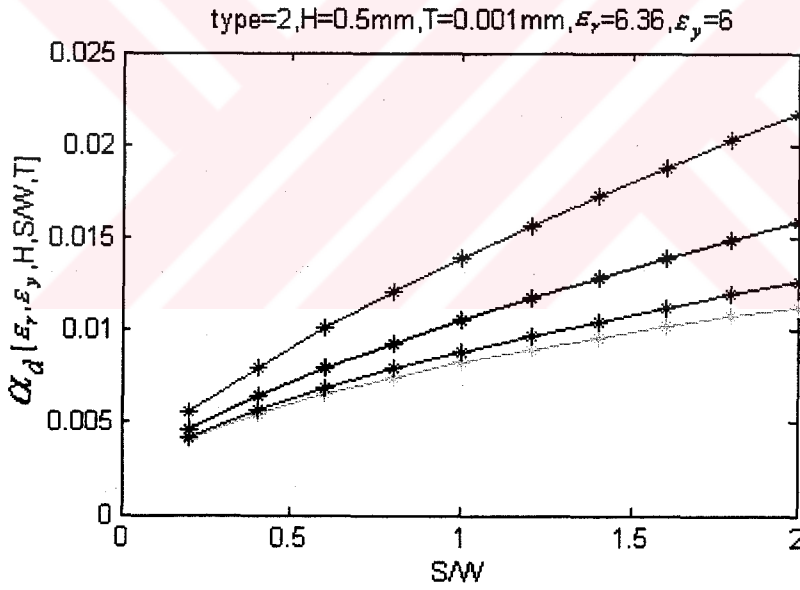
## 5.2 Eş Düzlemli Dalga Kılavuzu için Analiz ve Sentez YSA Kara – Kutu Modeli Sonuçları



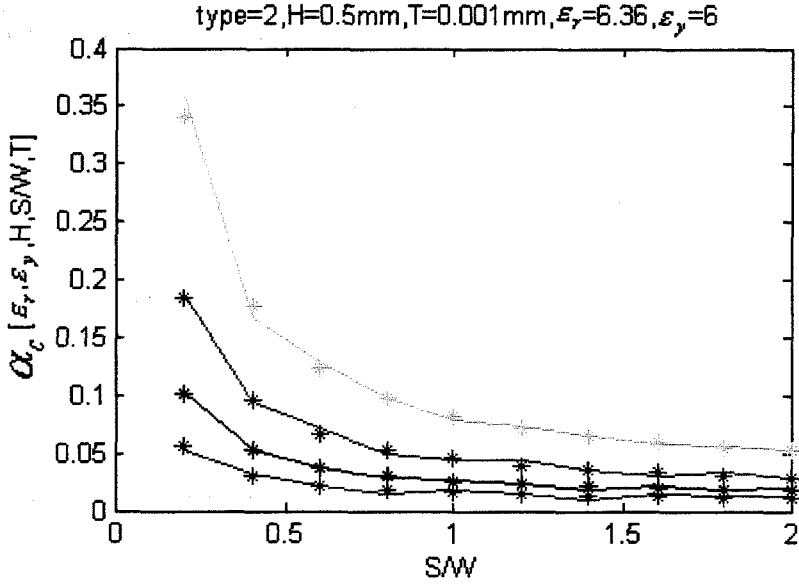
Şekil 5.5 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen RT/Duroid taban maddesine sahip eş düzlemli dalga kılavuzunun efektif dielektrik sabitinin değişim grafiği.



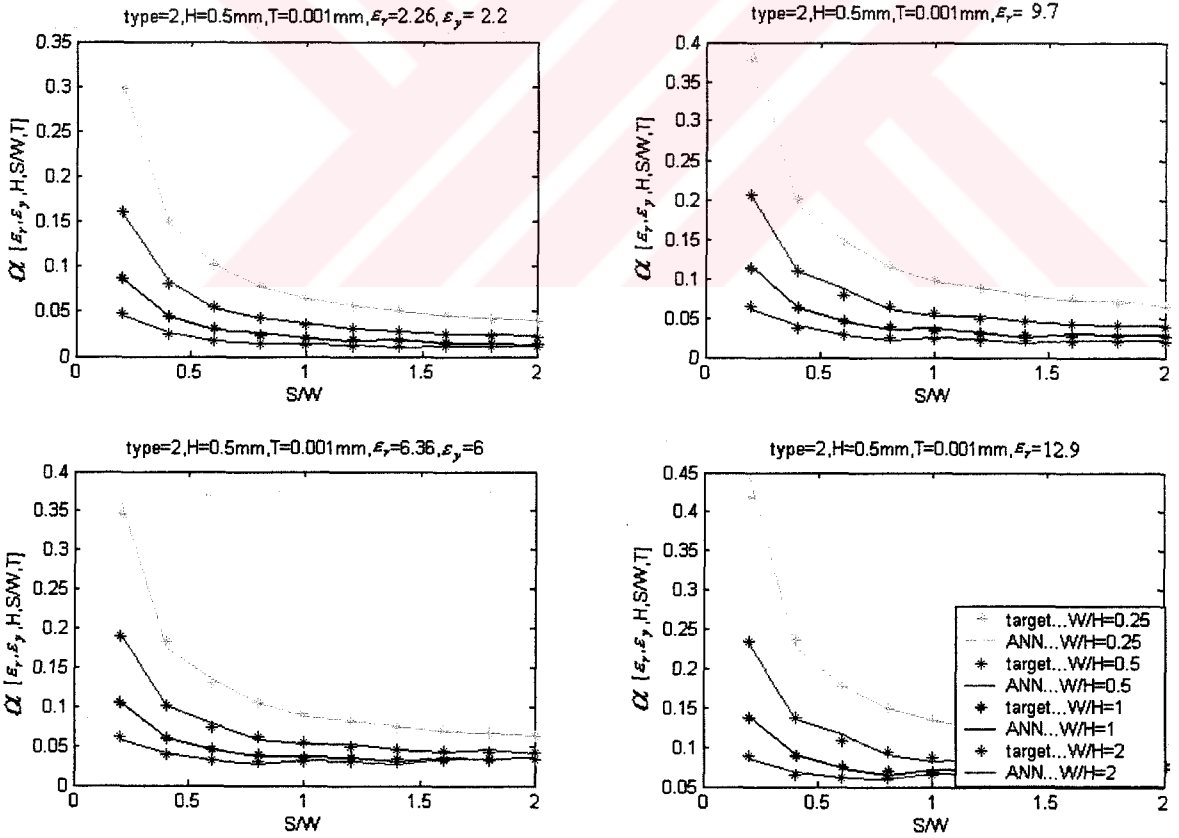
Şekil 5.6 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen RT/ Duroid taban maddesine sahip eş düzlemlı dalga kılavuzunun karakteristik empedansının değışim grafiği.



Şekil 5.7 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen RT/ Duroid taban maddesine sahip eş düzlemlı dalga kılavuzunun dielektrik zayıflatmasının değışim grafiği(dB/cm).



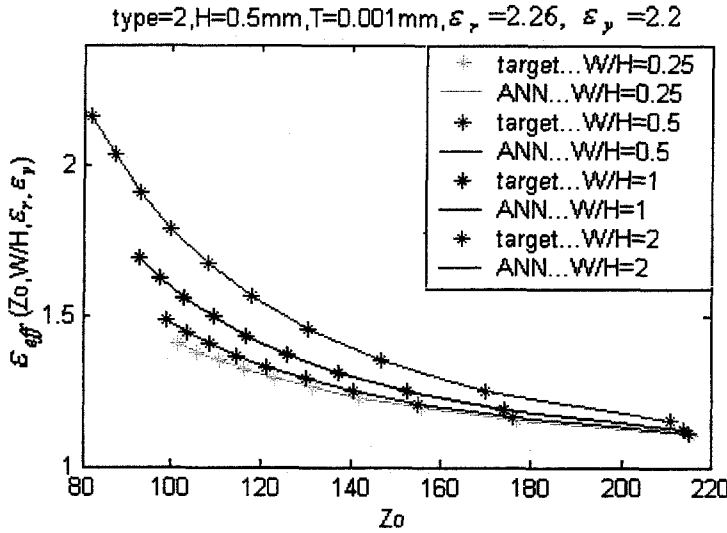
Şekil 5.8 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen RT/ Duroid taban maddesine sahip eş düzlemlı dalga kılavuzunun iletken zayıflatmasının değışim grafiğı(dB/cm).



Şekil 5.9 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen dört farklı taban maddesine sahip eş düzlemlı dalga kılavuzunda oluşan toplam zayıflatmanın değışim grafikleri(dB/cm).

Çizelge 5.3 YSA analiz kara-kutu modeli test sonuçları: Eş düzlemlı dalga kılavuzunda toplam zayıflatmanın değışimi.

| Type= 2, H=0.5mm, T=0.001mm, W/H=1    |                 |                |                                     |                |
|---------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|----------------|
| $\epsilon_r = 2.26, \epsilon_y = 2.2$ |                 |                | $\epsilon_r = 6.36, \epsilon_y = 6$ |                |
| S/W                                   | $\alpha$ -hedef | $\alpha$ -YSA  | $\alpha$ -hedef                     | $\alpha$ -YSA  |
| 0.2                                   | 8.7229286e-002  | 8.7038405e-002 | 1.0557280e-001                      | 1.0713860e-001 |
| 0.4                                   | 4.3957940e-002  | 4.4607840e-002 | 5.9403358e-002                      | 5.9796464e-002 |
| 0.6                                   | 3.0439139e-002  | 2.8964709e-002 | 4.5502391e-002                      | 4.5838991e-002 |
| 0.8                                   | 2.4053686e-002  | 2.6027775e-002 | 3.9385120e-002                      | 3.7702086e-002 |
| 1.0                                   | 2.0435806e-002  | 1.9631485e-002 | 3.6283925e-002                      | 3.8037662e-002 |
| 1.2                                   | 1.8167644e-002  | 1.6886155e-002 | 3.4643412e-002                      | 3.5188920e-002 |
| 1.4                                   | 1.6654089e-002  | 1.8823476e-002 | 3.3809359e-002                      | 3.1021727e-002 |
| 1.6                                   | 1.5602785e-002  | 1.4299716e-002 | 3.3460544e-002                      | 3.5587823e-002 |
| 1.8                                   | 1.4853753e-002  | 1.5077978e-002 | 3.3421624e-002                      | 3.3726607e-002 |
| 2.0                                   | 1.4312295e-002  | 1.3484353e-002 | 3.3589351e-002                      | 3.6078131e-002 |
| $\epsilon_r = 9.7$                    |                 |                | $\epsilon_r = 12.9$                 |                |
| S/W                                   | $\alpha$ -hedef | $\alpha$ -YSA  | $\alpha$ -hedef                     | $\alpha$ -YSA  |
| 0.2                                   | 1.1368250e-001  | 1.1621795e-001 | 1.3789117e-001                      | 1.3832778e-001 |
| 0.4                                   | 6.2365330e-002  | 6.3347521e-002 | 8.8268433e-002                      | 9.0840015e-002 |
| 0.6                                   | 4.5924773e-002  | 4.5044566e-002 | 7.4575380e-002                      | 7.3997007e-002 |
| 0.8                                   | 3.8058679e-002  | 3.5911479e-002 | 6.9541884e-002                      | 6.5421676e-002 |
| 1.0                                   | 3.3573834e-002  | 3.6644142e-002 | 6.7831005e-002                      | 7.1256410e-002 |
| 1.2                                   | 3.0756544e-002  | 3.1760300e-002 | 6.7702067e-002                      | 7.0771655e-002 |
| 1.4                                   | 2.8878622e-002  | 2.4790735e-002 | 6.8425064e-002                      | 6.3588314e-002 |
| 1.6                                   | 2.7579007e-002  | 2.9525051e-002 | 6.9643631e-002                      | 6.9475793e-002 |
| 1.8                                   | 2.6658708e-002  | 2.8076742e-002 | 7.1164751e-002                      | 7.4774463e-002 |
| 2.0                                   | 2.5999342e-002  | 2.7724812e-002 | 7.2875988e-002                      | 7.2220476e-002 |



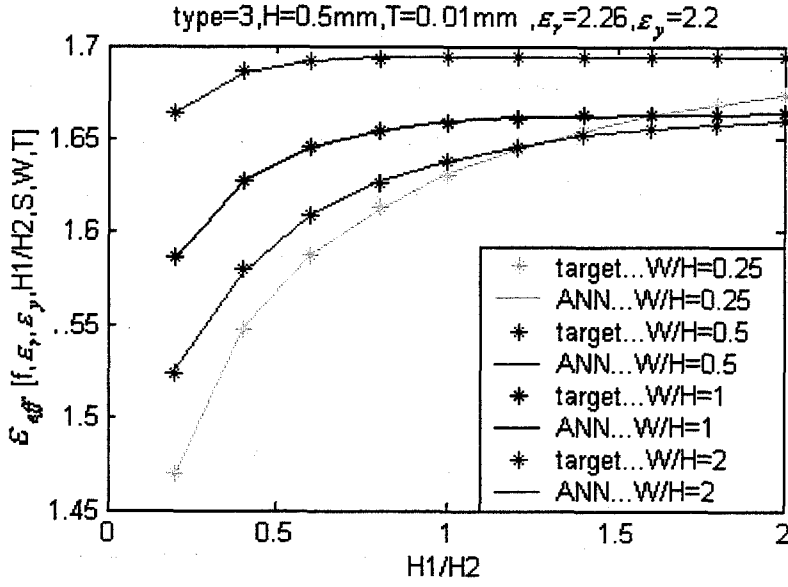
Şekil 5.10 YSA Sentez kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen PTFE/mikrofiber cam taban maddesine sahip eş düzlemlı dalga kılavuzunun efektif dielektrik sabitinin değışim grafiğı.

Çizelge 5.4 YSA sentez kara-kutu modeli test sonuçları: Eş düzlemlı dalga kılavuzunda efektif dielektrik sabitinin karakteristik empedans ile değışimi.

