

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MİKROŞERİT HAT SÜREKSİZLİKLERİNİN DEVRE
TEMELLİ YAPAY SİNİR AĞI MODELİ**

Elektronik ve Haberleşme Müh. Oğuzhan ERDEN

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
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	6
2.2.1 Mikroşerit hattın yüksek frekans davranışı	9
3. MİKROŞERİT İLETİM HAT SÜREKSİZLİKLERİ	11
3.1 Açık Devre Süreksizliği	11
3.1.1 Eşdeğer ilave hat parçası:	12
3.2 Boşluk (Gap) Süreksizliği	14
3.3 Basamak (Step) Süreksizliği	16
3.4 T-Jonksiyonu (T-Junction) Süreksizliği	17
3.5 Büküm (Bend) Süreksizliği	18
4. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)	19
4.1 Doğal Sinir Hücresi ve Sinir Ağları	19
4.2 Yapay Hücre Modelleri	20
4.2.1 Statik Hücre Modeli	21
4.2.2 Aktivasyon Fonksiyonları	21
4.2.3 Dinamik Hücre Modelleri	21
4.3 Yapay Sinir Ağının Tanımı	22
4.3.1 Yapay Sinir Ağı Modellerinin Çıkarılması	22
4.3.2 Yapay Sinir Ağı Yapıları	22
4.3.2.1 İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (İBYSA)	22
4.3.2.2 Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (GBYSA)	23
4.3.2.3 Bellek Hücreli YSA Yapıları (BHYS)	24
4.3.3 Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme	24
4.3.3.1 Eğitici Öğrenme	24

4.3.3.2	Eğiticişiz öğrenme	25
4.3.3.3	Takviyeli öğrenme	25
4.4	Yapay Sinir Ağlarının Üstünlükleri.....	25
4.5	Çok Katmanlı Algılayıcılar(ÇKA)	27
5.	MİKROŞERİT İLETİM HAT SÜREKSİZLİKLERİNİN EŞDEĞER DEVRE YAPAY SİNİR AĞI MODELLERİ.....	29
5.1	ED-YSA Kara-Kutu Modellerinin Oluşturulması	29
5.1.1	Açık-Devre Süreksizliği ED-YSA Kara- Kutu Modeli	30
5.1.1.1	Eşdeğer Devre Parametreleri ve ED-YSA Kara Kutu Kodeli Çıktılarının İncelenmesi.....	30
5.1.1.2	Açık devre süreksizliği S parametrelerinin incelenmesi	32
5.1.2	Boşluk Süreksizliği ED-YSA Kara- Kutu Modeli	34
5.1.2.1	Eşdeğer Devre Parametreleri ve ED-YSA Kara Kutu Kodeli Çıktılarının İncelenmesi.....	34
5.1.2.2	Boşluk süreksizliği S parametrelerinin incelenmesi.....	37
5.1.3	Basamak Süreksizliği ED-YSA Kara- Kutu Modeli	39
5.1.3.1	Eşdeğer Devre Parametreleri ve ED-YSA Kara Kutu Kodeli Çıktılarının İncelenmesi.....	39
5.1.3.2	Basamak süreksizliği S parametrelerinin incelenmesi	42
5.1.4	T-Jonksiyonu Süreksizliği ED-YSA Kara- Kutu Modeli:.....	43
5.1.4.1	T-jonksiyonu Süreksizliği Eşdeğer Devre Parametreleri ve ED-YSA Kara Kutu Modeli Çıktılarının İncelenmesi	43
5.1.4.2	T-Jonksiyonu Süreksizliği S Parametrelerinin İncelenmesi	47
	T-Jonksiyonu Süreksizliğinin İhmal Edilerek Hesaba Katılmadığı Durumda, Devrenin S Parametrelerinin İncelenmesi:	47
	T-Jonksiyonu Süreksizliğinin Hesaba Katılması Durumunda, Devrenin S Parametrelerinin İncelenmesi:	49
	Süreksizlik Etkilerinin Hesaba Katıldığı Durum İçin T-Jonksiyonu Devresinin S Parametrelerinin Zincir Parametleri İle Hesaplanması:.....	56
5.1.5	Büküm Süreksizliği ED-YSA Kara- Kutu Modeli	66
5.1.5.1	Büküm Süreksizliği Eşdeğer Devre Darametreleri ve ED-YSA Kara Kutu Modeli Çıktılarının İncelenmesi	66
5.1.5.2	Büküm Süreksizliği S Parametrelerinin İncelenmesi	68
6.	ED-YSA BİRLEŞİK KARA KUTU MODELİ.....	71
7.	SONUÇLAR.....	74
	KAYNAKLAR.....	75
	EKLER	77
	Ek1 Tansig ve Purelin Aktivasyon Fonksiyonları.....	78
	Tansig fonksiyonu	78
	Purelin fonksiyonu.....	78
	Ek2 ED-YSA Kara Kutu Modeli Eğitim Ve Test Datalarını Elde Etmek İçin Kullanılan Programlar	79

Ek3 ED-YSA Kara Kutu Modeli Yapay Sinir Ağının Eğitilmesi İçin Hazırlanmış	
Programlar	90
Ek4 Yapay Sinir Ağının MLP İle Eğitilerek, Birleşik ED-YSA Kara Kutu Modeli Çıktısı	
Eşdeğer Devre Parametrelerinin Hesaplanması İçin Kullanılan Programlar	92
ÖZGEÇMİŞ.....	94

SİMGE LİSTESİ

C_a	Mikroşerit kapasitansı
C_{Bend}	Büküm süreksizliği eşdeğer kapasite elemanı
C_f	Açık devre süreksizliği eşdeğer kapasite elemanı
C_g	Boşluk süreksizliği eşdeğer kapasite elemanı
C_p	Boşluk süreksizliği eşdeğer kapasite elemanı
C_S	Basamak süreksizliği eşdeğer kapasite elemanı
C_T	T-Jonksiyonu süreksizliği eşdeğer kapasite elemanı
ϵ_{eff}	Efektif dielektrik sabiti
ϵ_r	Taban maddesi boyunca dielektrik sabiti
ϵ_y	Taban maddesi boyunca dielektrik sabiti
f	Çalışma frekansı
H	Taban madde kalınlığı
H_e	Efektif taban madde kalınlığı
K	Birinci türden eliptik integral
l_{eo}	İlave hat parça uzunluğu
L_S	Basamak süreksizliği eşdeğer endüktans elemanı
L_1	T-Jonksiyonu süreksizliği eşdeğer endüktans elemanı
L_2	T-Jonksiyonu süreksizliği eşdeğer endüktans elemanı
L_{Bend}	Büküm süreksizliği eşdeğer endüktans elemanı
S	Boşluk genişliği
T	Şerit kalınlığı
W	Mikroşerit hatta şerit genişliği
W_e	Efektif şerit genişliği
Z_c	Hattın karakteristik empedansı
φ	Aktivasyon fonksiyonu
λ_0	Serbest uzay dalga boyu

KISALTMA LİSTESİ

BHYSA	Bellek Hücreli Yapay Sinir Ağı
CAD	Bilgisayar Destekli Modelleme
ÇKA	Çok Katmanlı Algılayıcı
ED-YSA	Eşdeğer Devre Yapay Sinir Ağı
EM	Elektromagnetik
GBYSA	Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağı
GHz	Gigahertz
İBYSA	İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı
MIC	Mikrodalga Tümlleşik Devre
TEM	Transverse Electric and Magnetic
YSA	Yapay Sinir Ağı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 (a) Bir mikroşerit hat geometrisi, (b) İmaj teorisine göre mikroşerit hattın paralel-şerit hat eşdeğeri.	4
Şekil 3.1 (a) Mikroşerit Açık Devre Süreksizliği ; (b) Eşdeğer Devresi.	11
Şekil 3.2 (a) Mikroşerit Boşluk Süreksizliği ; (b) Eşdeğer Devresi.	14
Şekil 3.3 (a) Mikroşerit basamak süreksizliği; (b) Eşdeğer devresi.	16
Şekil 3.4 (a) T-Jonksiyonu süreksizliği (b) Eşdeğer devresi.	17
Eşdeğer devre parametreleri şu analitik formüller ile hesaplanabilir (Bahl, 1988):.....	17
Şekil 3.5 (a) Büküm süreksizliği (b) Eşdeğer devresi.	18
Eşdeğer devre parametreleri şu analitik formüller ile hesaplanabilir (Bahl, 1988):.....	18
Şekil 4.1 Bir sınır hücresi.	19
Şekil 4.2 Sınır hücrelerinin birbiriyle bağlantısı.	20
Şekil 4.3 Statik Hücre Modeli.	21
Şekil 4.4 İleri beslemeli 3 katmanlı YSA.	23
Şekil 4.5 Eğitici öğrenme.	25
Şekil 4.6 ÇKA modeli.	28
Şekil 5.1 Açık devre süreksizliği ED-YSA kara- kutu modeli.	31
Şekil 5.2 Açık devre süreksizliği ED-YSA kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen; Coc'nin W/H ile değişimi; (b) ϵ_{eff} 'in W/H ile değişimi; (c) Z_o 'ın W/H ile değişimi.	31
Şekil 5.3 Açık devre süreksizliği hesaba katıldığı ve katılmadığı halde S_{11} parametresi değişimleri.	33
Şekil 5.4 Boşluk süreksizliği ED-YSA kara- kutu modeli.	35
Şekil 5.5 Boşluk süreksizliği ED-YSA kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen; (a) C_p 'nin S/W ile değişimi; (b) C_g 'nin S/W ile değişimi; (c) ϵ_{eff} 'in S/W ile değişimi; (d) Z_o 'ın S/W ile değişimi.	36
Şekil 5.6 Boşluk süreksizliği hesaba katıldığı ve katılmadığı halde; (a) S_{11} parametresi; (b) S_{12} parametresi; (c) S_{21} parametresi; (d) S_{22} parametresi değişimleri.	38
Şekil 5.7 Basamak süreksizliği ED-YSA kara- kutu modeli.	39
Şekil 5.8 Basamak süreksizliği ED-YSA kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen; (a) C_s 'nin (b) L_s 'nin (c) ϵ_{eff1} 'in ; (d) Z_{o1} 'in ; (e) ϵ_{eff2} 'nin ; (f) Z_{o2} 'in W_2/H ile değişimi... 41	41
Şekil 5.9 Basamak süreksizliği hesaba katıldığı ve katılmadığı halde;(a) S_{11} parametresi; (b) S_{12} parametresi; (c) S_{21} parametresi; (d) S_{22} parametresi değişimleri.....	42
Şekil 5.10 T-Jonksiyonu süreksizliği ED-YSA kara- kutu modeli.	44
Şekil 5.11 T-Jonksiyonu süreksizliği ED-YSA kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen; (a) C_T 'nin; (b) L_1 'in; (c) L_2 'in; (d) ϵ_{eff1} 'in; (e) Z_{o1} 'in; (f) ϵ_{eff2} 'in W_1/H ile değişimi; (g) Z_{o2} 'in W_2/H ile değişimi.	46
Şekil 5.12 MWO paket programı, T-jonksiyonu devresi.	47
Şekil 5.13 T-Jonksiyonu süreksizliğinin hesaba alınmadığı Şekil 5.12'deki S_{11} analizi için mikroşerit devrenin eşdeğerleri.....	48
Şekil 5.14 Süreksizliğin eşdeğer devre elemanları ile hesaba katıldığı T-jonksiyonu ile Şekil 5.12'deki mikrodalga devresi.....	50
Şekil 5.15 T-Jonksiyonu süreksizliği eşdeğer devresi.	51
Şekil 5.16 2'-2' arasındaki açık devre gerilimi.	51
Şekil 5.17 2'-2' arasındaki Thévenin empedansı.	52
Şekil 5.18 T-Jonksiyonu süreksizliği, S_{11} için devrenin görünümü.	52
Şekil 5.19 T-Jonksiyonu süreksizliği hesaba katıldığı ve katılmadığı halde S_{11} parametresi değişimleri.....	54
Şekil 5.20 T-Jonksiyonu süreksizliği hesaba katıldığı ve katılmadığı halde; (a) S_{12}	

parametresi, (b) S_{13} parametresi, (c) S_{21} parametresi, (d) S_{22} parametresi, (e) S_{23} parametresi, (f) S_{31} parametresi, (g) S_{32} parametresi, (h) S_{33} parametresi değişimleri.....	56
Şekil 5.21 T-Jonksiyonu devresi, S_{21} için devrenin görünümü.	57
Şekil 5.22 ABCD parametreleri.	57
Şekil 5.23 T-Jonksiyonu devresi, S_{31} için devrenin görünümü.	60
Şekil 5.24 T-Jonksiyonu devresi, S_{23} için devrenin görünümü.	63
Şekil 5.25 Büküm süreksizliği ED-YSA kara- kutu modeli.....	66
Şekil 5.26 Büküm süreksizliği ED-YSA kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen, (a) C_{Bend} 'in W/H ile değişimi, (b) L_{Bend} 'in W/H ile değişimi, (c) ϵ_{eff} 'in W/H ile değişimi, (d) Z_0 'ın W/H ile değişimi.	67
Şekil 5.27 Büküm süreksizliği hesaba katıldığı ve katılmadığı halde; (a) S_{11} parametresi, (b) S_{12} parametresi, (c) S_{21} parametresi, (d) S_{22} parametresi değişimleri.	69
Şekil 6.1 Birleşik ED-YSA kara-kutu modeli	71
Şekil 6.2 (a) Açık devre süreksizliği, (b) Boşluk süreksizliği, (c) T-Jonksiyonu süreksizliği ve (d) Büküm süreksizliği Birleşik ED-YSA kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen ϵ_{eff} 'in W/H ile değişimi.	73

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Madde özellikleri.....	6
Çizelge 3.1 K_e katsayıları	12
Çizelge 5.1 Açık Devre Süreksizliği, ED-YSA kara-kutu modeli çıkış fonksiyonlarının hedef değerler ile karşılaştırılması	32
Çizelge 5.2 Boşluk Süreksizliği, ED-YSA kara-kutu modeli çıkış fonksiyonlarının hedef değerler ile karşılaştırılması	37
Çizelge 5.3 Basamak Süreksizliği, $\epsilon_r = 12.9$, $\epsilon_y = 12.9$ (galyum arsenit) ve $W_1/H = 1$ için hedef değerler ile ED-YSA değerlerinin karşılaştırma tablosu	41
Çizelge 5.4 T-Jonksiyonu Süreksizliği, $\epsilon_r = 9.7$, $\epsilon_y = 12.9$ (alumina) ve $W_2 / H = 1.5$ için hedef değerler ile ED-YSA değerlerinin karşılaştırma tablosu.	46
Çizelge 5.5 Büküm Süreksizliği, $\epsilon_r = 6.36$, $\epsilon_y = 6$ (RTDuroid) için hedef değerler ile ED-YSA değerlerinin karşılaştırma tablosu	68

ÖNSÖZ

Dalga kılavuzları, koaksiyel hatlar veya diğer iletim hatlarının tümünde süreksizlik gözlenmektedir. Düz ve kesintisiz uzunluktaki bir dalga kılavuzu veya mikroşerit hat için gerçek anlamda sürekli olduğu ve süreksizlik etkilerinin görülmeyeceği söylenebilir. Ancak gerçek hayatta tek başına alınan bu düz iletim hat parçaları mühendislik kullanımı için çok elverişli değildir. Birçok kez bağlantı elemanlarına ve jonksiyonlara ihtiyaç duyulmaktadır. İletim hatlarındaki bir büküm, genişlikteki değişim veya açık devre ile sonlandırma süreksizliğe neden olmaktadır.

Bu çalışmada, mikroşerit iletim hatlarında en çok karşılaşılan beş süreksizlik türü: açık devre, boşluk, basamak, T-jonksiyonu ve büküm süreksizlikleri üzerinde durulmuştur. Süreksizlik etkileri, devreye eklenen ilave devre elemanları ile ele alınmış ve bu elemanları veren Eşdeğer Devre Yapay Sinir Ağı Kara Kutu Modeli üzerinde çalışılmıştır.

Çalışmamın her aşamasında desteğini benden esirgemeyerek çalışmama yön veren çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ'e, yardım ve desteği ile çalışmamın bu aşamaya gelmesini sağlayan sevgili arkadaşım Arş. Gör. Nurhan TÜRKER'e, destekleri için aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Çalışmamın konu ile ilgilenen araştırmacı arkadaşlara faydalı olmasını dilerim.

ÖZET

Bu çalışmada, mikroşerit iletim hat süreksizliklerinin eşdeğer devre temelli yapay sinir ağı kara kutu modelinin oluşturulması amaçlanmıştır.

Öncelikli olarak mikroşerit iletim hatlarında en çok karşılaşılan beş süreksizlik türü üzerinde durulmuştur. İncelenen mikroşerit iletim hat süreksizlikleri; açık devre, boşluk, basamak, T-jonksiyonu ve büküm süreksizlikleridir. Çalışmada süreksizlikler, eşdeğer devre elemanları ile modellenmiş, analitik formüller ile elde edilmiş eşdeğer devre parametre değerleri ile yapay sinir ağının eğitilmesi sonucu elde edilen eşdeğer devre parametre değerleri karşılaştırılmıştır.

Çalışmadaki amaç, yapay sinir ağlarının öğrenme yeteneğinden hareketle ağın eğitilmesi ve sonuç olarak; kullanılan malzemenin elektriksel özellikleri, iletim hattı süreksizlikleri ile birlikte geometrisine karşılık, süreksizliğe eşdeğer devre elemanları ve hat parametreleri çıktılarını veren bir kara-kutu modeli elde etmektir. Ele alınan malzemeler mikrodalga teknolojisinde çok yaygın olarak kullanılan iki anizotropik materyal PTFE/ microfiber cam, RT/ Duroid 6006 ve iki izotropik materyal Alumina, Galyum-arsenittir.

Yapay sinir ağı, giriş çıkış bağıntıları ile oluşturulan “otomatik veri” programı çıktıları ile eğitilmiş ve test edilmiştir. Bu yolla açık devre, boşluk, basamak, T-jonksiyonu ve büküm süreksizliklerinin eşdeğer devre yapay sinir ağı (ED-YSA) modelleri oluşturulmuş, performansları karşılaştırmalı olarak ortaya konmuş ve süreksizlik etkileri de grafikleri ile birlikte verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Mikroşerit Hat, Süreksizlik, Yapay Sinir Ağı.

ABSTRACT

In this work, it is aimed to form the Equivalent Circuit Artificial Neural Network (EC-ANN) Black Box models of microstrip transmission lines.

First, the most commonly known five microstrip line discontinuity types were investigated. These discontinuity types are open circuit, gap, step, T-Junction and Bend discontinuities which were modeled with equivalent circuit parameters. Equivalent circuit parameter values that were calculated by using analytical formulations were compared with the equivalent circuit parameter values that were obtained by the education of the artificial neural network.

By using the learning capability of artificial neural networks, it is aimed to obtain the EC-ANN Black Box Model whose inputs are the electrical properties of the substrate material, the dimensions and types of the discontinuities and the outputs are equivalent circuit parameters and microstrip line parameters. Two anisotropic materials PTFE/ microfiber glass, RT/Duroid 6006 and two isotropic materials Alumina, Gallium arsenide are used as substrate materials which are widely used in microwave technology.

As a result, artificial neural network is educated and tested by the outputs of automatic data program which is formed by the input and output formulations. By this way, EC-ANN Black Box models of open circuit, gap, step, T-Junction and bend discontinuities are formed and its performance and the discontinuity effects are investigated on some graphics.

Keywords: Microstrip Line, Discontinuity, Artificial Neural Network.

1. GİRİŞ

Dalga kılavuzları, koaksiyel hatlar veya diğer iletim hatlarının tümünde süreksizlik gözlenmektedir. Düz ve kesintisiz uzunluktaki bir dalga kılavuzu veya mikroşerit hat için gerçek anlamda sürekli olduğu ve süreksizlik etkilerinin görülmeyeceği söylenebilir. Ancak gerçek hayatta tek başına alınan bu düz iletim hat parçaları mühendislik kullanımı için çok elverişli değildir. Birçok kez bağlantı elemanlarına ve jonksiyonlara ihtiyaç duyulmaktadır. İletim hatlarındaki bir büküm, genişlikteki değişim veya açık devre ile sonlandırma süreksizliğe neden olmaktadır.