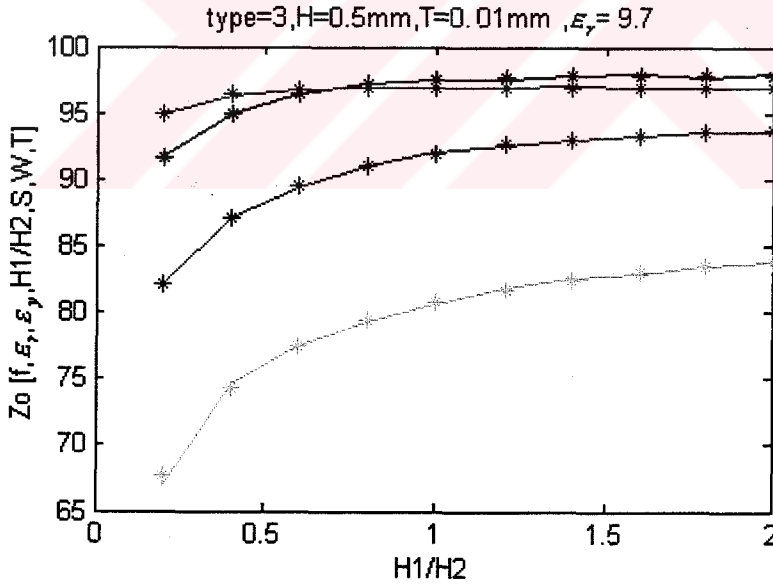
| Type= 2, H=0.5mm, T=0.001mm, W/H=0.25 |                  |                |                                     |                  |                |
|---------------------------------------|------------------|----------------|-------------------------------------|------------------|----------------|
| $\epsilon_r = 2.26, \epsilon_y = 2.2$ |                  |                | $\epsilon_r = 6.36, \epsilon_y = 6$ |                  |                |
| $Z_o(\Omega)$                         | $E_{eff}$ -hedef | $E_{eff}$ -YSA | $Z_o(\Omega)$                       | $E_{eff}$ -hedef | $E_{eff}$ -YSA |
| 215.61178                             | 1.1077132        | 1.1005173      | 188.24129                           | 1.4532574        | 1.4411744      |
| 177.09902                             | 1.1541728        | 1.1549144      | 148.17959                           | 1.6486420        | 1.6598158      |
| 155.92027                             | 1.1935328        | 1.1979314      | 126.47073                           | 1.8140928        | 1.8214666      |
| 141.68473                             | 1.2290656        | 1.2352221      | 112.10063                           | 1.9633832        | 1.9642665      |
| 131.15988                             | 1.2620643        | 1.2699804      | 101.63185                           | 2.1019573        | 2.1016984      |
| 122.92166                             | 1.2932229        | 1.3038108      | 93.550574                           | 2.2327356        | 2.2288497      |
| 116.22045                             | 1.3229758        | 1.3308356      | 87.061922                           | 2.3575480        | 2.3476823      |
| 110.61537                             | 1.3516217        | 1.3512946      | 81.700162                           | 2.4776520        | 2.4621157      |
| 105.82647                             | 1.3793783        | 1.3678183      | 77.170955                           | 2.5939657        | 2.5767201      |
| 101.66566                             | 1.4064115        | 1.3828085      | 73.277609                           | 2.7071881        | 2.6956418      |
| $\epsilon_r = 9.7$                    |                  |                | $\epsilon_r = 12.9$                 |                  |                |
| $Z_o(\Omega)$                         | $E_{eff}$ -hedef | $E_{eff}$ -YSA | $Z_o(\Omega)$                       | $E_{eff}$ -hedef | $E_{eff}$ -YSA |
| 170.94057                             | 1.7623088        | 1.7438930      | 158.77570                           | 2.0426983        | 2.0538344      |
| 131.56634                             | 2.0912865        | 2.0979468      | 120.50869                           | 2.4926793        | 2.4849315      |
| 110.64603                             | 2.3701066        | 2.3669903      | 100.47831                           | 2.8740538        | 2.8622874      |
| 97.006474                             | 2.6219217        | 2.6251122      | 87.555706                           | 3.2184907        | 3.2061995      |
| 87.190989                             | 2.8558825        | 2.8625188      | 78.330663                           | 3.5385059        | 3.5181024      |
| 79.690882                             | 3.0768969        | 3.0843261      | 71.326929                           | 3.8408131        | 3.8151545      |
| 73.720805                             | 3.2880386        | 3.2975177      | 65.781487                           | 4.1296160        | 4.1070456      |
| 68.824348                             | 3.4914186        | 3.5087822      | 61.253655                           | 4.4078024        | 4.3891013      |
| 64.715239                             | 3.6885770        | 3.7237121      | 57.468528                           | 4.6774789        | 4.6654295      |
| 61.203510                             | 3.8806846        | 3.9460645      | 54.244559                           | 4.9402468        | 4.9469590      |



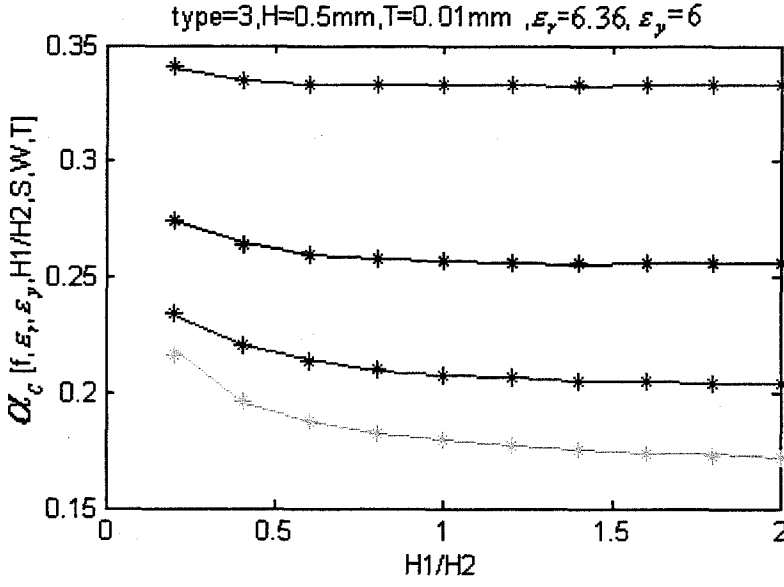
### 5.3 Ekranlamalı Eş Düzlemli Dalga Kılavuzu için Analiz ve Sentez YSA Kara – Kutu Modeli Sonuçları



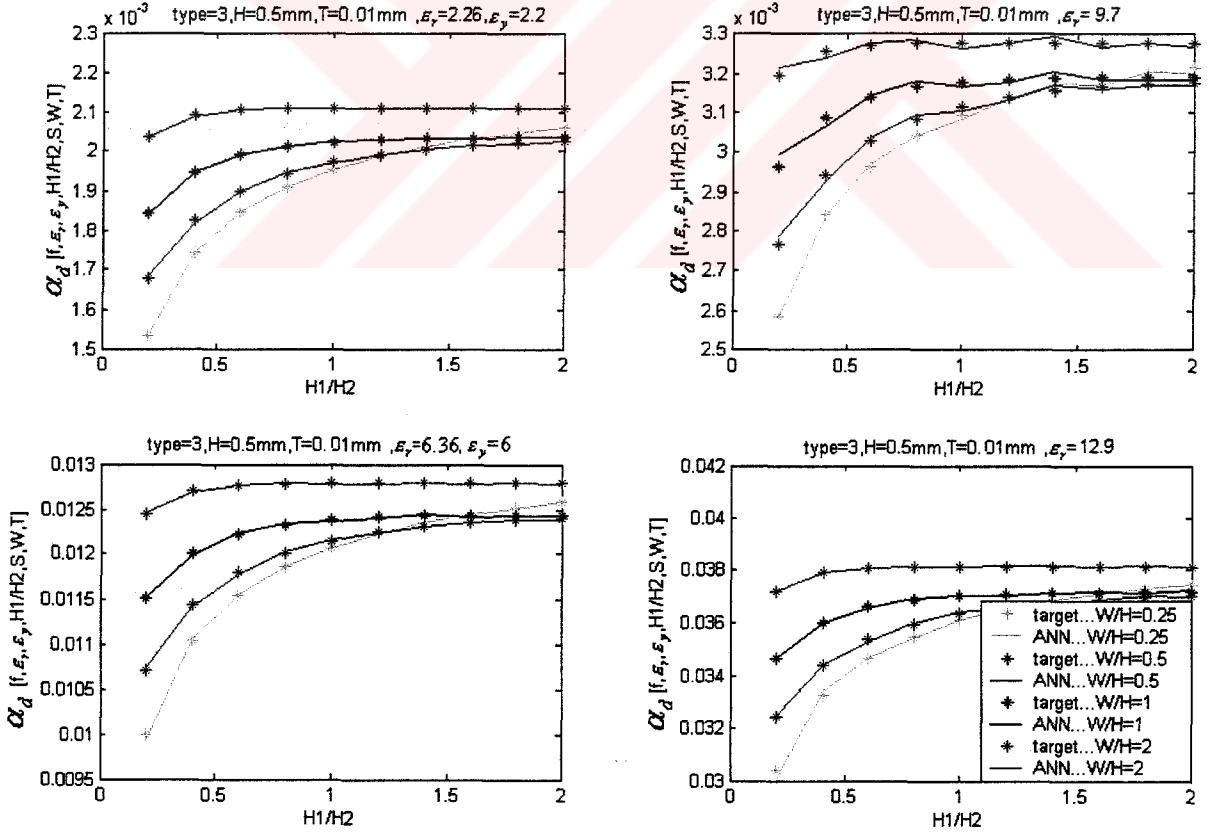
Şekil 5.11 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen PTFE/ mikrofiber cam taban maddesine sahip ekranlamalı eş düzlemli dalga kılavuzunun efektif dielektrik sabitinin değişim grafiği.



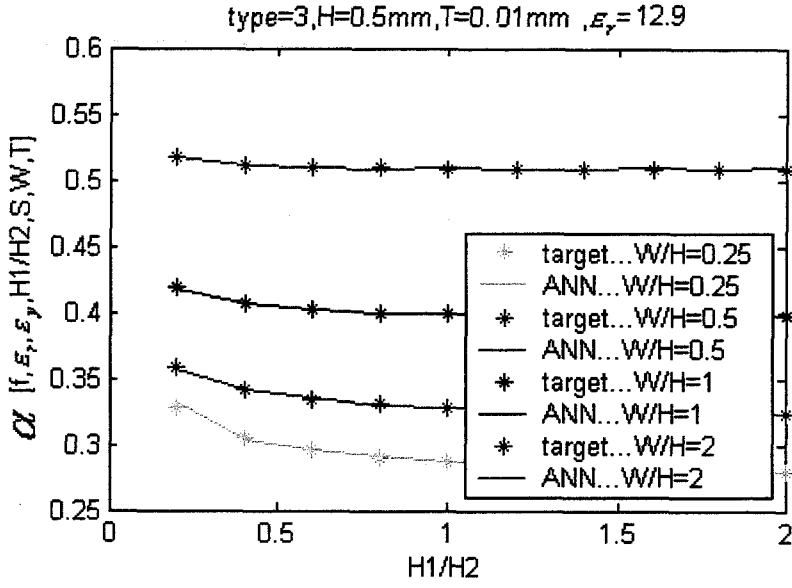
Şekil 5.12 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen alumina taban maddesine sahip ekranlamalı eş düzlemli dalga kılavuzunun karakteristik empedansının değişim grafiği.



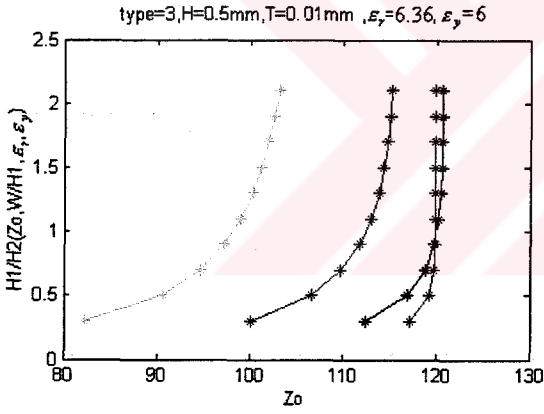
Şekil 5.13 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen RT/ Duroid taban maddesine sahip ekranlamalı eş düzlemlı dalga kılavuzunun iletken zayıflatmasının grafiği(dB/cm).



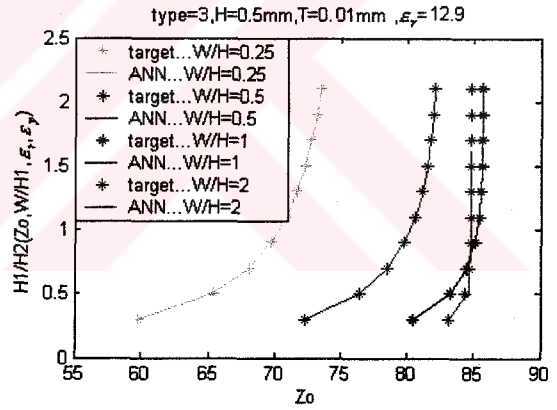
Şekil 5.14 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen dört farklı taban maddesine sahip ekranlamalı eş düzlemlı dalga kılavuzunun dielektrik zayıflatmasının grafikleri(dB/cm).



Şekil 5.15 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen galyum-arsenit taban maddesine sahip ekranlamalı eş düzlemlı dalga kılavuzundaki toplam zayıflatmanın grafiğı(dB/cm).



(a)



(b)

Şekil 5.16 YSA Sentez kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen (a) RT/ Duroid, (b) galyum-arsenit taban maddesine sahip ekranlamalı eş düzlemlı dalga kılavuzunun  $H1/H2$  değışim grafiğı.

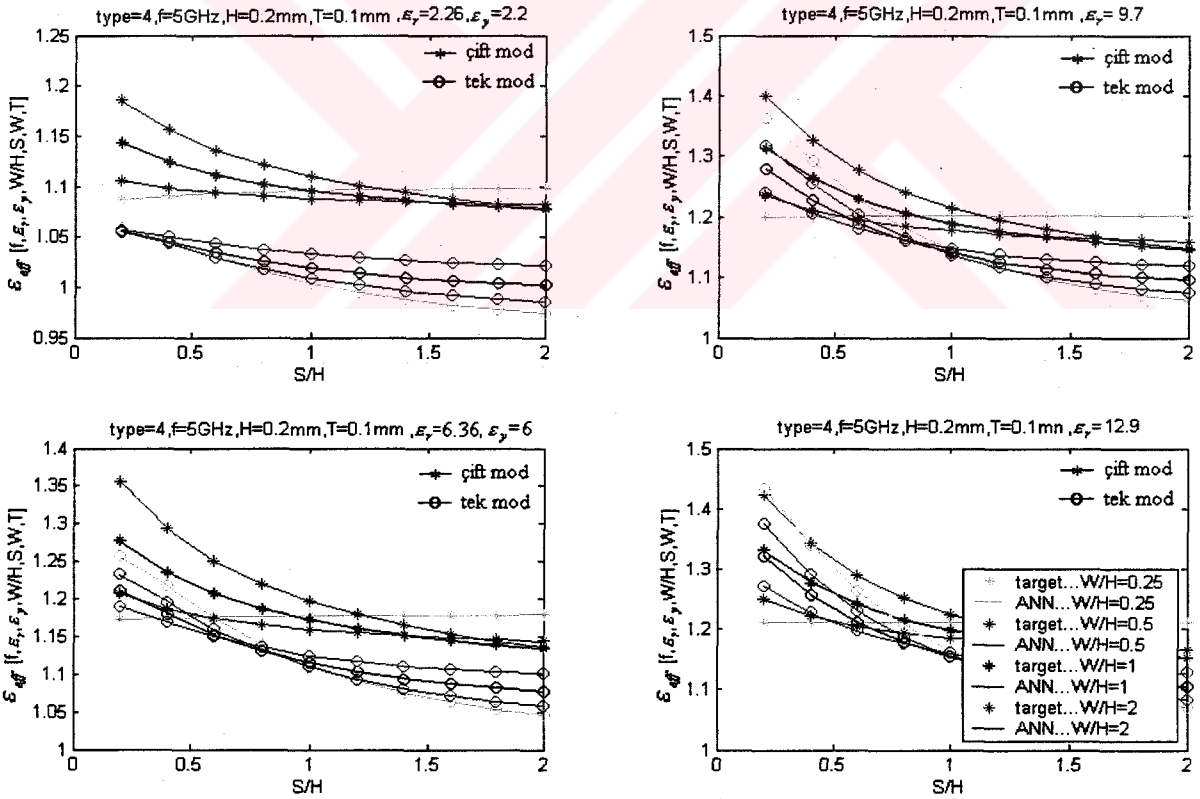
Çizelge 5.5 YSA analiz kara-kutu modeli test sonuçları: Ekranlamalı eş düzlemlı dalga kılavuzunda dielektrik kayıplarından dolayı oluşan zayıflatmanın değışimi.

| Type= 3, H1= 0.5mm, T= 0.01mm, W/H1= 2, f=8 GHz |                   |                 |                                     |                 |
|-------------------------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|
| $\epsilon_r = 2.26, \epsilon_y = 2.2$           |                   |                 | $\epsilon_r = 6.36, \epsilon_y = 6$ |                 |
| H1/H2                                           | $\alpha_d$ -hedef | $\alpha_d$ -YSA | $\alpha_d$ -hedef                   | $\alpha_d$ -YSA |
| 0.3                                             | 2.0364562e-003    | 2.0375800e-003  | 1.2441127e-002                      | 1.2457846e-002  |
| 0.5                                             | 2.0901776e-003    | 2.0892416e-003  | 1.2697893e-002                      | 1.2685790e-002  |
| 0.7                                             | 2.1043057e-003    | 2.1043047e-003  | 1.2765195e-002                      | 1.2766212e-002  |
| 0.9                                             | 2.1081595e-003    | 2.1090186e-003  | 1.2783538e-002                      | 1.2794056e-002  |
| 1.1                                             | 2.1092194e-003    | 2.1085574e-003  | 1.2788581e-002                      | 1.2779628e-002  |
| 1.3                                             | 2.1095114e-003    | 2.1093387e-003  | 1.2789971e-002                      | 1.2785897e-002  |
| 1.5                                             | 2.1095920e-003    | 2.1100743e-003  | 1.2790354e-002                      | 1.2802819e-002  |
| 1.7                                             | 2.1096142e-003    | 2.1093636e-003  | 1.2790460e-002                      | 1.2782785e-002  |
| 1.9                                             | 2.1096203e-003    | 2.1097233e-003  | 1.2790489e-002                      | 1.2788241e-002  |
| 2.1                                             | 2.1096220e-003    | 2.1097139e-003  | 1.2790497e-002                      | 1.2781157e-002  |
| $\epsilon_r = 9.7$                              |                   |                 | $\epsilon_r = 12.9$                 |                 |
| H1/H2                                           | $\alpha_d$ -hedef | $\alpha_d$ -YSA | $\alpha_d$ -hedef                   | $\alpha_d$ -YSA |
| 0.3                                             | 3.1939616e-003    | 3.2143205e-003  | 3.7206754e-002                      | 3.7185341e-002  |
| 0.5                                             | 3.2559583e-003    | 3.2398848e-003  | 3.7903887e-002                      | 3.7913133e-002  |
| 0.7                                             | 3.2721999e-003    | 3.2790186e-003  | 3.8086519e-002                      | 3.8088727e-002  |
| 0.9                                             | 3.2766257e-003    | 3.2860170e-003  | 3.8136287e-002                      | 3.8130325e-002  |
| 1.1                                             | 3.2778426e-003    | 3.2640282e-003  | 3.8149970e-002                      | 3.8143707e-002  |
| 1.3                                             | 3.2781779e-003    | 3.2769913e-003  | 3.8153740e-002                      | 3.8164385e-002  |
| 1.5                                             | 3.2782704e-003    | 3.2941420e-003  | 3.8154780e-002                      | 3.8163160e-002  |
| 1.7                                             | 3.2782959e-003    | 3.2660429e-003  | 3.8155067e-002                      | 3.8132424e-002  |
| 1.9                                             | 3.2783029e-003    | 3.2772984e-003  | 3.8155146e-002                      | 3.8166905e-002  |
| 2.1                                             | 3.2783048e-003    | 3.2659861e-003  | 3.8155168e-002                      | 3.8129591e-002  |

Çizelge 5.6 YSA sentez kara-kutu modeli test sonuçları: Ekranlamalı Eş düzlemlı dalga kılavuzunda H1/H2 değeri nin karakteristik empedans ile değışimi

| Type= 3, H=0.5mm, T=0.01mm, W/H=0.5, f= 8 GHz |             |           |                     |             |           |
|-----------------------------------------------|-------------|-----------|---------------------|-------------|-----------|
| $\epsilon_r = 6.36, \epsilon_y = 6$           |             |           | $\epsilon_r = 12.9$ |             |           |
| $Z_o(\Omega)$                                 | H1/H2-hedef | H1/H2-YSA | $Z_o(\Omega)$       | H1/H2-hedef | H1/H2-YSA |
| 100.10512                                     | 0.3000000   | 0.3000034 | 72.273280           | 0.3000000   | 0.3000032 |
| 106.58440                                     | 0.5000000   | 0.5000032 | 76.469476           | 0.5000000   | 0.5000031 |
| 109.84439                                     | 0.7000000   | 0.7000029 | 78.570924           | 0.7000000   | 0.6999918 |
| 111.79430                                     | 0.9000000   | 0.8999959 | 79.825376           | 0.9000000   | 0.8997845 |
| 113.05032                                     | 1.1000000   | 1.0998772 | 80.632536           | 1.1000000   | 1.0957731 |
| 113.89056                                     | 1.3000000   | 1.2976311 | 81.172136           | 1.3000000   | 1.2694037 |
| 114.46464                                     | 1.5000000   | 1.4779106 | 81.540652           | 1.5000000   | 1.4885536 |
| 114.86181                                     | 1.7000000   | 1.6590208 | 81.795530           | 1.7000000   | 1.7156800 |
| 115.13872                                     | 1.9000000   | 1.9394964 | 81.973194           | 1.9000000   | 1.8921623 |
| 115.33273                                     | 2.1000000   | 2.1137870 | 82.097656           | 2.1000000   | 2.1248566 |

#### 5.4 Kuplajlı Mikroşerit Hat için Analiz ve Sentez YSA Kara – Kutu Modeli Sonuçları



Şekil 5.17 YSA Analiz kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen dört farklı taban maddesine sahip kuplajlı mikroşerit iletim hattında efektif dielektrik sabitinin değışim grafiğı.

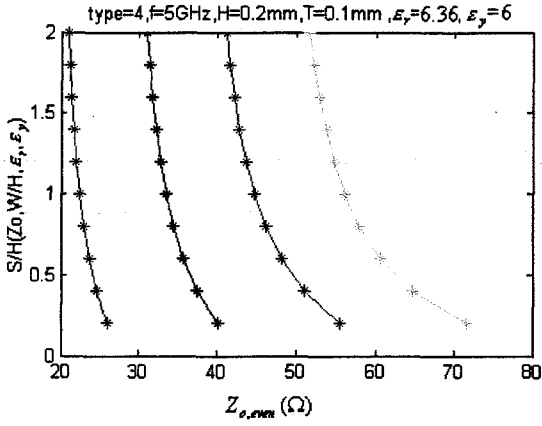
Çizelge 5.7 YSA analiz kara-kutu modeli test sonuçları: Kuplajlı mikroşerit iletim hattında tek ve çift modda karakteristik empedansın değişimi.

| Type= 4, H= 0.2mm, T= 0.1mm, W/H= 1, f=5 GHz |                     |                   |                                     |                   |
|----------------------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------|
| $\epsilon_r = 2.26, \epsilon_y = 2.2$        |                     |                   | $\epsilon_r = 6.36, \epsilon_y = 6$ |                   |
| S/H                                          | $Z_{o,odd}$ -hedef  | $Z_{o,odd}$ -YSA  | $Z_{o,odd}$ -hedef                  | $Z_{o,odd}$ -YSA  |
| 0.2                                          | 27.736582           | 27.735418         | 17.399614                           | 17.328684         |
| 0.4                                          | 36.706941           | 36.692775         | 21.191838                           | 21.227362         |
| 0.6                                          | 41.855881           | 41.861181         | 23.191844                           | 23.158366         |
| 0.8                                          | 45.355638           | 45.360682         | 24.493831                           | 24.506729         |
| 1.0                                          | 47.933790           | 47.926557         | 25.423272                           | 25.434775         |
| 1.2                                          | 49.922749           | 49.923987         | 26.120486                           | 26.103540         |
| 1.4                                          | 51.504168           | 51.506624         | 26.659848                           | 26.666000         |
| 1.6                                          | 52.789529           | 52.790876         | 27.086276                           | 27.090977         |
| 1.8                                          | 53.852751           | 53.844428         | 27.429286                           | 27.419548         |
| 2.0                                          | 54.745457           | 54.740236         | 27.709353                           | 27.703895         |
| S/H                                          | $Z_{o,even}$ -hedef | $Z_{o,even}$ -YSA | $Z_{o,even}$ -hedef                 | $Z_{o,even}$ -YSA |
| 0.2                                          | 90.402427           | 90.424304         | 40.070309                           | 40.049894         |
| 0.4                                          | 84.863152           | 84.842160         | 37.493147                           | 37.503169         |
| 0.6                                          | 81.030787           | 81.052649         | 35.714236                           | 35.701844         |
| 0.8                                          | 78.307483           | 78.292591         | 34.454116                           | 34.460945         |
| 1.0                                          | 76.275001           | 76.274720         | 33.515809                           | 33.519246         |
| 1.2                                          | 74.700082           | 74.713053         | 32.789952                           | 32.783060         |
| 1.4                                          | 73.443828           | 73.428918         | 32.116944                           | 32.213951         |
| 1.6                                          | 72.418397           | 72.427615         | 31.740149                           | 31.742617         |
| 1.8                                          | 71.565519           | 71.559881         | 31.348264                           | 31.344610         |
| 2.0                                          | 70.845018           | 70.847529         | 31.017419                           | 31.016602         |
| $\epsilon_r = 9.7$                           |                     |                   | $\epsilon_r = 12.9$                 |                   |
| S/H                                          | $Z_{o,odd}$ -hedef  | $Z_{o,odd}$ -YSA  | $Z_{o,odd}$ -hedef                  | $Z_{o,odd}$ -YSA  |
| 0.2                                          | 13.144392           | 13.113506         | 10.728553                           | 10.729695         |
| 0.4                                          | 15.502162           | 15.511146         | 12.434282                           | 12.423105         |
| 0.6                                          | 16.717343           | 16.700158         | 13.306787                           | 13.295391         |
| 0.8                                          | 17.499433           | 17.518518         | 13.866913                           | 13.896993         |
| 1.0                                          | 18.051769           | 18.046025         | 14.261315                           | 14.247771         |
| 1.2                                          | 18.461115           | 18.447402         | 14.552353                           | 14.531211         |
| 1.4                                          | 18.773495           | 18.793698         | 14.773187                           | 14.800797         |
| 1.6                                          | 19.016838           | 19.008810         | 14.944025                           | 14.940717         |
| 1.8                                          | 19.209564           | 19.201040         | 15.078258                           | 15.061485         |
| 2.0                                          | 19.364468           | 19.349681         | 15.185212                           | 15.177303         |
| S/H                                          | $Z_{o,even}$ -hedef | $Z_{o,even}$ -YSA | $Z_{o,even}$ -hedef                 | $Z_{o,even}$ -YSA |
| 0.2                                          | 26.769331           | 26.771238         | 20.577858                           | 20.579782         |
| 0.4                                          | 24.992507           | 24.995754         | 19.202657                           | 19.202641         |
| 0.6                                          | 23.784572           | 23.770613         | 18.269004                           | 18.262489         |
| 0.8                                          | 22.934993           | 22.941197         | 17.612902                           | 17.617724         |
| 1.0                                          | 22.305427           | 22.309889         | 17.126997                           | 17.125584         |
| 1.2                                          | 21.820157           | 21.818487         | 16.752622                           | 16.753280         |
| 1.4                                          | 21.434646           | 21.435242         | 16.455305                           | 16.460306         |
| 1.6                                          | 21.209823           | 21.114227         | 16.213462                           | 16.202918         |
| 1.8                                          | 20.860785           | 20.866429         | 16.012883                           | 16.018339         |
| 2.0                                          | 20.641451           | 20.628315         | 15.843834                           | 15.829005         |

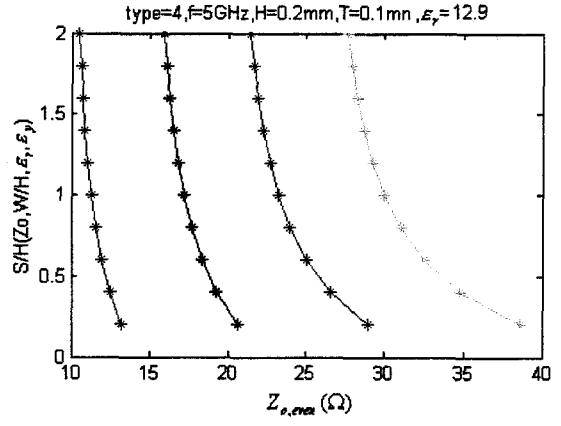
Çizelge 5.8 YSA analiz kara-kutu modeli test sonuçları: Kuplajlı mikroşerit iletim hattında tek ve çift modda efektif dielektrik sabitinin değişimi.