Süreksizlikler çok küçük kapasite ve endüktansların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (<0.1 pF ve <0.1 nH). Bu kapasite ve endüktansların reaktansları yüksek mikrodalga frekanslarında (10-20 GHz) önem kazanmaktadır.

Kuvvetlendirici performansları süreksizlik etkisi ile değişmektedir (Bahl, 1988). Birkaç GHz in altındaki küçük frekanslarda süreksizlik etkisi ihmal edilebilmektedir. Fakat 10 GHz ve üzerindeki frekanslarda, süreksizlik büyük önem kazanmaktadır.

Devre gereksinimlerinden dolayı ortaya çıkan başlıca süreksizlik türleri; açık devre, boşluk, toprağa doğru kısa devre, büküm, basamak, T-jonksiyonu, çapraz jonksiyonlar ve enine boşluklar olarak sayılabilir.

Kuvvetlendiriciler dışında kalan filtreler, karıştırıcılar ve osilatör devrelerinde de birçok tür süreksizliğe raslanmaktadır. Süreksizlik etkisine karşılık gelen kapasite ve endüktans elemanlarının tespit edilmesi devre dizaynındaki çalışma konularından bir tanesidir.

Kapasite elemanının tespit edilmesinde kullanılan tekniklerden bazıları; matris dönüşüm metodu, varyasyon metodu, spektral domende Galerkin metodu ve yük değişimi ile hat kaynaklarının kullanımıdır.

Genel olarak literatürde düzlemsel iletim hatlarının süreksizlerinde iki yaklaşım kullanılmaktadır: (i) Elektromagnetik (EM) alan analiz temelli yaklaşım; (ii) Eşdeğer devre (ED) temelli yaklaşım. (ii)'deki devre parametreleri ya EM analiz sonuçlarından ya da deneysel sonuçlar kullanılarak tayin edilmektedir. Tahmin edileceği gibi, alan dağılımları ve karakteristiklerini veren formal çözümler alçak frekans bölgelerinde dahi çok karmaşıktır. Bu nedenle pragmatik olarak en az %1 yada daha iyi doğrulukla hat karakteristiklerini ve/veya süreksizliklerini veren basit formüller istenir. Gerçekte de bir kısım araştırmacılar her bir iletim hat tipi için analitik çözümlere dayandırılan ve çeşitli nümerik sabitlerinin ampirik

ayarlanması ile arzu edilen doğruluğu veren formüller geliştirmişlerdir (Edwards, 1981).

Süreksizlik endüktanslarının tespit edilmesi konusunda Thomson ve Gopinath'ın çalışmaları bulunmaktadır. Ortaya koydukları metod manyetik vektör potansiyeli ile başlar, Maxwell denklemleri ve diverjansı kullanır. Sonuç olarak akış yoğunluk dağılımının birleştirilmesiyle endüktans elde edilir. 10-12 GHz'in üzerindeki frekanslarda süreksizliğin C ve L ile tanımlanması çok anlamlı olmamaktadır. Yüksek frekanslarda süreksizlik, saçınık matrislerle tarif edilmektedir. 3.bölümde mikroşerit iletim hatları ve mikroşerit iletim hat süreksizliklerine değinilmiş ve bu çalışmada kullanılan 5 mikroşerit hat süreksizliği ayrıntılı biçimde incelenmiştir.

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

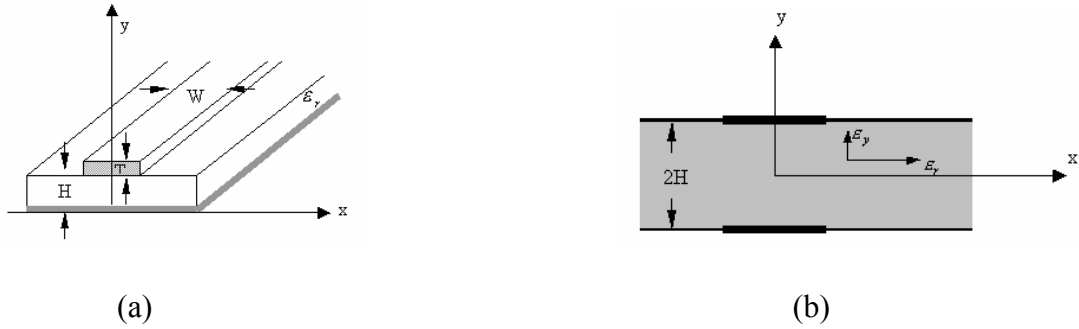
üstünlüklerine de sahiptir. Bu üstünlükleri şu şekillerde özetleyebilmek mümkündür. Birinci üstünlük YSA'nın paralellik özelliğidir. YSA modelinde her eleman kendi kendinin işlemcisi olabilmektedir. Aynı katmanlar arasında zaman bağımlılığı yoktur ve eşzamanlı olarak çalışabilirler. Bu özelliği nedeniyle 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 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. Oysaki bilgisayarın herhangi bir işlem elemanını yerinden almak onu etkisiz bir makineye dönüştürmektedir.

Bu çalışmada, yapay sinir ağlarının öğrenme yeteneğinden hareketle ağı eğitilmesi ve sonuç olarak; kullanılan malzemenin elektriksel özellikleri, iletim hattı süreksizlikleri ve geometrisine karşılık, süreksizliğe eşdeğer devre elemanları ve hat parametreleri çıktılarını veren kara-kutu modelleri elde etmek amaçlanmıştır. 4. bölümde YSA yapılarına ve özelliklerine detaylı olarak yer verilmiştir.

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.

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 kırımk üzerinde imal edilir. Bu uygulamalarda, mikroşerit ve eş düzlemli iletim hatları kırımk teknolojisine göre daha rahat uygulanabilir. MIC devrelerinde taban maddesi kalınlığı ve hat genişliği genellikle hibrit devrelerinkine oranla çok daha küçüktür. Hibrit terimi transistor, kapasite, direnç gibi ayrı 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 ısı ın bir kısmı taban maddesi üzerinden toprağa iletir. Mikrodalga devrelerinde metal ısı azalmasını kullanmak, bu büyük metal yapıların elektromagnetik alanlarının istenmeyen bir biçimde etkilenmesi sebebi ile zordur. Sonuç olarak güç yükseltici 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 bağılı 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 sağılatmak 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 amacıyla 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 safır gibi camsı maddelerde taban maddesi olarak kullanılır. Bu maddelere şekil vermek zordur. Isı 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 ϵ_r , madde boyunca dielektrik sabiti, ϵ_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	ϵ_r	ϵ_y	tanjant kaybı	ısı iletkenlik	işlenebilme
PTFE/woven cam	2.84	2.45	0.001-0.002	düşük	iyi
PTFE/mikrofiberglas	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 μm olduğunda alçak frekans bandı 20-30 GHz' e kadar genişleyebilir.

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'nın 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 ϵ_{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 ε_g ise ε_r yerine kullanılır.

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

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

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

2.2.1 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. 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;

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

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

$$m = m_o m_c \leq 2.32$$

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

$$m_c = 1 + \frac{1.4}{1 + W/H} (0.15 - 0.235e^{-0.45f/f_a}) \quad W/H \leq 0.7$$

$$= 1 \quad W/H > 0.7$$

3. MİKROŞERİT İLETİM HAT SÜREKSİZLİKLERİ

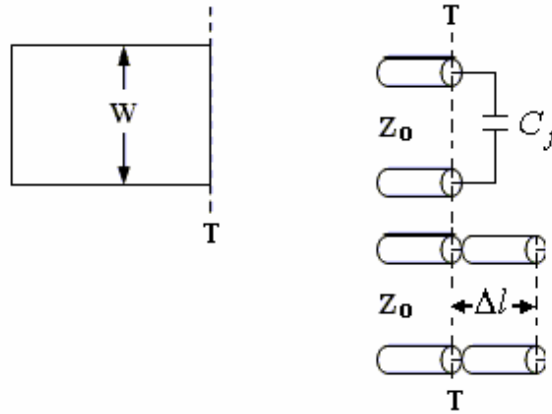
Dalga kılavuzları, koaksiyel hatlar veya diğer iletim hatlarının tümünde süreksizlik gözlenmektedir. Düz ve kesintisiz uzunluktaki bir dalga kılavuzu veya mikroşerit hat için gerçek anlamda sürekli olduğu ve süreksizlik etkilerinin görülmeyeceği söylenebilir. Ancak gerçek hayatta tek başına alınan bu düz iletim hat parçaları mühendislik kullanımı için çok elverişli değildir. Birçok kez bağlantı elemanlarına ve jonksiyonlara ihtiyaç duyulmaktadır. İletim hatlarındaki bir büküm, genişlikteki değişim veya açık devre ile sonlandırma süreksizliğe neden olmaktadır.

Bu çalışmada, mikroşerit iletim hatlarında en çok karşılaşılan beş süreksizlik türü: açık devre, boşluk, basamak, T-jonksiyonu ve büküm süreksizlikleri üzerinde durulmuştur.

3.1 Açık Devre Süreksizliği

Açık devre için tanımlanmış 3 durum söz konusudur:

1. Metalik şeridin fiziksel olarak sonunda yayılmış bir sınır bölgesi olacaktır.
2. Yüzey dalgaları şeridin sonundan saçılacaktır.
3. Açık uçtan enerji yayılacaktır.



Şekil 3.1 (a) Mikroşerit Açık Devre Süreksizliği ; (b) Eşdeğer Devresi.

Şekil 3.1’de mikroşerit açık devre süreksizliği ve eşdeğer devresi görünmektedir.

C_f kapasitesi için birçok kuvazistatik alan hesaplaması ortaya konmuştur. Bunlar içinde en güvenilir olanı Silvester ve Benedek’in çalışmasıdır. Bu çalışmada;

$$\frac{C_f}{W} = \exp \left\{ 2.2036 \sum_{i=1}^5 K_\varepsilon \left(\log \frac{W}{H} \right)^{i-1} \right\} \text{ (pF/m)} \quad (3.1)$$

eşitliği ortaya konmuştur.