| Type= 4, H= 0.2mm, T= 0.1mm, W/H= 1, f=5 GHz |                         |                                     |                         |                       |
|----------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| $\epsilon_r = 2.26, \epsilon_y = 2.2$        |                         | $\epsilon_r = 6.36, \epsilon_y = 6$ |                         |                       |
| S/H                                          | $E_{eff, odd}^{hedef}$  | $E_{eff, odd}^{YSA}$                | $E_{eff, odd}^{hedef}$  | $E_{eff, odd}^{YSA}$  |
| 0.2                                          | 1.0550504               | 1.0548510                           | 1.2105852               | 1.2097995             |
| 0.4                                          | 1.0454311               | 1.0455142                           | 1.1799857               | 1.1802771             |
| 0.6                                          | 1.0348818               | 1.0348713                           | 1.1523696               | 1.1520103             |
| 0.8                                          | 1.0260450               | 1.0259614                           | 1.1309980               | 1.1312660             |
| 1.0                                          | 1.0190193               | 1.0190949                           | 1.1147996               | 1.1147917             |
| 1.2                                          | 1.0135473               | 1.0135839                           | 1.1026051               | 1.1023849             |
| 1.4                                          | 1.0093356               | 1.0092243                           | 1.0934695               | 1.0937093             |
| 1.6                                          | 1.0061201               | 1.0061983                           | 1.0866582               | 1.0865921             |
| 1.8                                          | 1.0036794               | 1.0036623                           | 1.0816048               | 1.0814757             |
| 2.0                                          | 1.0018346               | 1.0018806                           | 1.0778748               | 1.0776950             |
| S/H                                          | $E_{eff, even}^{hedef}$ | $E_{eff, even}^{YSA}$               | $E_{eff, even}^{hedef}$ | $E_{eff, even}^{YSA}$ |
| 0.2                                          | 1.1429394               | 1.1428444                           | 1.2773390               | 1.2769637             |
| 0.4                                          | 1.1240729               | 1.1241009                           | 1.2348529               | 1.2350180             |
| 0.6                                          | 1.1111911               | 1.1111562                           | 1.2062535               | 1.2060742             |
| 0.8                                          | 1.1021215               | 1.1021473                           | 1.1863496               | 1.1864583             |
| 1.0                                          | 1.0953981               | 1.0953975                           | 1.1717183               | 1.1717466             |
| 1.2                                          | 1.0902148               | 1.0901974                           | 1.1605101               | 1.1604054             |
| 1.4                                          | 1.0860970               | 1.0861108                           | 1.1516495               | 1.1517126             |
| 1.6                                          | 1.0827466               | 1.0827497                           | 1.1444689               | 1.1444901             |
| 1.8                                          | 1.0799675               | 1.0799497                           | 1.1385318               | 1.1384670             |
| 2.0                                          | 1.0776250               | 1.0776139                           | 1.1335409               | 1.1335208             |
| $\epsilon_r = 9.7$                           |                         | $\epsilon_r = 12.9$                 |                         |                       |
| S/H                                          | $E_{eff, odd}^{hedef}$  | $E_{eff, odd}^{YSA}$                | $E_{eff, odd}^{hedef}$  | $E_{eff, odd}^{YSA}$  |
| 0.2                                          | 1.2788834               | 1.2781607                           | 1.3218739               | 1.3218079             |
| 0.4                                          | 1.2279765               | 1.2281016                           | 1.2564409               | 1.2561101             |
| 0.6                                          | 1.1892413               | 1.1890571                           | 1.2105882               | 1.2105386             |
| 0.8                                          | 1.1610139               | 1.1613395                           | 1.1781204               | 1.1787274             |
| 1.0                                          | 1.1403348               | 1.1401183                           | 1.1546736               | 1.1542523             |
| 1.2                                          | 1.1251247               | 1.1249215                           | 1.1375657               | 1.1371593             |
| 1.4                                          | 1.1139274               | 1.1143578                           | 1.1250272               | 1.1256671             |
| 1.6                                          | 1.1056928               | 1.1055060                           | 1.1158255               | 1.1157696             |
| 1.8                                          | 1.0996500               | 1.0994857                           | 1.1090744               | 1.1086709             |
| 2.0                                          | 1.0952273               | 1.0949836                           | 1.1041263               | 1.1040790             |
| S/H                                          | $E_{eff, even}^{hedef}$ | $E_{eff, even}^{YSA}$               | $E_{eff, even}^{hedef}$ | $E_{eff, even}^{YSA}$ |
| 0.2                                          | 1.3137494               | 1.3132680                           | 1.3314427               | 1.3308848             |
| 0.4                                          | 1.2630320               | 1.2632529                           | 1.27694980              | 1.2772238             |
| 0.6                                          | 1.2295227               | 1.2292911                           | 1.2410472               | 1.2407865             |
| 0.8                                          | 1.2064186               | 1.2065350                           | 1.2163398               | 1.2164341             |
| 1.0                                          | 1.1895427               | 1.1896071                           | 1.1983168               | 1.1984095             |
| 1.2                                          | 1.1766761               | 1.1765497                           | 1.1845892               | 1.1844781             |
| 1.4                                          | 1.1665417               | 1.1665805                           | 1.1737850               | 1.1737983             |
| 1.6                                          | 1.1583528               | 1.1584108                           | 1.1650601               | 1.1651092             |
| 1.8                                          | 1.1515982               | 1.1515203                           | 1.1578670               | 1.1578135             |
| 2.0                                          | 1.1459315               | 1.1459407                           | 1.1518349               | 1.1518249             |



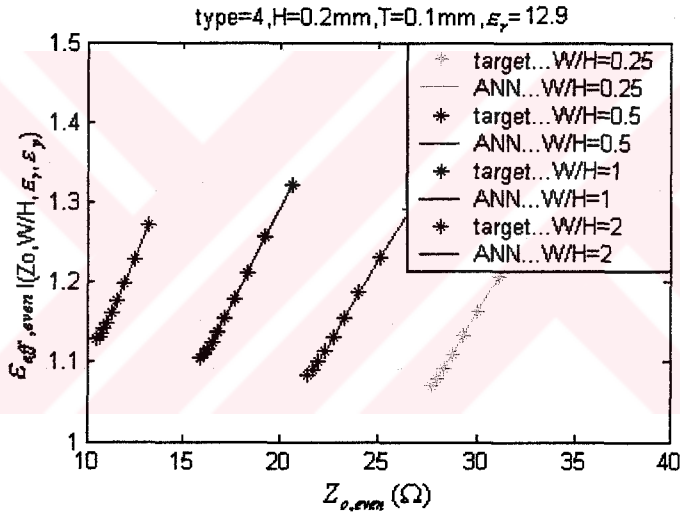


(a)



(b)

Şekil 5.22 YSA sentez kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen (a) RT/Duroid, (b) galyum-arsenit taban maddesine sahip kuplajlı mikroşerit iletim hattında S/H oranının değişim grafiği.



Şekil 5.23 YSA sentez kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen galyum-arsenit taban maddesine sahip kuplajlı mikroşerit iletim hattında efektif dielektrik sabitinin değişim grafiği.

Çizelge 5.9 YSA sentez kara-kutu modeli test sonuçları: Kuplajlı mikroşerit iletim hattında tek ve çift modda efektif dielektrik sabitinin değişimi.

| Type=4, H=0.2mm, T=0.1mm, $\epsilon_r = 6.36$ , $\epsilon_p = 6$ |                       |                     |                       |                       |                     |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| W/H = 0.25                                                       |                       |                     | W/H = 0.5             |                       |                     |
| $Z_{o,even} (\Omega)$                                            | $E_{eff,even}$ -hedef | $E_{eff,even}$ -YSA | $Z_{o,even} (\Omega)$ | $E_{eff,even}$ -hedef | $E_{eff,even}$ -YSA |
| 71.745027                                                        | 1.1717396             | 1.1717396           | 55.593963             | 1.2067765             | 1.2067765           |
| 64.715268                                                        | 1.1740958             | 1.1740958           | 51.071454             | 1.1865990             | 1.1865990           |
| 60.562993                                                        | 1.1754898             | 1.1754898           | 48.162486             | 1.1737905             | 1.1737907           |
| 57.906774                                                        | 1.1763824             | 1.1763829           | 46.198482             | 1.1652176             | 1.1652227           |
| 56.063900                                                        | 1.1770021             | 1.1770144           | 44.785150             | 1.1590855             | 1.1591257           |
| 54.710453                                                        | 1.1774575             | 1.1775558           | 43.719391             | 1.1544819             | 1.1546540           |
| 53.674318                                                        | 1.1778061             | 1.1780992           | 42.887023             | 1.1508986             | 1.1511031           |
| 52.855613                                                        | 1.1780817             | 1.1780602           | 42.218940             | 1.1480303             | 1.1477751           |
| 52.192398                                                        | 1.1783050             | 1.1783563           | 41.670872             | 1.1456824             | 1.1458781           |
| 51.644217                                                        | 1.1784896             | 1.1785369           | 41.213143             | 1.1437250             | 1.1439087           |
| W/H = 1                                                          |                       |                     | W/H = 2               |                       |                     |
| $Z_{o,even} (\Omega)$                                            | $E_{eff,even}$ -hedef | $E_{eff,even}$ -YSA | $Z_{o,even} (\Omega)$ | $E_{eff,even}$ -hedef | $E_{eff,even}$ -YSA |
| 40.070309                                                        | 1.2773390             | 1.2773390           | 25.923847             | 1.3559266             | 1.3559664           |
| 37.493147                                                        | 1.2348529             | 1.2348535           | 24.568917             | 1.2931456             | 1.2938520           |
| 35.714236                                                        | 1.2062535             | 1.2062639           | 23.603801             | 1.2498326             | 1.2507213           |
| 34.454116                                                        | 1.1863496             | 1.1863787           | 22.904532             | 1.2191732             | 1.2185665           |
| 33.515809                                                        | 1.1717183             | 1.1716371           | 22.375074             | 1.1963597             | 1.1967439           |
| 32.789952                                                        | 1.1605101             | 1.1607266           | 21.960193             | 1.1787228             | 1.1785483           |
| 32.211694                                                        | 1.1516495             | 1.1512979           | 21.626280             | 1.1646801             | 1.1646086           |
| 31.740149                                                        | 1.1444689             | 1.1449312           | 21.351716             | 1.1532346             | 1.1534269           |
| 31.348264                                                        | 1.1385318             | 1.1380947           | 21.121954             | 1.1437267             | 1.1436138           |
| 31.017419                                                        | 1.1335409             | 1.1341600           | 20.926847             | 1.1357027             | 1.1357995           |

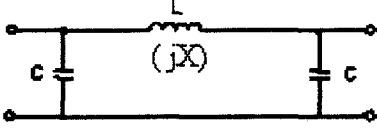
### 5.5 YSA ile Sentez ( $\Leftrightarrow$ Ters Problem) Uygulaması: Mikroşerit Alçak Geçiren Filtre Tasarımı

Mikroşerit alçak geçiren filtre(AGF) tasarımında uygulanacak adımlar şu şekilde sıralanabilir:

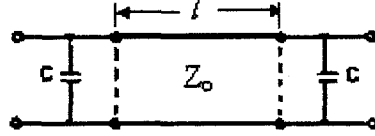
- 1) İstenen karakteristiği verecek prototip seçilir.
- 2) İstenilen frekans bandını ve karakteristik empedansı verecek biçime dönüştürülür.
- 3) 2.adımda yapılan işlem mikroşerit hatlarla gerçekleştirilir. Bu AGF için kaskat bağlı ( $\lambda_g < 4$ ) mikroşerit hatlarla yapılır. Mikroşerit hatlarla AGF tasarımı birkaç GHz'e kadar kullanışlıdır.

Kaskat bağlı mikroşerit hatlarla AGF tasarımı için öncelikle filtre devre elemanlarının mikroşerit hatlara dönüşümü yapılmalıdır. Kısa uzunluk ( $< \lambda_g / 4$ ) ve yüksek karakteristik

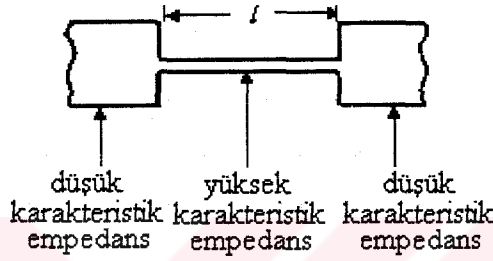
empedans durumunda hat seri indüktans gibi, çok kısa uzunluk( $\ll \lambda_g/4$ ) ve düşük karakteristik empedansta ise şönt kapasite gibi davranacaktır. Baskın indüktif bir hat düşünülürse(Şekil 5.24), hattın kısa ve kayıpsız olduğu Şekil 5.24 (b) ve Şekil 5.24 (c) eşdeğer devrelerine dönüşür.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.24 Bitişik kapasitif hatta sahip indüktif hat, (a) toplu elemanlar ile, (b) toplu-dağılım eşdeğeri, (c) mikroşerit formu.