Eşitlikteki K_ε katsayıları çizelge 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1 K_ε katsayıları

$\begin{matrix} e_r \\ i \end{matrix}$	1	2,50	4,2	9,6	16	51
1	1,11	1,295	1,443	1,738	1,938	2,403
2	-0,2892	-0,2817	-0,2535	-0,2538	-0,2233	-0,222
3	0,1815	0,1367	0,1062	0,1308	0,1317	0,217
4	-0,0033	-0,0133	-0,026	-0,0087	-0,0267	-0,024
5	-0,054	-0,0267	-0,0073	-0,0113	-0,0147	-0,084

Sonuçlar bir eğri kümesi şeklinde çizdirilebilir. Burada K_ε , e_r 'nin bir fonksiyonu olarak alınmaktadır. Dar bir permitivite aralığında diğer materyaller için K_ε katsayısı bulunabilir. Bu eğrilerden lineer yaklaşıklık eşitlikleri elde edilir. Bu sayede formül tekrarlanan bir Computer Aided Design (CAD) rutininde kullanılabilir.

3.1.1 Eşdeğer ilave hat parçası:

l_{eo} , fiziksel olarak hattın sonundan başlayarak sonuç elektriksel açık uca kadar devam eden, ana iletim hattı ile uygun propagasyon parametrelerine sahip eşdeğer ilave mikroşerit hat parçasıdır. Ana iletim hattının devamı olması nedeniyle aynı Z_o , W/H oranı ve özdeş ε_{eff} 'e sahiptir. l_{eo} 'ı C_f , Z_o ve ε_{eff} 'in bir fonksiyonu olarak elde etmek mümkündür.

İlave uzunluk için giriş empedansı standart açık sonlandırılmış devre ile elde edilir.

$$X_{eo} = -jZ_o \cot \beta l_{eo} \quad (3.2)$$

$$X_f = \frac{1}{j\omega C_f} \quad (3.3)$$

Eşdeğerlik durumu için bu iki formül birbirine eşit olmalıdır.

$$\frac{1}{\omega C_f} = \frac{Z_o}{\tan \beta l_{eo}}$$

$l_{eo} \ll \lambda_g$ olması durumunda küçük açı yaklaşımından $(\tan \beta l_{eo}) = \beta l_{eo}$

$$\frac{1}{\omega C_f} \cong \frac{Z_o}{\beta l_{eo}} \cong \frac{Z_o \lambda_g}{2\pi l_{eo}} \quad (3.4)$$

c ışık hızı olmak üzere,

$$\frac{1}{\omega C_f} = \frac{c Z_o}{\omega \sqrt{\epsilon_{eff}} l_{eo}}$$

$$l_{eo} \cong \frac{c Z_o C_f}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3.5)$$

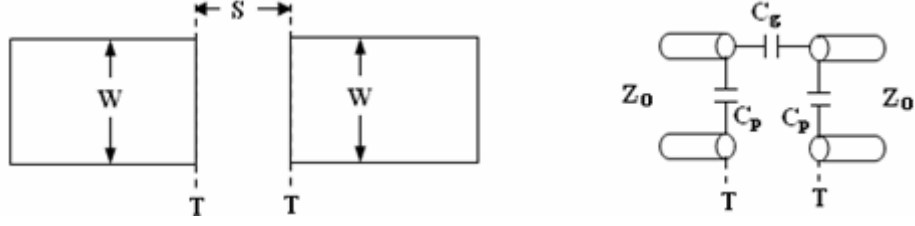
olarak bulunur.

Mikroşerit hatların birçoğu için burada verilen statik-TEM ifadeleri, $2 \leq f \leq 20$ GHz yaklaşık frekans aralığında doğru sonuçlar vererek çalışır. l_{eo} için alternatif empirik bir ifade Hammerstad ve Bekkadal tarafından verilmiştir.

$$l_{eo} = 0.412H \left(\frac{\epsilon_{eff} + 0.3}{\epsilon_{eff} - 0.258} \right) \left(\frac{W/H + 0.262}{W/H + 0.813} \right) \quad (3.6)$$

Çeşitli materyaller ve W/H oranları için bu formül %5 hata ile sonuç vermektedir. Bu ise kabul edilebilir bir hatadır.

3.2 Boşluk (Gap) Süreksizliği



Şekil 3.2 (a) Mikroşerit Boşluk Süreksizliği ; (b) Eşdeğer Devresi.

Enerjinin boşluğun diğer tarafına iletilebilmesi için, açık devre sonlandırılmış mikroşerit hatlar eşit ve ters olarak şarj edilmelidir. C_g kapasite elemanı bu durumu açıklamaktadır. Topraklanmış kapasite elemanı C_p , simetrik bir boşlukta, herbir hattın sonundan doğrudan toprağa yayılan alanı belirtmektedir.

$l_{eo} \cong \frac{cZ_o C_f}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}$ formülünün geliştirilmesi ile boşluk için geçerli ilave hat parçası l_{eg}

hesaplanabilir.

$$l_{eg} \cong \frac{cZ_o (C_p + C_g)}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3.7)$$

Buradan hareketle C_p ve C_g 'nin bilinmesi durumunda ilave hat parçasının uzunluğu hesaplanabilir. Bu durum sentez için uygun değildir. Buna örnek olarak filtre sentezi verilebilir. Prototip filtre karakteristiklerinden boşluk kapasite elemanının bilgisine ulaşılabilir.

Garg ve Bahl'a göre:

$$\frac{C_o}{W} = \left(\frac{S}{W} \right)^{m_o} \exp(k_o) \text{ pF/m} \quad (3.8)$$

$$\frac{C_e}{W} = \left(\frac{S}{W} \right)^{m_e} \exp(k_e) \text{ pF/m} \quad (3.9)$$

Bu eşitlikler $2.5 \leq \epsilon_r \leq 15$ aralığında %7'lik bir hata oranına sahiptir.

Tüm bu bilgilerin ışığında g boşluk genişliği;

$$\ln\left(\frac{S}{W}\right) = \frac{1}{m_o} \left\{ \ln\left(\frac{C_o}{W}\right) - k_o \right\} \quad (3.10)$$

formülü kullanılarak hesaplanabilir.

Bahl eşdeğer devre parametrelerinin hesaplanması için bir dizi analitik formüle başvurmuştur (Bahl, 1988):

$$C_p = \frac{C_{even}}{2} \quad , \quad C_g = \frac{C_{odd} - C_p}{2} \quad (3.11)$$

$$C_{even} = \left(\frac{\epsilon_r}{9.6}\right)^{0.9} C_e \quad , \quad C_{odd} = \left(\frac{\epsilon_r}{9.6}\right)^{0.8} C_o \quad (3.12)$$

$$\frac{C_e}{\omega} (pF / m) = \left(\frac{S}{\omega}\right)^{m_e} \exp(k_e) \quad , \quad \frac{C_o}{\omega} (pF / m) = \left(\frac{S}{\omega}\right)^{m_o} \exp(k_o) \quad (3.13)$$

$$m_e = 0.8675 \quad , \quad k_e = 2.043 \left(\frac{\omega}{H}\right)^{0.12} \quad , \quad 0.1 \leq \frac{S}{\omega} \leq 0.3 \quad (3.14)$$

$$m_e = \frac{1.565}{(\omega / H)^{0.16}} - 1 \quad , \quad k_e = 1.97 - \frac{0.03}{\omega / H} \quad , \quad 0.3 \leq \frac{S}{\omega} \leq 1.0 \quad (3.15)$$

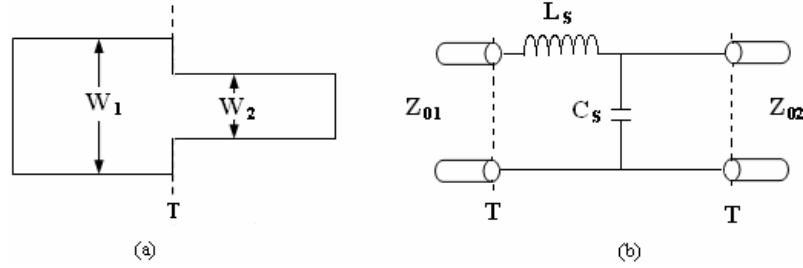
$$\left. \begin{aligned} m_o &= \frac{\omega}{H} \left(0.619 \log \frac{\omega}{H} - 0.3853 \right) \\ k_o &= 4.26 - 1.453 \log \frac{\omega}{H} \end{aligned} \right\} \quad 0.1 \leq \frac{S}{\omega} \leq 1.0 \quad (3.16)$$

3.3 Basamak (Step) Süreksizliği

Farklı genişliklerdeki mikroşerit hatların birbirine bağlanması gereksinimi, mikrodalga devre tasarımında sıkça karşılaşılan bir durumdur. Çeyrek dalga dönüştürücüler, filtreler ve kuplörler genişlik değişiminin görüldüğü durumlara örnek olarak verilebilirler. Yine aynı şekilde transistörlü kuvvetlendirici devrelerinde birçok zaman bu tür genişlik değişimlerine gereksinim duyulmaktadır.

Mikroşerit iletim hatlarında genişlik değişiminden kaynaklanan süreksizlik, Benedek ve Silvester tarafından detaylı olarak incelenmiştir. (Benedek, P. ve Silvester, P., 1972)

Basamak süreksizliği, eşdeğer devresi ve eşdeğer devre parametreleri Şekil 3.3’de gösterilmektedir.



Şekil 3.3 (a) Mikroşerit basamak süreksizliği; (b) Eşdeğer devresi.