Temel iletim hattı teorisi  $l$  uzunluğundaki hattın giriş reaktansını denklem (5.1) ile verir.

$$X_L = Z_0 \sin\left(\frac{2\pi l}{\lambda_g}\right) \quad (5.1)$$

Denklem (5.1)'den indüktif hattın boyu denklem (5.2) şeklinde bulunur.

$$l = \frac{\lambda_g}{2\pi} \sin^{-1}\left(\frac{\omega L}{Z_0}\right) \quad (5.2)$$

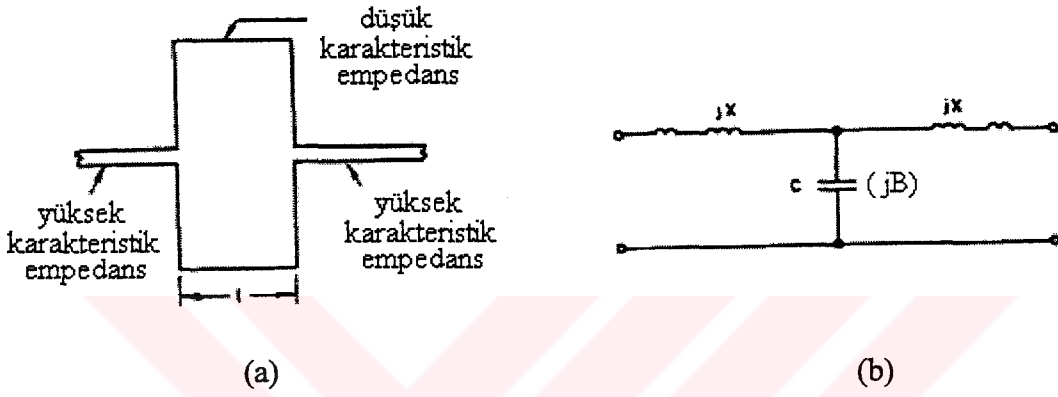
Eşdeğer devrenin sonlarında yer alan suseptanslar( $B_L$ ),  $C_L$  değerlerini verir.

$$B_L = \frac{1}{Z_0} \tan\left(\frac{\pi l}{\lambda_g}\right) \quad (5.3)$$

Kısa uzunluklar için, denklem (5.3) yaklaşık olarak denklem (5.4)'e dönüşür.

$$C_L \cong \frac{1}{2fZ_0\lambda_g} \quad (5.4)$$

Kaskat bağlı mikroşeritler basamak süreksizliklerini doğurur. Mikroşerit AGF tasarımının birkaç GHz'e kadar kullanışlı olmasından dolayı basamak süreksizlikleri ihmal edilebilir. Daha önce belirtildiği gibi düşük karakteristik empedansa sahip kısa hat kapasitif hat gibi davranır ve bu durum Şekil 5.25'de eşdeğer devresi ile beraber verilmiştir. Şönt kapasite suseptans bulunarak elde edilebilir.



Şekil 5.25 Bitişik indüktif hatta sahip kapasitif hat, (a) mikroşerit formu, (b) toplu elemanlar ile.

$$B = \frac{1}{Z_0} \sin\left(\frac{2\pi l}{\lambda_g}\right) \quad (5.5)$$

Denklem (5.5)'den denklem (5.6) elde edilir.

$$l = \frac{\lambda_g}{2\pi} \sin^{-1}(\omega C Z_0) \quad (5.6)$$

Mikroşerit hatların şerit genişliği yaklaşıklık formülleriyle aşağıdaki gibi hesaplanabilir. Yüksek karakteristik empedans özelliği gösteren hatlar için dar şerit, düşük karakteristik empedans özelliği gösteren hatlar için ise geniş şerit tanımlaması kullanılmıştır.

Dar şeritler için ;

$Z_0 > (44 - 2\epsilon_r)$  olması halinde :

$$\frac{W}{H} = \left( \frac{\exp H'}{8} - \frac{1}{4 \exp H'} \right)^{-1} \quad (5.7)$$

Burada;

$$H' = \frac{Z_0 \sqrt{2(\epsilon_r + 1)}}{119.9} + \frac{1}{2} \left( \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \left( \ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{4}{\pi} \right) \quad (5.8)$$

$W / H < 1.3$  iken ise şu formül kullanılabilir :

$Z_0 > (63 - 2\epsilon_r)$  olması halinde :

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} \left\{ 1 - \frac{1}{2H'} \left( \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \left( \ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{4}{\pi} \right) \right\}^{-2} \quad (5.9)$$

$$H' = \ln \left\{ 4 \frac{H}{W} + \sqrt{16 \left( \frac{H}{W} \right)^2 + 2} \right\} \quad (5.10)$$

Geniş şeritler için ;

$Z_0 < (44 - 2\epsilon_r)$  olan geniş şeritler için :

$$\frac{W}{H} = \frac{2}{\pi} \left\{ (d_\epsilon - 1) - \ln(2d_\epsilon - 1) \right\} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r \pi} \left\{ \ln(d_\epsilon - 1) + 0.293 - \frac{0.517}{\epsilon_r} \right\} \quad (5.11)$$

Burada;  $d_\epsilon$

$$d_\epsilon = \frac{59.95\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (5.12)$$

$W / H > 1.3$  ve  $Z_0 > (63 - 2\epsilon_r)$  olduğunda aşağıdaki formül kullanılabilir.

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + 10 \frac{H}{W} \right)^{-0.555} \quad (5.13)$$

Sentez formüllerini kullanarak filtre tasarımı için  $l$  ve  $W$  parametrelerini hesaplayan bilgisayar programı Ek.3'de yer almaktadır. Bu bölümde, YSA sentez kara-kutu modelinin başarısını görebilmek amacı ile Ek.3'de yer alan program sonuçları ve YSA sentez sonuçları ile AGF devreleri Microwave Office programını kullanarak ayrı ayrı oluşturulmuş, filtre karakteristikleri çizilmiştir.

Bu tasarımda, dielektrik geçirgenliği 9.9 ve kalınlığı 0.63mm olan mikroşerit taban maddesi alumina ve 6 $\mu$ m şerit kalınlığı seçilmiştir. Seçilen diğer parametreler aşağıdaki gibidir:

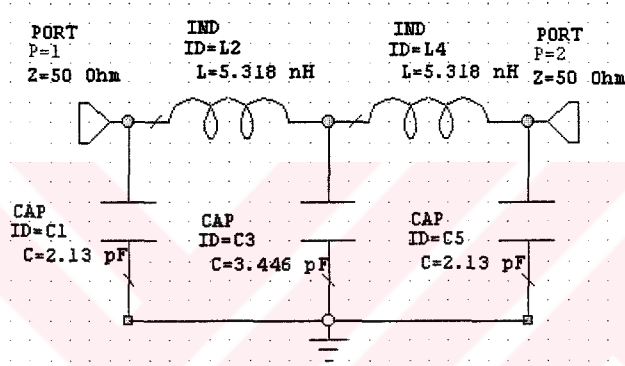
$$f_{\text{kesim}} = 2 \text{ GHz};$$

$$30 \text{ dB zayıflatma frekansı} = 3.5 \text{ GHz};$$

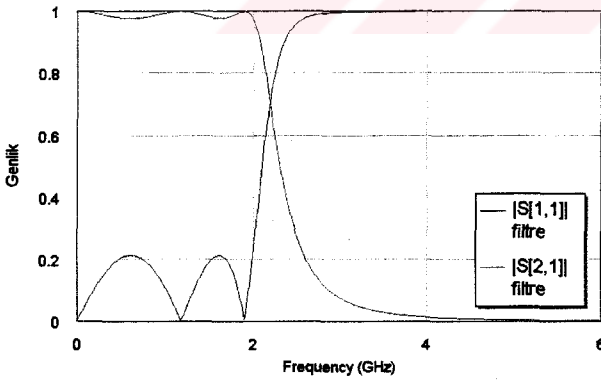
$$\text{kaynak ve yük empedansları} = 50 \Omega.$$

Öncelikle, istenen özellikleri yerine getirecek uygun bir AGF devresi seçilir. Seçilen devre Şekil 5.26'da yer almaktadır. Devrenin eleman değerleri:

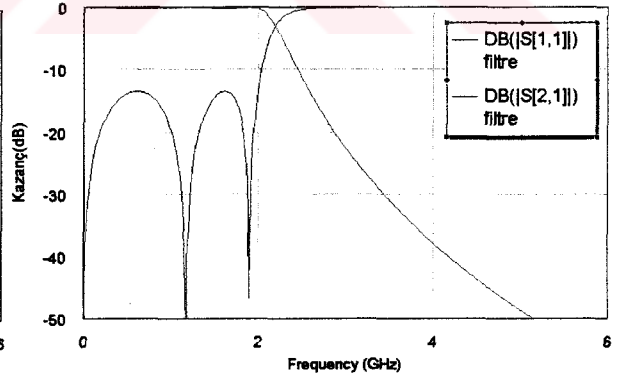
$$C_1 = C_5 = 2.13 \text{ pF}, L_2 = L_4 = 5.318 \text{ nH}, C_3 = 3.446 \text{ pF}.$$



(a)



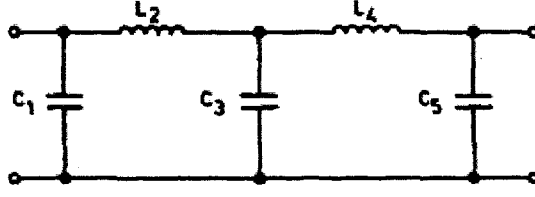
(b)



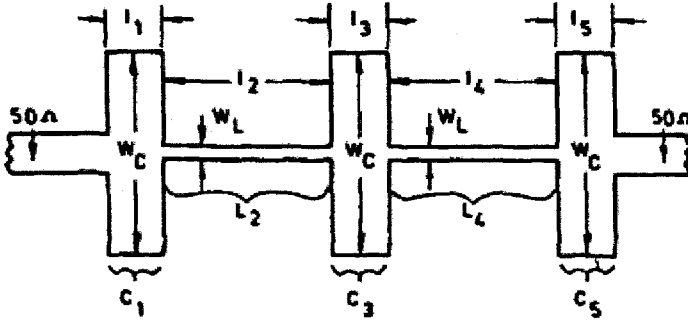
(c)

Şekil 5.26 (a) AGF devresi, (b) genlik cevabı, (c) kazanç grafiği.

2 GHz mikrodalga frekansları için oldukça düşük bir değer olduğu için saçılma etkileri göz ardı edilmiştir. Filtreyi mikroşerit hatlarla oluşturabilmek için eleman-eleman dönüşüm yapılır. Bu işlem sonucunda devre Şekil 5.27 (a)'dan Şekil 5. (b) şekline dönüşür.



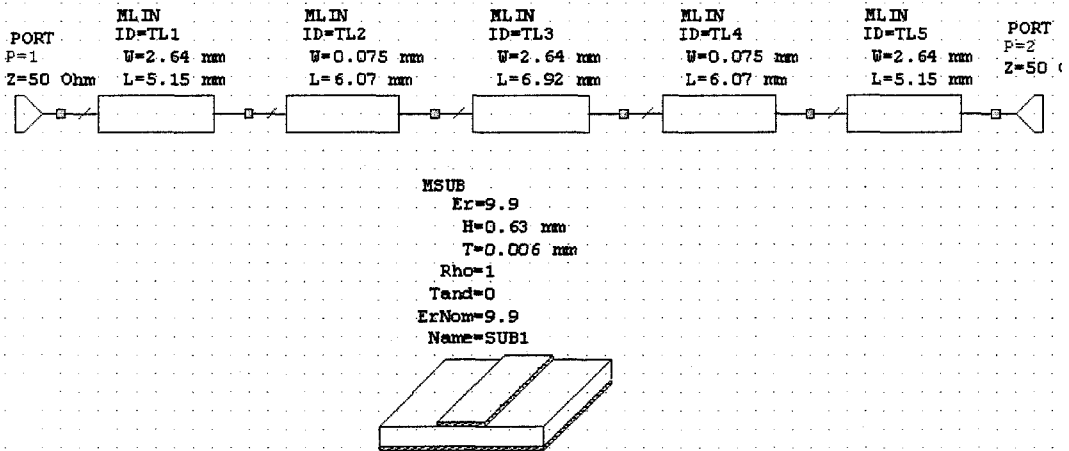
(a)



(b)

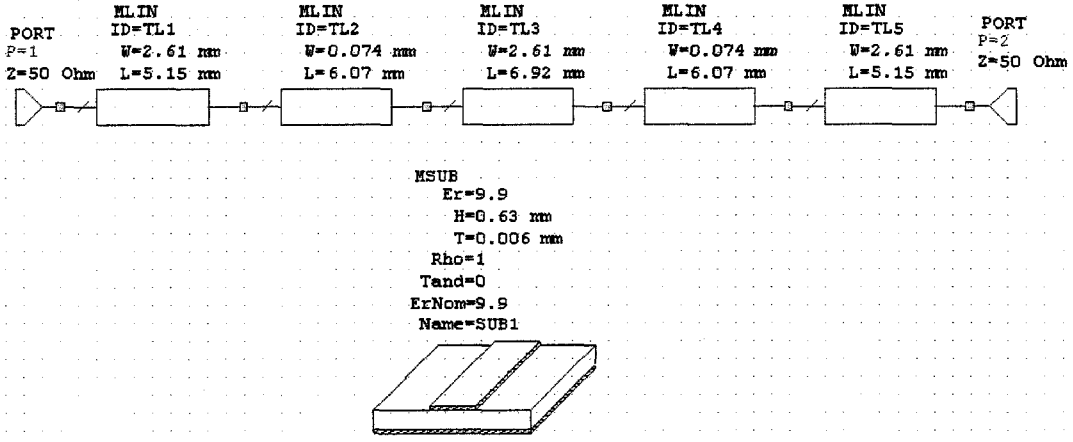
Şekil 5.27 (a) 2 GHz AGF devre prototipi, (b) kaskat bağlı ‘düşük-yüksek-düşük’ karakteristik empedanslı beş bölümden oluşan genel AGF mikroşerit yapısı.

$l$  uzunluklarını elde etmek için sentez formülleri,  $W$  genişliklerini elde etmek için hem sentez formülleri hem de YSA sentez kara-kutu sonuçları kullanılmıştır. Üretici değerleri dikkate alınarak kapasitif hatlar için karakteristik empedans  $Z_{OC}=20\Omega$ , indüktif hatlar için  $Z_{OL}=100\Omega$  alınmıştır. Ek .3’de yer alan program sonuçları ile mikroşerit AGF Şekil 5.28 (a)’daki gibi, YSA sentez kara-kutu sonuçları ile Şekil 5.28 (b)’deki gibi elde edilir.



(a)

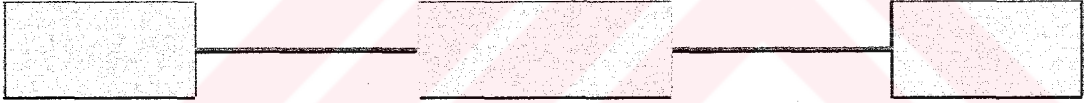




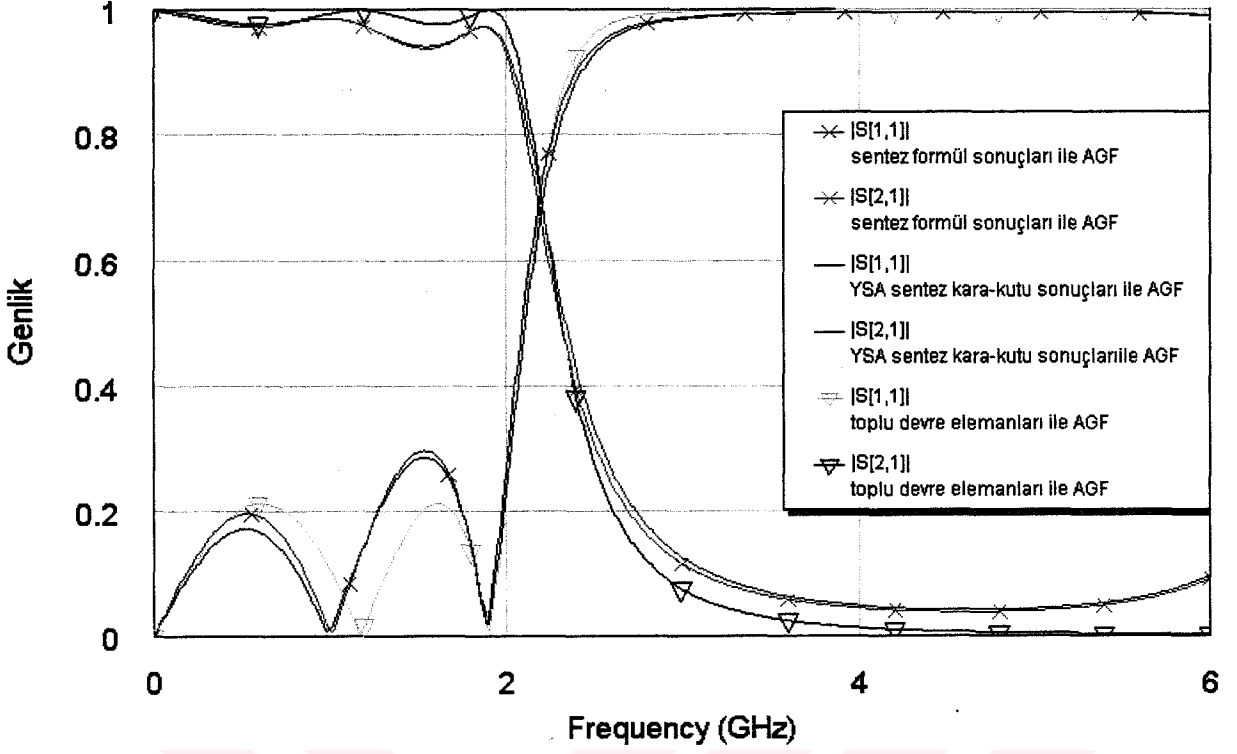
(b)

Şekil 5.28 (a) Sentez formülleri sonucunda elde edilen devre, (b) YSA sentez kara-kutu sonuçları ile elde edilen devre.

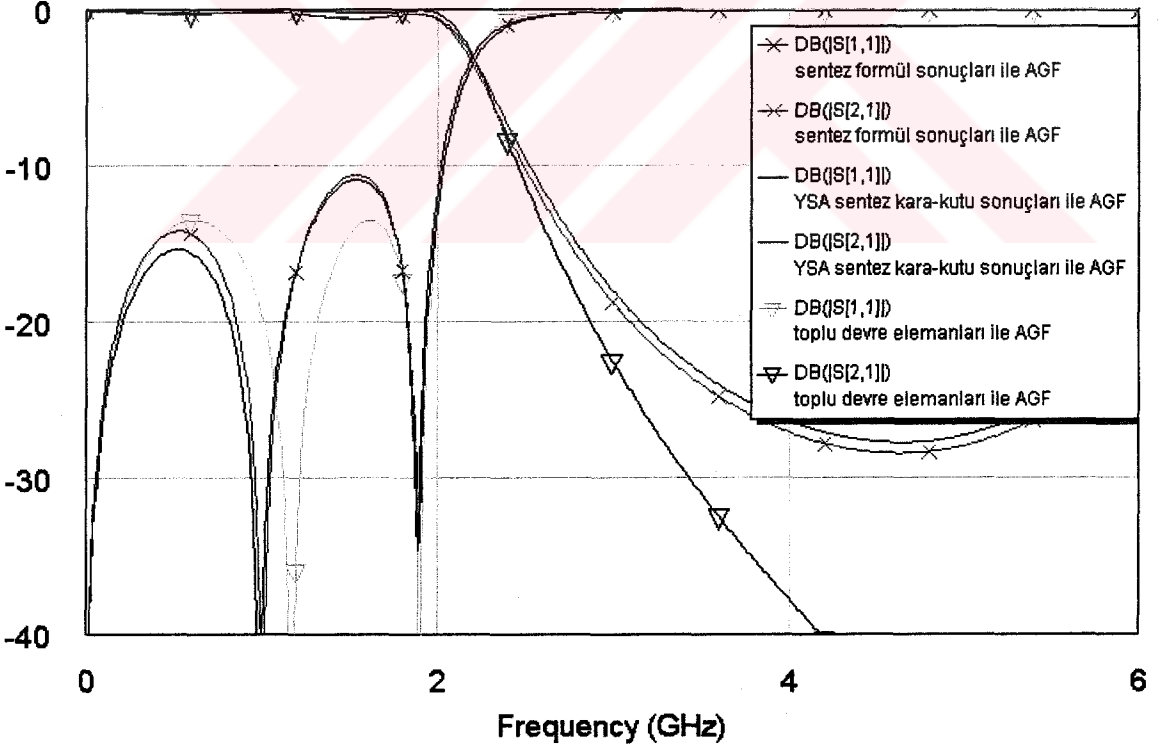
Microwave Office programı kullanılarak elde edilen filtrelerin genlik cevapları ve kazanç grafikleri sırası ile Şekil 5.30 (a) ve Şekil 5.30 (b)'de verilmiştir. Şekil 5.29'de mikroşerit AGF'lerin yapı görünümü yer almaktadır.



Şekil 5.29 Devrelerin yapısal görünümü.



(a)



(b)

Şekil 5.30 YSA sentez kara-kutu sonuçları, sentez formül sonuçları ve toplu devre elemanları ile oluşturulan devrelerin (a) genlik cevapları, (b) kazanç grafikleri.

## 6. SONUÇLAR

Gelişen teknolojiyle beraber yapılan her çalışmada daha hızlı, daha hassas ve kolay uygulanabilme özelliği aranmaktadır. Bu tez çalışmasında çok karmaşık çözümlere sahip iletim hatlarının analizi ve sentezi için alternatif, hızlı ve çok iyi yaklaşıma sahip bir yöntem denemek amaçlanmıştır. Daha önce bu konuda yapılan çalışmalar göz önünde bulundurulmuş ve çalışmaya temel teşkil etmiştir. Bu çalışmada kullanılan ve geliştirilen çalışmalar kaynakça bölümünde yer almaktadır. Diğer çalışmalar incelendiğinde bu çalışmanın diğerlerine göre çok gelişmiş ve daha yaygın kullanılabilirliğe sahip olduğu görülecektir.

Bu çalışmada, MLP ve RBF yapay sinir ağı yapılarının fonksiyon yaklaştırma özelliği kullanılarak (1) Mikroşerit hat, (2) Eş düzlemli dalga kılavuzu, (3) Ekranlamalı eş düzlemli dalga kılavuzu, (4) Kuplajlı mikroşerit hat düzlemsel iletim hatlarının analizi ve ters fonksiyon yaklaşımı yapılarak sentezi yapılmıştır. Bu uygulama ile, analiz ağının çıkışında, seçilen iletim hattının elektriksel ve geometrik boyutları ve çalışma frekansı girdisine karşılık karakteristik empedans, efektif dielektrik sabiti ve zayıflatmanın bütün tipleri çok iyi bir yaklaşıklıkla bulunabilir. Sentez ağ yapısında ise çıkışta iletim hattı genişliği ve propagasyon hızı, taban maddesinin dielektrik özelliklerinin ve hat karakteristik empedansın fonksiyonu olarak elde edilebilir. Sonuç olarak, çalışmadaki YSA analiz ve sentez modelleri tektaş mikrodalga entegre devreleri dahil olmak üzere mikroşerit hat, eş düzlemli dalga kılavuzu, ekranlamalı eş düzlemli dalga kılavuzu, kuplajlı mikroşerit devre analiz ve ters fonksiyon yaklaşımı yapılarak sentezinde kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

- Bahl,I.ve Bhartia,P.,(1988), Microwave Solid State Design, Wiley-Interscience Publication, Chap. 2
- Collins, R.E. , (1992), Foundations for Microwave Engineering, McGraw-Hill, Chap.3
- Edwards, T.C., (1981), Foundations for Microstrip Circuit Design, Wiley-Interscience Publication, Chap. 6
- Gunes,F., F.Gurgen, ve H.Torpi, (1996), "Signal-Noise Neural Network Model For Active Microwave Devices, " IEE Proc.-Circuits,Devices,Syst.,Vol.143.No.1, 1-8
- Hammerstad,E.O., (1975) Equations for Microstrip Circuit Design, Proc.European Micro.Conf., Hamburg,W.Germany , 268-272
- Hammerstad,E.O., (1980), "Accurate Models for Microstrip Computer Aided Design", IEEE/MTT-S Int.Microwave Symp.Dig., 407-409
- Hornig,T., Wang,C., ve Alexopoulos,N.G., (1993), "Microstrip Circuit Design Using Neural Network s," MTT-S Int.Microwave Symp.Dig., 413-416
- Poh ,S.Y., Chew ,W.C. ve Kong, J.A., (1981), Approximate Formulas for Line Capacitance and Characteristic Impedance of Microstrip Line,IEEE Trans.,,MTT-29,135-142
- Pucel,R.A., Masse,D.J. ve Hartwig, C.P., (1966), "Losses in Microstrip", IEEE Trans.,vol.MTT-16, 342-350
- Sağıroğlu, Ş., Yıldız.C, (2002), "A Multilayered Perceptron Neural Network for a Micro-Coplanar Strip Line", int. Jour. Of Electromagnetics, 22,553-563
- Shirakawa K.,et.al. , (1997), "A Large-Signal Characterisation of an HEMT Using a Multilayered Neural Network," IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques,Vol.45,No.9, 1630-1633
- Türker, N. ve Güneş,F., (2004), "Mikroşerit Hatların "Yapay Sinir Ağı" Modeli",Sinyal İşleme Ve Uygulamaları -Kuşadası,Türkiye
- Türker, N. ve Güneş,F., (2004), "Mikroşerit Dalga Kılavuzu Transmisyonu İçin "Yapay Sinir Ağı Modeli " Geliştirilmesi", Akıllı Sistemlerde Yenilikler Ve Uygulamaları Sempozyumu İstanbul,Türkiye
- Watson,P.M. ve K.C.Gupta, (1997) , "Design and Optimization of CPW Circuits Using EM-ANN Models for CPW components," IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques,Vol.45,No.12, 2515-2523.
- Wheeler,H.A. , (1977), Transmission Line Properties of a Strip on a Dielectric Sheet on a Plane,IEEE Trans.,vol. MTT-25, 631-647
- Yıldız, C., Sağıroğlu, Ş., Saraçoğlu, O., Türkmen, M., (2002), "Asılı ve Ters Mikroşerit Hatların Efektif Dielektrik Sabitlerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi", URSİ, Türkiye Birinci Ulusal Kongresi, İstanbul

Yıldız, C., Sağiroğlu, Ş., Saraçoğlu, O., (2003), "Neural Models for Coplanar Waveguides with a Finite Dielectric Thickness", Int., Journal of RF and Microwave CAE, 13, pp.438-446

Yıldız, C., Sağiroğlu, Ş., Saraçoğlu, O., Türkmen, M., (2003), "Neural Models for an Assymetric Coplanar Stripline with an Infinitely Wide Strip", International Journal of Electromagnetics, Vol.90, ISS.8

Yıldız, C., Sağiroğlu, Ş., Türkmen, M., (2003), "Neural Model for Coplanar Waveguide Sandwichen Between two Dielectric Substrates", IEE Proceedings on Antennas and Propagation

Zaabab, A.H., Zhang, Q.J. ve Nakhla, M., (1994), "Analysis and Optimization of Microwave Circuits and Devices Using Neural Network Models," MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., 393-396

Zhang, Q., Wang, J.F., ve Devabhaktuni, V., (1999), "Neural Network Structures for RF and Microwave applications," IEEE AP-S Antennas and Propagations International Symp., (Orlando, FL), 2576-2579

Zhang, Q.J. ve Gupta, K.C., (2000), Neural Networks For RF and Microwave Design, Artech House Publishers

**İNTERNET KAYNAKLARI**

[1] [http:// backpropagation.netfirms.com](http://backpropagation.netfirms.com)

[2] [http:// batitrakya.dostweb.com](http://batitrakya.dostweb.com)

[3] [http:// yapay-zeka.org](http://yapay-zeka.org)

[4] [http:// ieeexplore.ieee.org](http://ieeexplore.ieee.org)

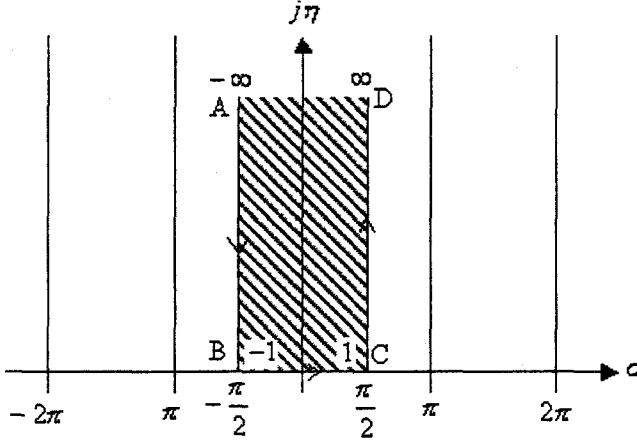


**EKLER**

- Ek 1 Konform Dönüşüm Tekniğı - Eliptik Sinüs Fonksiyonu
- Ek 2 Eğitim ve Test Datalarını Elde Etmek İçin Kullanılan Programlar
- Ek 3 Sentez Formüllerini Kullanarak Mikroşerit Hattın Sentezini Yapan Program



### Ek 1 Konform Dönüşüm Tekniği - Eliptik Sinüs Fonksiyonu



Şekil I.1  $\sin \zeta$  fonksiyonu.