Bahl eşdeğer devre parametrelerinin hesaplanması için bir dizi analitik formüle başvurmuştur (Bahl, 1988):

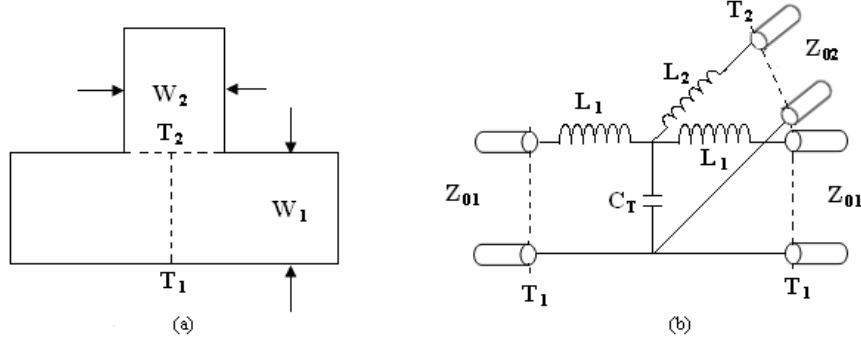
$$\frac{C_s}{H} (pF/m) = 1370 \frac{\sqrt{\epsilon_1}}{Z_{01}} \left(1 - \frac{W_2}{W_1} \right) \left[\frac{\epsilon_{eff1} + 0.3}{\epsilon_{eff1} - 0.258} \right] \left[\frac{W_1/H + 0.264}{W_1/H + 0.8} \right] \quad (3.17)$$

$$\frac{L_s}{H} (\mu H/m) = \left[1 - \frac{Z_{01}}{Z_{02}} \sqrt{\frac{\epsilon_{eff1}}{\epsilon_{eff2}}} \right]^2 \quad (3.18)$$

3.4 T-Jonksiyonu (T-Junction) Süreksizliği

Mikroşerit iletim hatlarında sıkça karşılaşılan bir diğer süreksizlik türü de T-Jonksiyonu süreksizliğidir. Mikroşerit antenler ve iletim hattı ile kollar arası kuplörler bu süreksizliğin görülebileceği yerlerdir.

Şekil 3.4’de T-Jonksiyonu süreksizliği ve eşdeğer devresi verilmiştir.



Şekil 3.4 (a) T-Jonksiyonu süreksizliği (b) Eşdeğer devresi

Eşdeğer devre parametreleri şu analitik formüller ile hesaplanabilir (Bahl, 1988):

$$\frac{C_T}{W_1} (pF/m) = \frac{100}{\tan H(0.0072Z_{02})} + 0.64Z_{02} - 261, \quad (25 \leq Z_{02} \leq 100) \quad (3.19)$$

$$\frac{L_1}{H} (nH/m) = -\frac{W_2}{H} \left\{ \frac{W_2}{H} \left(-0.016 \frac{W_1}{H} + 0.064 \right) + \frac{0.016}{W_1/H} \right\} L_{w1}, \quad (3.20)$$

$$0.5 \leq \left(\frac{W_1}{H}, \frac{W_2}{H} \right) \leq 2.0$$

$$\frac{L_2}{H} (nH/m) = \left\{ \left(0.12 \frac{W_1}{H} - 0.47 \right) \frac{W_2}{H} + 0.195 \frac{W_1}{H} - 0.357 + 0.0283 \sin \left(\pi \frac{W_1}{H} - 0.75\pi \right) \right\} L_{w2}, \quad (3.21)$$

$$1 \leq \frac{W_1}{H} \leq 2.0, \quad 0.5 \leq \frac{W_2}{H} \leq 2$$

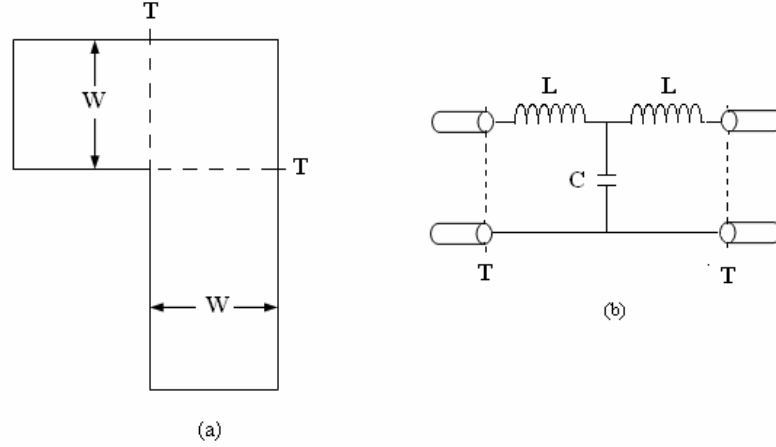
$$L_w = \frac{Z_o \sqrt{\epsilon_{eff}}}{c} (H/m), \quad c = 3 \times 10^8 m/s \quad (3.22)$$

5.Bölümde T-Jonksiyonu süreksizliğinin eşdeğer devre parametreleri analitik formüller ile

hesaplanmış, bulunan değerler eğitilmiş yapay sinir ağının verdiği sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

3.5 Büküm (Bend) Süreksizliği

Bu çalışmada incelenen son süreksizlik türü büküm süreksizliğidir. Büküm süreksizliği ve eşdeğer devresi Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5 (a) Büküm süreksizliği (b) Eşdeğer devresi

Eşdeğer devre parametreleri şu analitik formüller ile hesaplanabilir (Bahl, 1988):

$$\frac{C_{BEND}}{W} = \frac{(14\epsilon_r + 12.5)w/h - (1.83\epsilon_r - 2.25)}{\sqrt{w/h}} \quad (\text{PF/m}) \quad , \quad w/h < 1 \quad (3.23)$$

$$\frac{C_{BEND}}{W} = (9.5\epsilon_r + 1.25)\frac{w}{h} + 5.2\epsilon_r + 7 \quad (\text{PF/m}) \quad , \quad w/h > 1 \quad (3.24)$$

$$\frac{L}{h} = 100 \left\{ 4 \sqrt{\left(\frac{w}{h} \right)} - 4.21 \right\} \quad (\text{nH/m}) \quad (3.25)$$

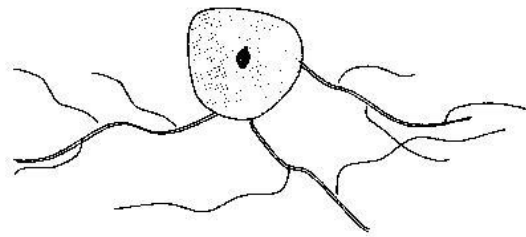
4. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

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.

4.1 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 4.1'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.

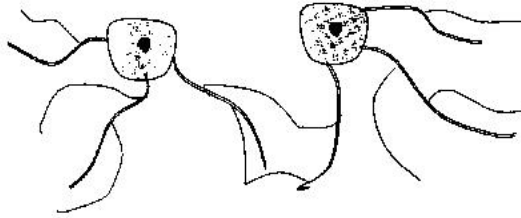


Şekil 4.1 Bir sinir hücresi.

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.



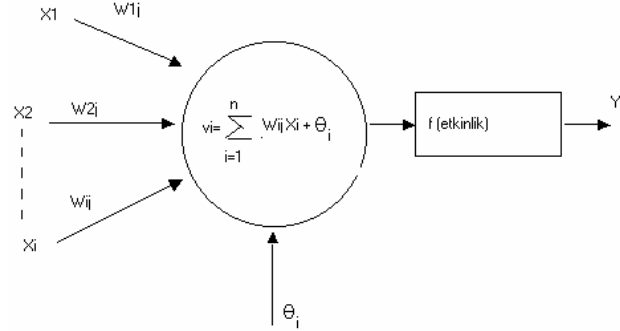
Şekil 4.2 Sinir hücrelerinin birbiriyle bağlantısı.

4.2 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 4.3'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 4.3'deki gibi olmakla birlikte gerçekleştirdiği işleve göre hücreler statik

yada dinamik bir davranış gösterebilirler.

4.2.1 Statik Hücre Modeli



Şekil 4.3 Statik Hücre Modeli.

Şekil 4.3’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 (4.1) deki gibi yazılabilir.

$$v = \sum_{i=0}^x w_i x_i \quad \text{yada} \quad v = \sum_{i=0}^x w_i x_i + b \quad (4.1)$$

Burada; W- hücrenin ağırlıklar matrisini, x- hücrenin giriş vektörünü, v- hücrenin net girişini, y- hücre çıkışını ve $\phi(\cdot)$ - hücrenin aktivasyon fonksiyonunu göstermektedir. Eşitlik (4.1) den, x giriş vektörünün bileşenlerinin dış (geri beslemesiz) girişler olması durumunda hücrenin doğrusal olmayan statik bir işlevi gerçekleştireceği görülmektedir.

4.2.2 Aktivasyon Fonksiyonları

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

4.2.3 Dinamik Hücre Modelleri

Şekil 4.3’de verilen yapay hücre modeli, x girişlerinden y çıkışlarına doğrusal olmayan statik bir dönüşümü gerçekleştirir. Görüntü 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

4.3 Yapay Sinir Ağının 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 ya da bilgisayarlarda yazılım olarak gerçekleştirilebilir.

4.3.1 Yapay Sinir Ağı Modellerinin Çıkarılması

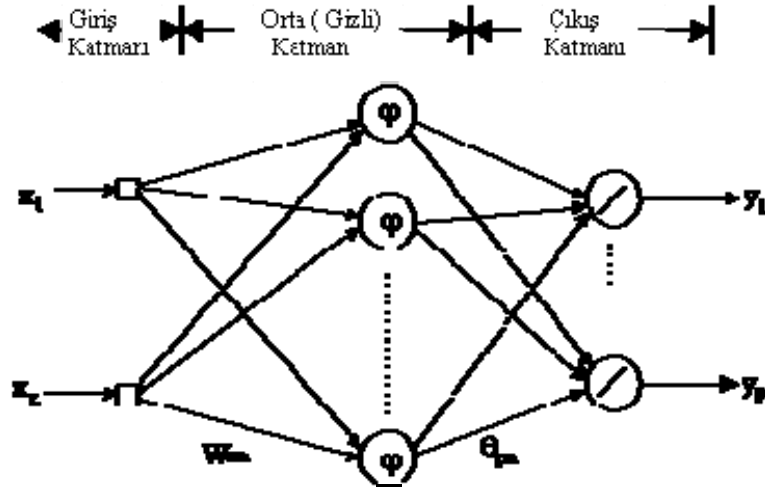
Genel olarak YSA modelleri; Ağı yapısına; 1) ileri beslemeli, 2)geri beslemeli, ağırlık matrislerinin simetrik veya asimetrik oluşuna, ağırlık matrisi değerlerinin sabit veya değişken oluşuna, ağda yer alan düğümlerin özelliklerine, kullanılan eşik fonksiyonunun deterministik veya stokastik oluşuna,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

4.3.2 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.