$W = \sin \zeta$  fonksiyonu için,  $dW / d\zeta = \cos \zeta = (1 - W^2)^{1/2}$  'dir.

$$\frac{d\zeta}{dW} = \frac{1}{\sqrt{1-W^2}} \quad (I.1)$$

$$\zeta^{-1} = \sin^{-1} W = \int_0^W \frac{dW}{\sqrt{1-W^2}} \quad (I.2)$$

$\sigma$  eksenini boyunca periyot, periyodun çeyreğini veren 0'dan 1'e kadar olan integral yardımı ile hesaplanır.

$$\frac{\pi}{2} = \int_0^1 \frac{dW}{\sqrt{1-W^2}} \quad (I.3)$$

Farklı iletim hattı problemlerinde çözüm olarak kullanılabilecek bir fonksiyon olarak kompleks  $\zeta$  düzleminde  $\sigma$  ve  $\eta$  eksenini boyunca periyodik bir fonksiyon alınabilir. Bunun sebebi dikdörtgenin içindeki geçerli tüm değerleri almasıdır. Çift periyodik fonksiyon olan eliptik sinüs fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$W = \text{sn}(\zeta, k) \quad (I.4)$$

$k$  parametresi modül olarak adlandırılır ve iki periyodu belirler. Eliptik sinüs fonksiyonu  $\sigma$  eksenini boyunca  $4K$ ,  $\eta$  eksenini boyunca  $2K'$ 'lık periyoda sahiptir. Ters fonksiyonu şu şekilde verilebilir:



$$\zeta = sn^{-1}(W, k) = \int_0^W \frac{dW}{\sqrt{(1-W^2)(1-k^2W^2)}} \quad (I.5)$$

$K$  ve  $K'$  büyüklükleri Eşitlik (I.6) ve (I.7) ile verilebilir.

$$K = \int_0^1 \frac{dW}{\sqrt{(1-W^2)(1-k^2W^2)}} \quad (I.6)$$

$$K + jK' = \int_0^{1/k} \frac{dW}{\sqrt{(1-W^2)(1-k^2W^2)}} \quad (I.7)$$

veya

$$K' = \int_0^{1/k} \frac{dW}{\sqrt{(1-W^2)(1-k^2W^2)}} \quad (I.8)$$

$W$  yerine  $\sin \theta$  koyarsak,  $K$  ifadesi (I.9) numaralı eşitlik şekline dönüşür.

$$K = K(k) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\theta}{\sqrt{1-k^2 \sin^2 \theta}} = F(k, \frac{\pi}{2}) \quad (I.9)$$

Eşitlik (I.8), birinci türden tam eliptik entegraldir. İfadede  $K'$  yerine  $k^2(W^2 - 1) = (1 - k^2) \cos^2 \theta$  konularak, ifade aşağıdaki şekle dönüştürülebilir.

$$K' = K'(k) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\theta}{\sqrt{1-k'^2 \sin^2 \theta}} = F(k', \frac{\pi}{2}) = K(k') \quad (I.10)$$

Bu ifadede  $k$  modülünün tamlayanı  $k' = \sqrt{1-k^2}$  'dir. (I.5) ve (I.6) eşitliklerinden görülebileceği gibi;

$$sn(0, k) = 0 \quad (I.11)$$

$$sn(K, k) = 1 \quad (I.12)$$

$$sn(K + jK', k) = \frac{1}{k} \quad (I.13)$$

Daha kullanışlı bir ifade eşitlik (I.14)'de yer almaktadır.

$$sn(jK', k) = \pm \infty \quad (I.14)$$

Eliptik sinüs fonksiyonu sinüs fonksiyonunun bir genellemesidir ve  $k=0$  olduğunda sona doğru azalır.

$k \ll 1$  ve  $k' \ll 1$  durumlarında  $K$  ve  $K'$  parametreleri için iki kullanışlı yaklaşım aşağıdaki ifadelerde yer almaktadır.

$$K(k) = K'(k') = \frac{\pi}{2} \left( 1 + \frac{k^2}{4} + \frac{9}{64} k^4 \right) \quad k \leq 0.4 \quad (\text{I.15})$$

$$K'(k') = K(k) = \left( 1 + \frac{k'^2}{4} + \frac{9}{64} k'^4 \right) \ln \frac{4}{k'} - \frac{k'^2}{4} - \frac{21}{168} k'^4 \quad k \geq 0.65 \quad (\text{I.16})$$

Burada  $k$  ve  $k'$  ifadelerinin değiştiğine dikkat edilmelidir.  $K(k)/K'(k) = K(k)/K(k')$  oranı eşitlik (I.17) ile büyük doğrulukla yaklaşılır.

$$\frac{K}{K'} = \frac{1}{\pi} \ln \left( 2 \frac{1 + \sqrt{k}}{1 - \sqrt{k}} \right) \quad 0.7 \leq k \leq 1 \quad (\text{I.17})$$

$$= \left[ \frac{1}{\pi} \ln \left( 2 \frac{1 + \sqrt{k'}}{1 - \sqrt{k'}} \right) \right]^{-1} \quad 0 \leq k \leq 0.7 \quad (\text{I.18})$$

$k$  ve  $k'$  'nın ara değerleri için aşağıdaki ifade kullanılabilir.

$$K' = K(k') = \frac{2}{1+k} K\left(\frac{1-k}{1+k}\right) \quad (\text{I.19})$$

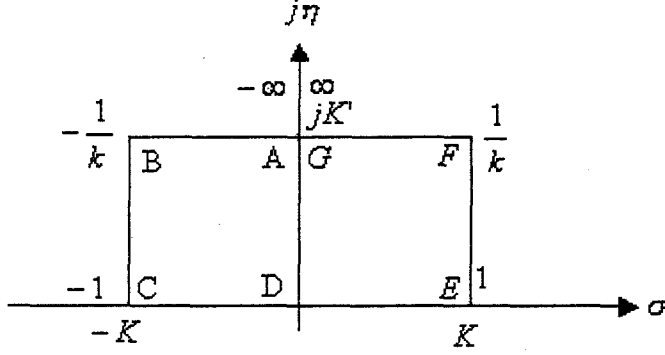
$k'$ , 0.707'den daha az olduğunda  $(1-k)/(1+k)$  ifadesi daima 0.172'den küçük olur ve (I.15) eşitliği uygulanabilir.  $k'$ , 0.707'den büyük olduğunda (I.16) eşitliği uygulanır.

Şekil I.2'de  $\zeta$  düzleminde dikdörtgen düşünülmüş ve  $sn(\zeta, k)$  noktalarının değerleri A, B, C, D, E, F olarak adlandırılmıştır. AB, CDE ve FG'nin iletken sınır olduğu düşünülürse, W düzlemindeki yerleştirme havada eş düzlemlili dalga kılavuzuna aittir ve dağılmış kapasitesi,  $\zeta$  düzleminde ideal tabaka kapasitesi için CDE ve BAF tabakaları arasındaki değerinin iki katıdır. Bu eşitlik (I.20) ile verilebilir.

$$C = 2\varepsilon_0 \frac{2K}{K'} = 4\varepsilon_0 \frac{K}{K'} \quad (\text{I.20})$$

Eş düzlemlili iletim hatları için ilgili parametre ortadaki şerit genişliğinin iki yer düzlemi

arasındaki boşluk uzunluğuna oranıdır ve eliptik sinüs fonksiyonunun modülü  $2/2u_1 = k$  ile verilir.



Şekil I.2  $sn(\zeta, k)$  fonksiyonu.

BC ve EF iletken şerit olarak seçilirse, eş düzlemlili şerit iletim hattı elde edilir. Dağılmış kapasitansı eşitlik (I.21)'de verilmiştir.

$$C = 2\varepsilon_0 \frac{K'}{2K} = \varepsilon_0 \frac{K'}{K} \quad (I.21)$$

$k$  0'a gittiğinde,  $\pm u_1$  noktaları sonsuza gider ve yarık hat elde edilir.  $k$ 'nın 0'a eşit olduğu düşünülemez. Bunun sebebi bir yarıkla birbirinden ayrılmış iki yarıiletken tabakanın kapasitansının sonsuz olmasıdır.

## Ek II Eğitim ve Test Datalarını Elde Etmek İçin Kullanılan Programlar

Bu program ile mikroserit hatlarda 6 girdi ( $W, H, T, \epsilon_r, \epsilon_y, f$ ) verildiğinde karakteristik empedans, efektif dielektrik sabiti ve tüm zayıflatmalar bulunabilir. Bu çalışmada RF/Mikrodalga Düzlemsel İletim Hattı Analiz ve Sentez YSA Kara-Kutu Modeli 'type=1' eğitim ve test kümelerini oluşturmak için kullanılmıştır.

```
clear all
```

```
Er=input('mikroserit hattin dielektrik sabitini giriniz\nEr=');
```

```
Ey=input('mikroserit hattin bagil dielektrik sabitini giriniz\nEy=');
```

```
H=input('mikroserit hattin taban madde kalinligini giriniz\nH=');
```

```
T=input('mikroserit hattin serit kalinligini giriniz\nT=');
```

```
W=input('mikroserit hattin serit genisligini giriniz\nW=');
```

```
f=input('mikroserit hattin calisacagi frekansi GHz cinsinden giriniz\nf=');
```

```
Eo=8.854*10^(-12);
```

```
He=sqrt(Er/Ey)*H;
```

```
Eg=sqrt(Er*Ey);
```

```
L=W/He;
```

```
if L <= (1/(2*3.14))
```

```
    F1=(4*(3.14*W))/T;
```

```
    round(F1);
```

```
    oldfts=F1;
```

```
    newfts=log(oldfts);
```

```
    We=W+0.398*T*(1+newfts);
```

```
else
```

```
    F2=(2*He)/T;
```

```
    round(F2);
```

```
    oldfts=F2;
```

```
    newfts=log(oldfts);
```

```
    We=W+0.398*T*(1+newfts);
```

```
end
```

```
A=We/He;
```

```
B=1/A;
```

if A <1

FErHe=0.02\*(Eg-1)\*(1-A)^2;

else

FErHe=0;

end

if A <=1

C1=((8\*He)/We)+(We/(4\*He));

round(C1);

oldfts=(C1);

newfts=log(oldfts);

CaHe=((6.28\*Eo)/newfts);

else

C2=(We/He)+1.444;

round(C2);

oldfts=(C2);

newfts=log(oldfts);

CaHe=Eo\*((We/He)+1.393+0.667\*newfts);

end

if A <=1

C3=((8\*H)/We)+(We/(4\*H));

round(C3);

oldfts=(C3);

newfts=log(oldfts);

CaH=((6.28\*Eo)/newfts);

else

C4=(We/H)+1.444;

round(C4);

oldfts=(C4);

newfts=log(oldfts);

CaH=Eo\*((We/H)+1.393+0.667\*newfts);

end

```
Ee0=((((Eg+1)/2)+(((Eg-1)/2)*((1+12*(B))^-1/2)))+FErHe-(0.217*(Eg-1)*(T/(sqrt(We*He)))))*(CaHe/CaH);
```

```
fb=(47.746/(He*sqrt(Eg-Ee0)))*atan((Eg*sqrt((Ee0-1)/(Eg-Ee0))));
```

```
fa=fb/(0.75+(0.75-0.332*Eg^-1.73))*(A);
```

```
mo=1+(1/(1+sqrt(A)))+0.32*((1+sqrt(A))^-3);
```

```
if A <= 0.7
```

```
mc=1+(1.4/(1+A))*(0.15-0.235*(2.718)^((0.45)*(f/fa)));
```

```
else
```

```
mc=1;
```

```
end
```

```
m=mo*mc;
```

```
if m <= 2.32
```

```
fprintf('m < 2,32dir');
```

```
else
```

```
Xm=input('susebtibiliteyi giriniz\nXm=')
```

```
m=Xm*He;
```

```
end
```

```
Eef=Eg-((Eg-Ee0)/(1+(f/fa)^m))
```

```
Zo=(376.7*Eo)/(CaHe*sqrt(Ee0));
```

```
Zof=Zo*(Ee0/Eef)^(1/2)*((Eef-1)/(Ee0-1))
```

```
c=3*10^(8);
```

```
DBo=(c/f)*10^(-7);%dalgaboyu hesaplanmasi
```

```
%propagasyon sabitinin hesaplanmasi
```

```
beta=sqrt(Ee0)*((2*3.14)/DBo);
```

```
DB=(2*3.14)/beta;
```

```
%zayıflatmalarin hesaplanmasi
```

```
%dielektrik kayiplarinin hesaplanmasi
```

```
if Er==2.26
```

```
LT=0.0003 %Alumina
```

```
elseif Er==6.36
```

```
LT=0.001; %Silicon
```

```

elseif Er==9.7
    LT=0.0001; %CuFlon
elseif Er==12.9
    LT=0.002; %Beryllium oxide
else
    disp('yanlis!!!!');
end
alfaD=(3.14/DBo)*(Eg/sqrt(Ee0))*((Ee0-1)/(Eg-1))*LT
%iletken kayiplarinin hesaplanmasi
if A<=0.5
    LR=1;
else
    LR=0.94+(0.132*A)-(0.0062*A^(2));
end
%Rm=skin effect resistance(f(GHz))
Rm=8.22*10^(-3)*sqrt(f);
M=(4*(3.14*W))/T;
round(M);
oldfts=M;
newfts=log(oldfts);
R1=(LR*((1/3.14)+(1/3.14)^2*newfts)*Rm)/(We*10^(-1));
R2=(Rm*(A))/((A+5.8+0.03*B)*(We*10^(-1)));
alfaC=(R1+R2)/(2*Zo)
alfa=alfaC+alfaD
end