4.3.2.1 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 4.4'de giriş, orta ve çıkış katmanı olmak üzere 3 katmanlı ileri beslemeli YSA yapısı verilmiştir.



Şekil 4.4 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.

4.3.2.2 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

katmandaki hücreler arasında olduğu gibi katmanlar arasındaki hücreler arasında da olabilir. Bu yapısı ile geri beslemeli YSA, doğrusal olmayan dinamik bir davranış gösterir. Dolayısıyla, geri beslemenin yapılış şekline göre farklı yapıda ve davranışta geri beslemeli YSA yapıları elde edilebilir.

4.3.2.3 Bellek Hücreli YSA Yapıları (BHYS)

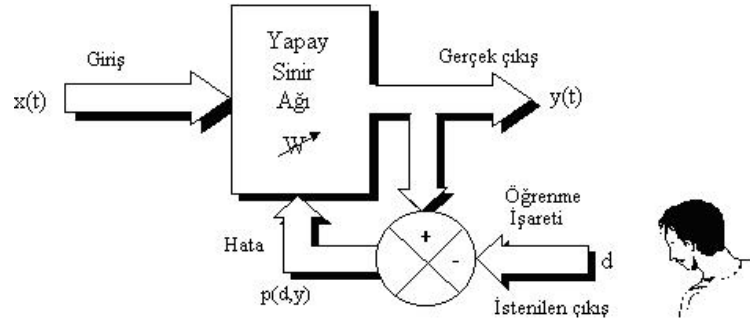
BHYS'da her bir ağ hücresine ait olan bellek hücresi, bir ağırlık (b_j) üzerinden öz geri besleme girişine ve başka bir ağırlık üzerinden (a_j) ait olduğu hücrenin gecikmiş girişine göre bir çıkış üretir. Çıkış katmanında ise genellikle sadece öz geri besleme kullanılır.

4.3.3 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).

4.3.3.1 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 eğitime 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 4.5'de eğitici öğrenme yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Eğitici öğrenme.

4.3.3.2 Eğitici öğrenme

Eğitici öğrenme moduna "Kendi kendine öğrenilebilir 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.

4.3.3.3 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.

4.4 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.

YSA ile hesaplamalarda istenilen dönüşüm için, adım adım yürütülen bir yöntem gerekmez. Sinir ağı ilişkilendirmeyi yapan iç kuralları kendi üretir ve bu kuralları, bunların sonuçlarını örneklerle karşılaştırarak düzenler. Deneme ve yanılma ile, ağ kendi kendine işi nasıl yapması gerektiğini öğrenir. YSA'larda bilgi saklama, verilen eğitim özelliğini kullanarak eğitim örnekleri ile yapılır. Sinirsel hesaplama, algoritmik programlamaya bir seçenek oluşturan, temel olarak yeni ve farklı bir bilgi işleme olayıdır. Uygulama imkanının olduğu her yerde, tamamen yeni bilgi işleme yetenekleri geliştirebilir. Bu sayede de geliştirme harcamaları ile geliştirme süresi büyük ölçüde azalır.

Sinir yapılarına benzetilerek bulunan ağların eğitimi de, normal bir canlının eğitimine benzemektedir. Sınıfların birbirinden ayrılması işlemi (dolayısıyla kendini geliştirmesi), öğrenme algoritması tarafından örnek kümeden alınan bilginin adım adım işlenmesi ile gerçekleşir.

Yapay sinir ağlarının; paralel çalışma yeteneği, öğrenerek kendini geliştiren bir eğitim yöntemi, donanım olarak kolay gerçekleştirilebilir olması, genelleme yeteneği ve sistem cevabının hücre ölümüne az bağlı olması en önemli özelliklerindendir. Ancak öğrenme algoritmalarının yerel en uygunlara (optimum) takılması ve yapısından kaynaklanan eksikliklerden dolayı ağın düğüm sayısının çok arttığı ve genelleme özelliğinin azaldığı gözlenmiştir. Ağlar, ihtiyaca göre kendini büyütmesi ve yerel en uygunlardan kurtulması için genetik algoritmalar eğitilir. Genetik algoritmaların en uygun çözüm noktasını aradığı her iterasyonda ağ içersindeki hücre sayısı artırılır. Böylece minimum hücre sayısı ile optimum noktaya ulaşılmaya çalışılır. Aşağıda yapay sinir ağlarının üstünlükleri, açıklamalarıyla sıralanmıştır.

Paralellik : Alışılmış bilgi işlem yöntemlerinin çoğu seri işlemlerden oluşmaktadır. Bu da hız ve güvenilirlik sorunlarını beraberinde getirmektedir. Seri bir işlem gerçekleşirken herhangi

bir birimin yavaş oluşu tüm sistemi doğruca yavaşlatırken, paralel bir sistemde yavaş bir birimin etkisi çok azdır. Nitekim seri bir bilgisayarın bir işlem elemanı beyine göre binlerce kez daha hızlı işlemesine rağmen, beynin toplam işlem hızı seri çalışan bir bilgisayara göre kıyaslanamayacak kadar yüksektir.

Gerçeklenme Kolaylığı: Yapay sinir ağlarında basit işlemler gerçekleyen türden hücrelerden oluşması ve bağlantıların düzgün olması, ağların gerçekleşmesi açısından büyük kolaylık sağlamaktadır.

Yerel Bilgi İşleme : Yapay sinir ağlarında her bir işlem birimi, çözülecek problemin tümü ile 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.

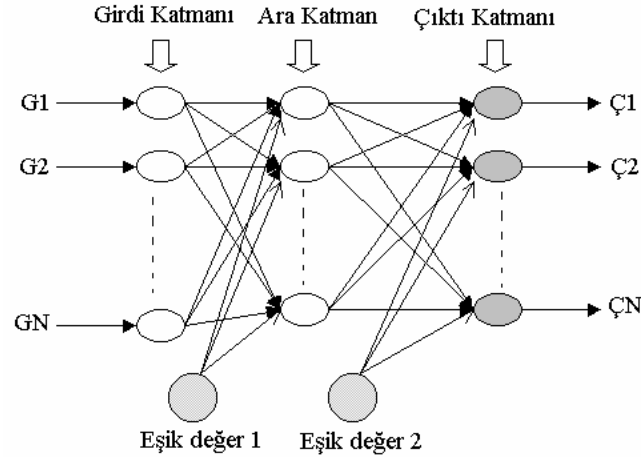
Hata Toleransı: Sayısal bir bilgisayarda, herhangi bir işlem elemanını yerinden almak, onu etkisiz bir makineye dönüştürmektedir. Ancak yapay sinir ağlarında bir elemanda meydana gelebilecek hasar çok büyük önem teşkil etmez. Yapay sinir ağlarının paralel çalışması hız avantajı ile birlikte yüksek hata 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.

4.5 Çok Katmanlı Algılayıcılar(ÇKA)

ÇKA ağlarının yapısı Şekil 4.6'da 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 4.6 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.

5. MİKROŞERİT İLETİM HAT SÜREKSİZLİKLERİNİN EŞDEĞER DEVRE YAPAY SİNİR AĞI MODELLERİ

Açık devre (open circuit), boşluk (gap), basamak (step), T-Jonksiyonu (T-junction) ve büküm (bend) süreksizlikleri mikroşerit devre tasarımında en sık karşılaşılan süreksizlik tipleridir ve özellikle yüksek frekanslarda devrenin çalışmasını önemli ölçüde etkilemektedirler. Bu bölümde, ED-YSA modeli oluşturulan açık devre, boşluk, basamak, T-jonksiyonu ve büküm süreksizlikleri eşdeğer devreleri ile birlikte incelenecektir. Şekil 3.1’de açık devre süreksizliği ve eşdeğer devresi verilmişti. Açık devre süreksizliği hattın sonuna eklenen bir eşdeğer kapasite ile hesaba katılabilir (Bakınız Şekil 3.1). Coc kapasitesinin değeri, kuvazi-statik alan hesaplamaları kullanılarak (Bahl, I., ve Bhartia, P., 2000) elde edilebilir.

Son zamanlarda mikroşerit süreksizliklerinin hesaplanmasında hız ve kullanım zorluğuna sahip EM çözümlere alternatif hızlı ve yüksek doğruluğa sahip modeller üzerinde çalışılmaktadır. Eşdeğer Devre (ED) modellerinin Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT)’larda kullanılması bu çalışmalardan biridir. (Bahl, I., ve Bhartia, P., 2000) YSA, süreksizlikleri modellemek için kullanılan bir diğer hızlı ve etkin yöntemdir. (Zhang, Q.J., ve Gupta, K.C., 2000) Bu bölümde mikroşerit hat süreksizliklerinden sırasıyla açık devre, boşluk, basamak, T-Jonksiyonu ve büküm süreksizliklerinin ED-YSA kara-kutu modelleri oluşturulacaktır.

5.1 ED-YSA Kara-Kutu Modellerinin Oluşturulması

Bir 3-katmanlı perceptronun nonlinear, sürekli ve çok boyutlu bir fonksiyona talep edilen bir doğrulukla yaklaşım yapılabileceği kanıtlanmıştır. (Zhang, Q.J., ve Gupta, K.C., 2000) Bu çalışmada da veri kümesi için denenen ağ yapıları arasında en yüksek doğruluk oranına sahip sonuçları Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA) ağları vermiştir. ÇKA ağında, her bir saklı nöronun aktivasyon fonksiyonu giriş vektörüne ve o nöronun sinaptik ağırlık vektörüne iç çarpım olarak etki eder. ÇKA ağlarının eğitiminde kullanılan en yaygın yöntem hatanın geriye yayılım algoritmasıdır. ÇKA’ nın eğitimi için farklı öğrenme algoritmaları denenmiş ve en yüksek doğruluğa sahip Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması tercih edilmiştir. ÇKA ağ yapıları, açık devre ED-YSA kara kutu modeli için 3 nörondan oluşan bir giriş katmanı, 5 adet nöron içeren bir gizli katman ve 3 nörondan oluşan çıkış katmanı şeklinde oluşturulmuştur. Aktivasyon fonksiyonu olarak katmanlarda gizli ve çıkış katmanlarında, sırasıyla tansig ve purelin aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır. Öğrenme oranı olarak 0.1 seçilmiştir. Giriş değerleri 0-1 arasında normalize edilmiştir. Sonuçların elde edilmesinde “MATLAB Neural Network Toolbox” kullanılmıştır.

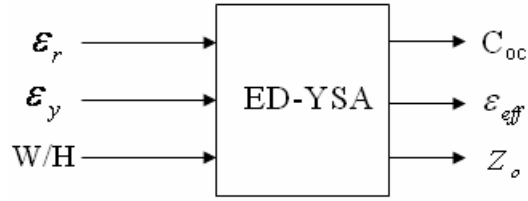
Ağların eğitim ve testlerinde kullanılan veri kümeleri, EM çözümlerden elde edilmiş ED modellerini kullanan bilgisayar programı ile otomatik hale getirilmiştir. Veri kümeleri ED-YSA modelinin giriş-çıkış tanımına uygun olarak hazırlanan “text” dosyası formatındadır. Bu dosyalar Ek2’de yer alan programlar ile oluşturulmuş ve oluşturulan veri kümelerinin bir kısmı eğitim kümesi, bir kısmı test kümesi olarak kullanılmıştır.

5.1.1 Açık-Devre Süreksizliği ED-YSA Kara- Kutu Modeli

5.1.1.1 Eşdeğer devre parametreleri ve ED-YSA kara kutu modeli çıktıların incelenmesi

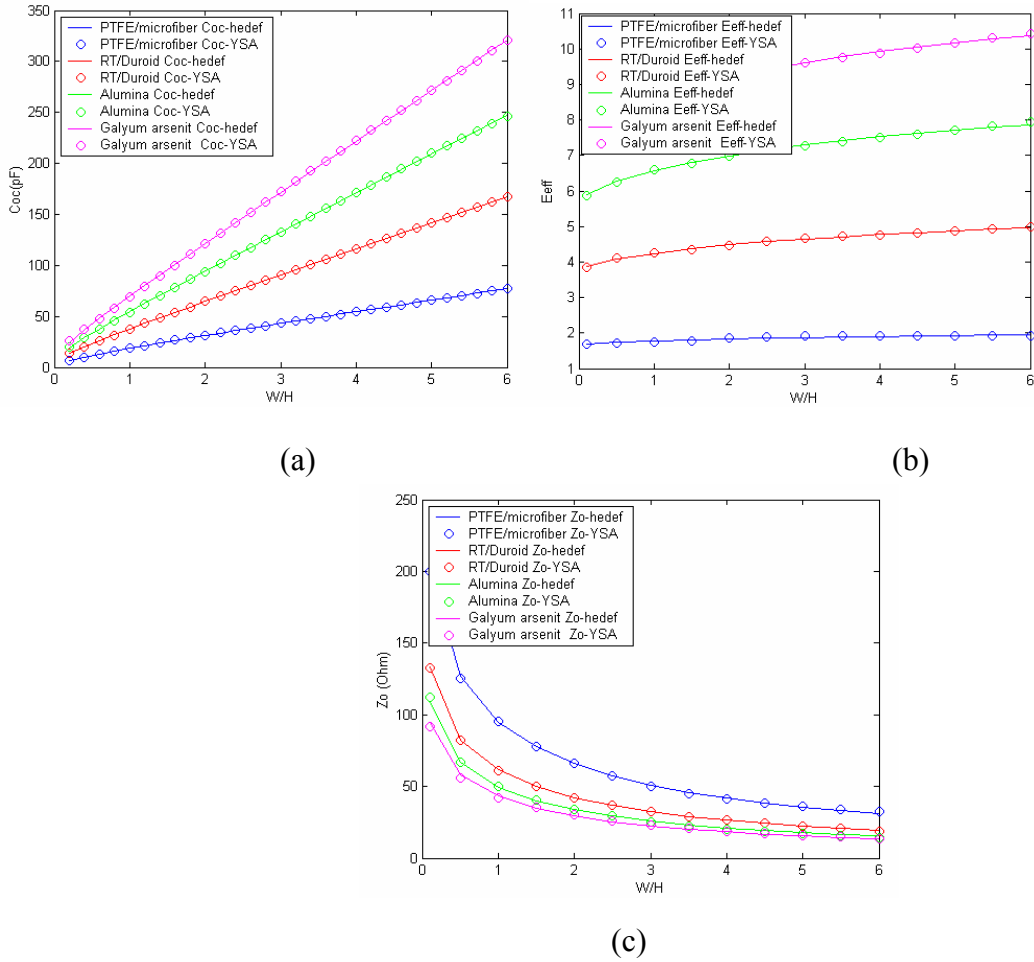
Açık devre süreksizliği ED-YSA kara kutu modelinin oluşturulması amacıyla denenen ağ yapıları arasında en yüksek doğruluk oranına sahip sonuçları Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA) ağları vermiştir. ÇKA ağında, her bir saklı nöronun aktivasyon fonksiyonu giriş vektörüne ve o nöronun sinaptik ağırlık vektörüne iç çarpım olarak etki eder. ÇKA ağlarının eğitiminde kullanılan en yaygın yöntem hatanın geriye yayılım algoritmasıdır. ÇKA’ nın eğitimi için farklı öğrenme algoritmaları denenmiş ve en yüksek doğruluğa sahip Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması tercih edilmiştir. ÇKA ağ yapıları, açık devre ED-YSA kara kutu modeli için 3 nörondan oluşan bir giriş katmanı, 5 adet nöron içeren bir gizli katman ve 3 nörondan oluşan çıkış katmanı şeklinde oluşturulmuştur. Aktivasyon fonksiyonu olarak katmanlarda gizli ve çıkış katmanlarında, sırasıyla tansig ve purelin aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır. Öğrenme oranı olarak 0.1 seçilmiştir. Giriş değerleri 0-1 arasında normalize edilmiştir. Sonuçların elde edilmesinde “MATLAB Neural Network Toolbox” kullanılmıştır. Ağların eğitim ve testlerinde kullanılan veri kümeleri, EM çözümlerden elde edilmiş ED modellerini kullanan bilgisayar programı ile otomatik hale getirilmiştir. Veri kümeleri ED-YSA modelinin giriş-çıkış tanımına uygun olarak hazırlanan “text” dosyası formatındadır. Bu dosyalar Ek2’de yer alan programlar ile oluşturulmuş ve oluşturulan veri kümelerinin bir kısmı eğitim kümesi, bir kısmı test kümesi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada, açık devre süreksizliği ED-YSA’nın oluşturulması için 240 eğitim veri çifti kullanılmıştır. Ağı test amacı ile ise 40 test veri çifti kullanılmıştır.

Şekil 5.1’de ED-YSA açık devre süreksizliği kara- kutu modeli yer almaktadır. Modelin giriş büyüklükleri, düzlemsel iletim hattında kullanılan dielektrik maddenin x ve y doğrultusundaki dielektrik sabitleri (materyalin anizotropik olabileceği de hesaba katılmıştır) ve mikroşerit hattın şerit genişliğinin taban madde kalınlığına oranıdır. Hattın karakteristik empedansı, efektif dielektrik sabiti ve açık devre kapasitesi kara-kutu modelinin çıkışında giriş değişkenlerinin fonksiyonu olarak elde edilir.



Şekil 5.1 Açık devre süreksizliği ED-YSA kara- kutu modeli.

Açık devre süreksizliği hattın sonuna eklenen bir eşdeğer kapasite ile hesaba katılabilir. Coc kapasitesinin değeri, kuvazi-statik alan hesaplamaları kullanılarak elde edilebilir. (Bahl, I., ve Bhartia, P., 2000) Grafiklerde ED-YSA kara kutu modeli çıktısı olarak elde edilen eşdeğer Coc kapasitesi, mikroşerit hattın efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedansının değerlerinin W/H'a göre değişimi ifade edilmiştir. ED-YSA çıktısı değerler, kuvazi-statik alan hesaplamaları ile elde edilen hedef Coc, ϵ_{eff} ve Z_o değerleri ile karşılaştırılmıştır. Hedef değerler düz çizgi ile, ED-YSA çıktısı değerler ise yuvarlak ile gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Açık devre süreksizliği ED-YSA kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen; Coc'nin W/H ile değişimi; (b) ϵ_{eff} 'in W/H ile değişimi; (c) Z_o 'ın W/H ile değişimi.

Grafiklerden, açık devre ED-YSA kara-kutu modeli çıktısı olarak ϵ_{eff} (ϵ_r , ϵ_y , W/H), Z_o (ϵ_r , ϵ_y , W/H) ve C_{oc} (ϵ_r , ϵ_y , W/H) fonksiyonlarının, RF ve mikrodalga elektronğinde yaygın olarak kullanılan dielektrik materyallerden PTFE/ mikrofiber glass, RT/Duroid 6006, Alumina ve Galyum-arsenit için hedef değerlerine çok iyi bir yaklaşıklık ile elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 5.1’de, grafiklerde çok iyi bir yaklaşıklıkla elde edildiği görülen kara-kutu çıkış fonksiyonları, galyum arsenit taban maddesi için, bir arada ifade edilmektedir. Çizelgedeki değerler incelendiğinde ED-YSA kara kutu modelinin çok büyük yaklaşıklıkla çıkış fonksiyon değerlerini verdiği görülmektedir.