```

Aşağıda yer alan program ile eş düzlemlı dalga kılavuzlarının (coplanar waveguides) temel ve ekranlanmış olmak üzere iki farklı yapısı için giriş verilerine bağılı olarak ( $W, S, H, H_1, T, \epsilon_r, \epsilon_y, f$ ) karakteristik empedans, efektif dielektrik sabiti ve tüm zayıflatmalar bulunabilir. Bu program dielektrik maddenin hem izotropik hem de anizotropik olduğı durumlarda doğıru sonuç verir. Şerit ise tanjant kaybı  $= 2 \cdot 10^{-4}$  olan bakırdır. Bu çalışmada RF/Mikrodalga Düzlemsel İletim Hattı Analiz ve Sentez YSA Kara-Kutu Modeli 'type=2' ve 'type=3' eğitim ve test kümelerini oluşturmak için kullanılmıştır.

```
clear all
```

```
MENU=menu('Analiz Yapılacak Es Düzlemlı Dalga Kılavuzunu Seciniz','Basit Es Düzlemlı Dalga Kılavuzu','Ekranlanmış Korumalı Es Düzlemlı Dalga Kılavuzu');
```

```
Er=input('Es düzlemlı dalga kılavuzunun dielektrik sabitini giriniz\nEr=');
```

```
Ey=input('Es düzlemlı dalga kılavuzunun bağıl dielektrik sabitini giriniz\nEy=');
```

```
H=input('Es düzlemlı dalga kılavuzunun taban madde kalınlıgını giriniz\nH=');
```

```
T=input('Es düzlemlı dalga kılavuzunun serit kalınlıgını giriniz\nT=');
```

```
S=input('Es düzlemlı dalga kılavuzunun serit genisligini giriniz\nS=');
```

```
W=input('Es düzlemlı dalga kılavuzunun serit ile yer düzlemi arasında kalan boşluk degerini giriniz\nW=');
```

```
f=input('Es düzlemlı dalga kılavuzunun çalışma frekansını GHz cinsinden giriniz\nf=');
```

```
if MENU==2
```

```
    H1=input('Ekranlanmış es düzlemlı dalga kılavuzunun ekranlama yüksekligini giriniz\nH1=');
```

```
    H=input('H degerini giriniz');
```

```
    He=sqrt(Er/Ey)*H;
```

```
end
```

```
Eg=sqrt(Er*Ey);
```

```
Eo=8.854*10^(-12);
```

```
k=S/(S+2*W);
```

```
kussu=sqrt(1-(k^2));
```

```
if MENU==2
```

```
    k1=(tanh(pi*(S/(4*He))))/(tanh(pi*(S+(2*W))/(4*He)));
```

```
    k1ussu=sqrt(1-(k1^2));
```

```
if 0.7<k1 & k1<=1
```

```
    F1=2*((1+sqrt(k1))/(1-sqrt(k1)));
```

```
    round(F1);
```



```

oldfts=F1;
newfts=log(oldfts);
K1=(1/pi)*(newfts);
elseif 0<=k1 & k1<=0.7
    F1=2*((1+sqrt(k1ussu))/(1-sqrt(k1ussu)));
    round(F1);
    oldfts=F1;
    newfts=log(oldfts);
    K1=((1/pi)*(newfts))(-1);
else K1=0;
end
k2=(tanh(pi*(S/(4*H1))))/(tanh(pi*(S+(2*W))/(4*H1)));
k2ussu=sqrt(1-(k22));
if 0.7<k2 & k2<=1
    F1=2*((1+sqrt(k2))/(1-sqrt(k2)));
    round(F1);
    oldfts=F1;
    newfts=log(oldfts);
    K2=(1/pi)*(newfts);
elseif 0<=k2 & k2<=0.7
    F1=2*((1+sqrt(k2ussu))/(1-sqrt(k2ussu)));
    round(F1);
    oldfts=F1;
    newfts=log(oldfts);
    K2=((1/pi)*(newfts))(-1);
else K2=0;
end
end
if 0.7<k & k<=1
    F1=2*((1+sqrt(k))/(1-sqrt(k)));
    round(F1);

```

```

oldfts=F1;
newfts=log(oldfts);
K=(1/pi)*(newfts);
elseif 0<=k & k<=0.7
    F1=2*((1+sqrt(kussu))/(1-sqrt(kussu)));
    round(F1);
    oldfts=F1;
    newfts=log(oldfts);
    K=((1/pi)*(newfts))^(1);
else K=0;
end
if MENU==1
    Eeff=(Er+1)/2
    F5=2*((1+sqrt(kussu))/(1-sqrt(kussu)));
    round(F5);
    oldfts=F5;
    newfts5=log(oldfts);
    Zc=((30*pi)/sqrt(Eeff))*(1/pi)*newfts5
else
    q=K1/(K2+K);
    Eeff=1+(q*(Eg-1))
    Zc=(120*pi)/(2*sqrt(Eeff)*(K1+K2))
end
c=3*10^8;
DBo=(c/(f*10^7));
%propagasyon sabitinin hesaplanmasi
beta=sqrt(Eeff)*((2*3.14)/DBo);
DB=(2*3.14)/beta;
%zayıflatmanın hesaplanması
%dielektrik kayıplarının hesaplanması
if Er==2.26

```

```

    LT=0.0003%Alumina
elseif Er==6.36
    LT=0.001; %Silicon
elseif Er==9.7
    LT=0.0002; %CuFlon
elseif Er==12.9
    LT=0.002; %Beryllium oxide
else
    disp('yanlis!!!!');
end

%alfaD dB/cm cinsinden
alfaD=(3.14/DBo)*(Eg/sqrt(Eeff))*((Eeff-1)/(Eg-1))*LT*8.686

%Rm=skin effect resistance(f(GHz))
Rm=8.22*10^(-3)*sqrt(f);
F1=4*pi*S/T;
round(F1);
oldfts=F1;
newfts=log(oldfts);
F2=(1+k)/(1-k);
round(F2);
oldfts=F2;
newfts2=log(oldfts);
R1=(Rm/(4*S*(1-k^2)*K^2))*(pi+newfts-k*newfts2);
F3=4*pi*((S+2*W)/T);
round(F3);
oldfts=F3;
newfts3=log(oldfts);
F4=(1+k)/(1-k);
round(F4);
oldfts=F4;
newfts4=log(oldfts);

```

$$R2=(k*Rm/(4*S*(1-k^2)*K^2))*(pi+newfts3-((1/k)*newfts4));$$

%alfaC dB/cm cinsinden

$$alfaC=((R1+R2)/(2*Zc))*8.686$$

$$alfa=(alfaD+alfaC)$$

Aşağıdaki program ile kuplajlı mikroserit hat (coupled microstrip line) yapılarında (W,H,S,T,  $\epsilon_r$ ,  $\epsilon_y$ , f) değerleri verildiğinde giriş verilerine bağlı olarak tek ve çift modlar için karakteristik empedans, efektif dielektrik sabiti ve tüm zayıflatmalar bulunabilir. Bu program dielektrik maddenin hem izotropik hem de anizotropik olduğu durumlarda doğru sonuç verir. Şerit ise tanjant kaybı  $=2*10^{-4}$  olan bakırdır. Bu çalışmada RF/Mikrodalga Düzlemsel İletim Hattı Analiz ve Sentez YSA Kara-Kutu Modeli 'type=4' eğitim ve test kümelerini oluşturmak için kullanılmıştır.

clear all

S=input('S degerini giriniz');

W=input('W degerini giriniz');

T=input('T degerini giriniz');

Er=input('Er degerini giriniz');

Ey=input('Ey degerini giriniz');

f=input('f degerini GHz cinsinden giriniz');

H=input('H degerini giriniz');

$$c=3*10^8;$$

$$He=sqrt(Er/Ey)*H;$$

$$Eg=sqrt(Er*Ey);$$

$$Eo=8.854*10^{(-12)};$$

$$no=120*pi;$$

$$tanloss=2*10^{-4};$$

$$B=W/He;$$

if B<=1

$$F=(1+12*(He/W))^{(-1/2)}+0.04*(1-B)^2;$$

else

$$F=(1+12*(He/W))^{(-1/2)};$$

end

$$Eeff=((Eg+1)/2)+((Eg-1)/2)*F-((Eg-1)/4.6)*((T/He)/(sqrt(B)));$$

$$Eeff\_a=1;$$

```

if B<=(1/(2*pi));
    F4=(4*pi*W)/T;
    round(F4);
    oldfts=F4;
    newfts4=log(oldfts);
    A=B+(1.25/pi)*(T/He)*(1+newfts4);
else
    F5=2*(He/T);
    round(F5);
    oldfts=F5;
    newfts5=log(oldfts);
    A=B+(1.25/pi)*(T/He)*(1+newfts5);
end
if B<=1
    F6=(8/A)+0.25*A;
    round(F6);
    oldfts=F6;
    newfts6=log(oldfts);
    Zo=(no/(2*pi*sqrt(Eeff)))*newfts6;
    Zo_a=(no/(2*pi*sqrt(Eeff_a)))*newfts6;
else
    F7=A+1.444;
    round(F6);
    oldfts=F6;
    newfts6=log(oldfts);
    Zo=(no/(sqrt(Eeff)))*(A+1.393+0.667*newfts6)^-1;
    Zo_a=(no/(sqrt(Eeff_a)))*(A+1.393+0.667*newfts6)^-1;
end
Cp=Eo*Eg*(W/He);
Cp_a=Eo*(W/He);
Cf=((sqrt(Eeff)/(c*Zo))-Cp)/2;

```

```

Cf_a=((sqrt(Eeff)/(c*Zo))-Cp_a)/2;
Cff=(Cf*sqrt(Eg/Eeff))/(1+(exp(-0.1*exp(2.33-2.53*(W/He))))*(He/S)*tanh(10*(S/He)));
Cff_a=(Cf_a*sqrt(1/Eeff_a))/(1+(exp(-0.1*exp(2.33-
2.53*(W/He))))*(He/S)*tanh(10*(S/He)));
k=(S/He)/((S/He)+(2*(W/He)));
kk=sqrt(1-(k^2));
if 0<=(k^2) & (k^2)<=0.5
    F1=2*((1+sqrt(kk))/(1-sqrt(kk)));
    round(F1);
    oldfts=F1;
    newfts=log(oldfts);
    K1=(1/pi)*(newfts);
elseif 0.5<(k^2) & (k^2)<=1
    F2=2*((1+sqrt(k))/(1-sqrt(k)));
    round(F2);
    oldfts=F2;
    newfts2=log(oldfts);
    K1=pi/newfts2;
else K1=0;
end
Cga=Eo*K1;
Cga_a=Eo*K1;
F3=coth((pi/4)*(S/He));
round(F3);
oldfts=F3;
newfts3=log(oldfts);
Cgd=(Eo*Eg/pi)*newfts3+0.65*Cf*((0.02/(S/He))*sqrt(Eg)+1-Eg^(-2));
Cgd_a=(Eo*1/pi)*newfts3+0.65*Cf_a*((0.02/(S/He))+1);
Cgt=2*Eo*(T/S);
Cgt_a=2*Eo*(T/S);
Ce=Cp+Cf+Cff;

```

```

Co=Cp+Cf+Cga+Cgd+Cgt;
Cel=Cp_a+Cf_a+Cff_a;
Col=Cp_a+Cf_a+Cga_a+Cgd_a+Cgt_a;
Zo_e=(c*sqrt(Ce*Cel))^-1
Zo_o=(c*sqrt(Co*Col))^-1
Eeff_e=Ce/Cel;
fpe=Zo_e/(4*no*He);
fpo=Zo_o/(4*no*He);
Ge=0.6+0.0045*Zo_e;
Go=0.6+0.0045*Zo_o;
Eeff_e_f=Eg-((Eg-Eeff_e)/(1+Ge*(f/fpe)^2))
Eeff_o_f=Eg-((Eg-Eeff_o)/(1+Go*(f/fpo)^2))
lamda=c/(f*10^9);
alfad_e=27.3*(Eg/sqrt(Eeff_e))*((Eeff_e-1)/(Eg-1))*(tanloss/lamda)
alfad_o=27.3*(Eg/sqrt(Eeff_o))*((Eeff_o-1)/(Eg-1))*(tanloss/lamda)
Rm=8.22*10^(-3)*sqrt(f);
if (W/He)<=0.5
    LR=1;
else
    LR=0.94+(0.132*(W/He))-(0.0062*(W/He)^(2));
end
M=(4*(3.14*W))/T;
round(M);
oldfts=M;
newfts=log(oldfts);
R1=(LR*((1/3.14)+(1/3.14)^2*newfts)*Rm)/(W*10^(-1));
R2=(Rm*((W/He)))/(((W/He)+5.8+0.03*(1/(W/He)))*(W*10^(-1)));
alfac_e=(R1+R2)/(2*Zo_e)
alfac_o=(R1+R2)/(2*Zo_o)
alfa_e=alfad_e+alfac_e; alfa_o=alfad_o+alfac_o;

```

### Ek III Sentez Formüllerini Kullanarak Mikroşerit Hattın Sentezini Yapan Program

```

clear all

Er=input('mikroşerit hattın dielektrik sabitini giriniz\nEr=');
Zo=input('mikroşerit hattın karakteristik empedansını giriniz\nZo=');
h=input('mikroşerit hattın kalınlığını giriniz\nh=');
F=input('mikroşerit hattın frekansını giriniz\nF=');
L=Zo;
if L>=(44-(2*Er))
F1=(3.14/2);
round(F1);
oldfts=F1;
newfts=log(oldfts);
F2=(4/3.14);
round(F2);
oldfks=F2;
newfks=log(oldfks);
K=((Zo*(2*(Er+1))^(1/2))/119.9)+(Er-1)*(newfts+(newfks/Er))/(2*(Er+1));
round(K);
oldktl=K;
newktl=exp(K);
W=h*((newktl/8)-1/(4*newktl))^(-1)
F3=(3.14/2);
oldfns=F3;
newfns=log(oldfns);
F4=(4/3.14);
round(F4);
oldfys=F4;
newfys=log(oldfys);
Eeff=((Er+1)/2)*(1-(1/(2*K)))*((Er-1)/(Er+1))*(newfns+(1/Er)*newfys))^(-2)
else
d=(59.95*(3.14)*(3.14)/(Zo*sqrt(Er)));

```



```

F5=2d-1;
round(F5);
oldk=F5;
newk=log(oldk);
F6=d-1;
round(F6);
old=F6;
new=log(old);
Y=((2/3.14)*(new-newk))+((Er-1)/(3.14*Er))*(new+0.293-(0.517/Er));
W=Y*h
Eeff=((Er+1)/2)+((Er-1)/2)*((1+10*(h/W))^(0.555))
end
D=300/(F*(sqrt(Eeff)))

```

**ÖZGEÇMİŞ**

|                 |                   |                                                                                                                           |
|-----------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Doğum tarihi    | 03.11.1980        |                                                                                                                           |
| Doğum yeri      | İstanbul          |                                                                                                                           |
| Lise            | 1991-1998         | Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesi                                                                                           |
| Lisans          | 1998-2002         | Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fak.<br>Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü                                     |
| Yüksek Lisans   | 2002-2004         | Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü<br>Elektronik ve Haberleşme Müh. Anabilim Dalı,<br>Haberleşme Programı |
| Çalıştığı kurum | 2003-Devam ediyor | YTÜ Elektrik-Elektronik Fak.<br>Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü<br>Araştırma Görevlisi                       |