Çizelge 5.1 Açık Devre Süreksizliği, ED-YSA kara-kutu modeli çıkış fonksiyonlarının hedef değerler ile karşılaştırılması

W/H	$C_{oc,Hedef}$ (pF)	$C_{oc,ED-YSA}$ (pF)	$\epsilon_{eff,Hedef}$	$\epsilon_{eff,ED-YSA}$	$Z_o,Hedef$ (Ohm)	$Z_o,ED-YSA$ (Ohm)
1	69.967	68.722054	8.6003	8.6405277	43.1443	42.317387
2	121.52	121.02141	9.1989	9.2132204	29.4495	30.009516
3	171.87	172.32164	9.6108	9.6014913	22.5547	23.104988
4	221.77	222.57126	9.9249	9.8826369	18.332	18.810361
5	271.56	271.72319	10.1767	10.160494	15.4661	15.861087
6	321.3	319.735	10.3851	10.442934	13.3881	13.586864

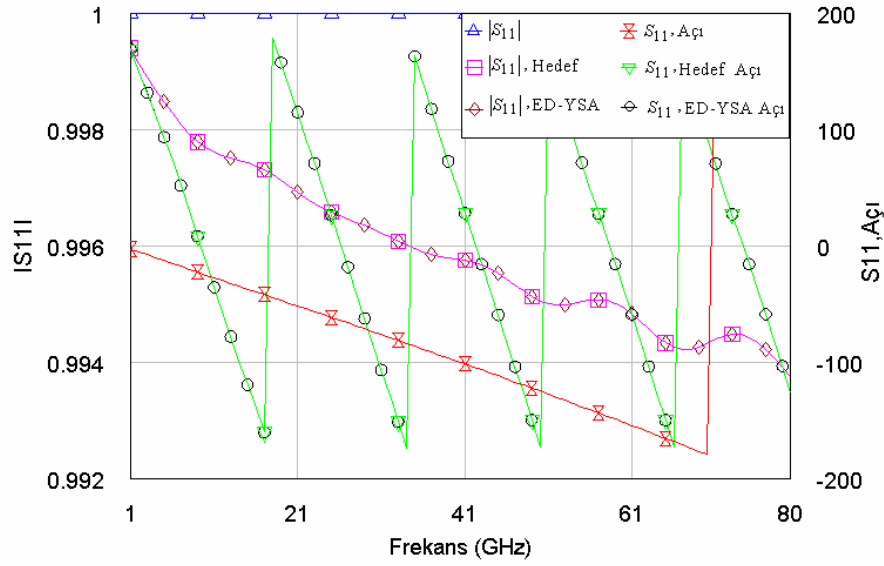
Şu ana kadar analitik formüller ile ifade edilmiş eşdeğer devre parametre hedef değerlerinin ED-YSA kara-kutu modeli sonuçları ile karşılaştırılması üzerinde durulmuştur. Elde edilen sonuçların birbiriyle çok yakın değerlerde olması yapay sinir ağının büyük doğrulukta eğitildiğini ve çok büyük yaklaşıklıkla sonuç verdiğini göstermektedir.

5.1.1.2 Açık devre süreksizliği S parametrelerinin incelenmesi

Bu kısımda eşdeğer devre parametrelerinin, devrenin S parametreleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Öncelikle eşdeğer devre parametrelerinin kullanılmadığı yani açık devre süreksizliğinin hesaba katılmadığı devre ele alınmış ve S parametrelerinin modül ve argümanının frekansa bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Sonrasında ise hedef değerler ve ED-YSA kara-kutu modeli sonucu değerler kullanılarak açık devre süreksizliğinin hesaba

katıldığı eşdeğer devrelere ait S parametrelerinin modül ve argümanlarının frekansa bağlı olarak değişimi grafikler yardımıyla ifade edilmiştir.

Son olarak açık devre süreksizliğinin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlarda elde edilen devreye ait S parametreleri ve ED-YSA kara-kutu modelinin ne derece yaklaşıklıkla sonuçlar verdiği araştırılmıştır. Sonuç karşılaştırmalar yine grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Açık devre süreksizliği hesaba katıldığı ve katılmadığı halde S_{11} parametresi değişimleri.

Şekil 5.3’de, açık devre süreksizliği ED-YSA kara-kutu modeli çıktısı “ $C_{oc} = 69.967$ pF” ile temsil edilen bir mikroşerit hattın S_{11} parametresi, modül ve argümanının frekans ile değişimleri yer almaktadır. Bu grafik, $W/H = 1$, $\epsilon_r = 12.9$ (galyum arsenit) olan mikroşerite aittir. Açık devre süreksizliği hattın sonuna eklenen C_{oc} eşdeğer kapasite elemanı ile hesaba katılmıştır. Açık devre süreksizliğinin hesaba katılmadığı durumda elde edilen S_{11} parametresinin modül ve argümanı ile süreksizliğin dikkate alındığı durumda elde edilen S_{11} parametresinin modül ve argümanları grafik üzerinde gösterilmiştir. Hedef olarak isimlendirilen değerler, kuvazi-statik alan hesaplamaları kullanılarak elde edilmiş eşdeğer devre parametrelerinin kullanıldığı devreye ait S parametre değerlerini, ED-YSA olarak isimlendirilen değerler ise ED-YSA kara kutu modeli çıktısı olarak elde edilen eşdeğer devre parametrelerinin kullanıldığı devreye ait S parametre değerlerini ifade etmektedir.

Süreksizliğin hesaba katılmadığı veya eşdeğer devre parametrelerinin kullanılması suretiyle hesaba katıldığı bu iki duruma ait devreler, Microwave Office paket programı kullanılarak oluşturulmuştur.

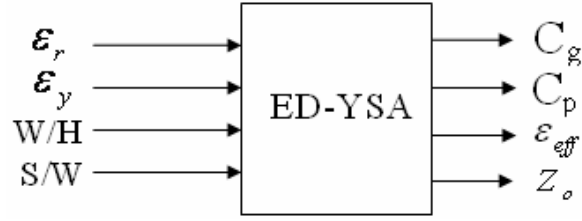
5.1.2 Boşluk Süreksizliği ED-YSA Kara- Kutu Modeli

Şekil 3.2’de de boşluk süreksizliği ve eşdeğer devresi verilmişti. Benzer şekilde C_p ve C_g , kuvazi-statik alan hesaplamaları kullanılarak elde edilebilir. (Bahl, I., ve Bhartia, P., 2000)

5.1.2.1 Eşdeğer devre parametreleri ve ED-YSA kara kutu modeli çıktılarının incelenmesi

Boşluk süreksizliği ED-YSA kara kutu modelinin oluşturulması amacıyla ÇKA ağları kullanılmıştır. ÇKA’ nın eğitimi için Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması tercih edilmiştir. ÇKA ağ yapıları, boşluk ED-YSA kara kutu modeli için 4 nörondan oluşan bir giriş katmanı, 5 adet nöron içeren bir gizli katman ve 4 nörondan oluşan çıkış katmanı şeklinde oluşturulmuştur. Aktivasyon fonksiyonu olarak katmanlarda gizli ve çıkış katmanlarında, sırasıyla tansig ve purelin aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır. Öğrenme oranı olarak 0.1 seçilmiştir. Giriş değerleri 0-1 arasında normalize edilmiştir. Sonuçların elde edilmesinde “MATLAB Neural Network Toolbox” kullanılmıştır. Ağların eğitim ve testlerinde kullanılan veri kümeleri, EM çözümlerden elde edilmiş ED modellerini kullanan bilgisayar programı ile otomatik hale getirilmiştir. Veri kümeleri ED-YSA modelinin giriş-çıkış tanımına uygun olarak hazırlanan “text” dosyası formatındadır. Bu dosyalar Ek2’de yer alan programlar ile oluşturulmuş ve oluşturulan veri kümelerinin bir kısmı eğitim kümesi, bir kısmı test kümesi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada, boşluk süreksizliği ED-YSA’nın oluşturulması için 120 eğitim veri çifti kullanılmıştır. Ağı test amacı ile ise 36 test veri çifti kullanılmıştır.

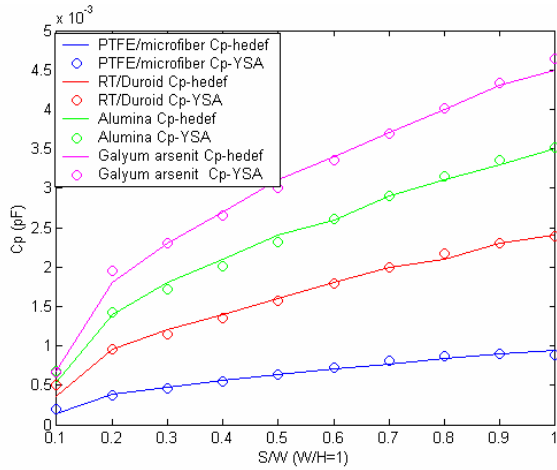
Şekil 5.4’da ED-YSA boşluk süreksizliği kara- kutu modeli yer almaktadır. Açık devre kara kutu modeline benzer şekilde, modelin giriş büyüklükleri, düzlemsel iletim hattında kullanılan dielektrik maddenin x ve y doğrultusundaki dielektrik sabitleri, mikroşerit hattın şerit genişliğinin taban madde kalınlığına oranı ve boşluk uzunluğunun şerit genişliğine oranıdır. Hattın karakteristik empedansı, efektif dielektrik sabiti ve boşluk eşdeğer kapasiteleri kara-kutu modelinin çıkışında elde edilir.



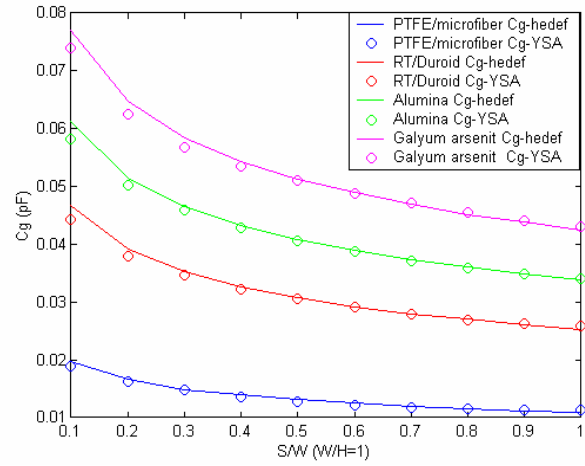
Şekil 5.4 Boşluk süreksizliği ED-YSA kara- kutu modeli.

Boşluk süreksizliği mikroşerit iletim hattına eklenen C_p ve C_g eşdeğer kapasite elemanları ile hesaba katılabilir. Eşdeğer kapasite elemanlarının değerleri, kuvazi-statik alan hesaplamaları kullanılarak elde edilebilir. Grafiklerde ED-YSA kara kutu modeli çıktısı olarak elde edilen eşdeğer kapasite elemanları, mikroşerit hattın efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedansının değerlerinin S/W 'a göre değişimi ifade edilmiştir. S , boşluğun genişliğini W ise mikroşerit hattın genişliğini ifade etmektedir.

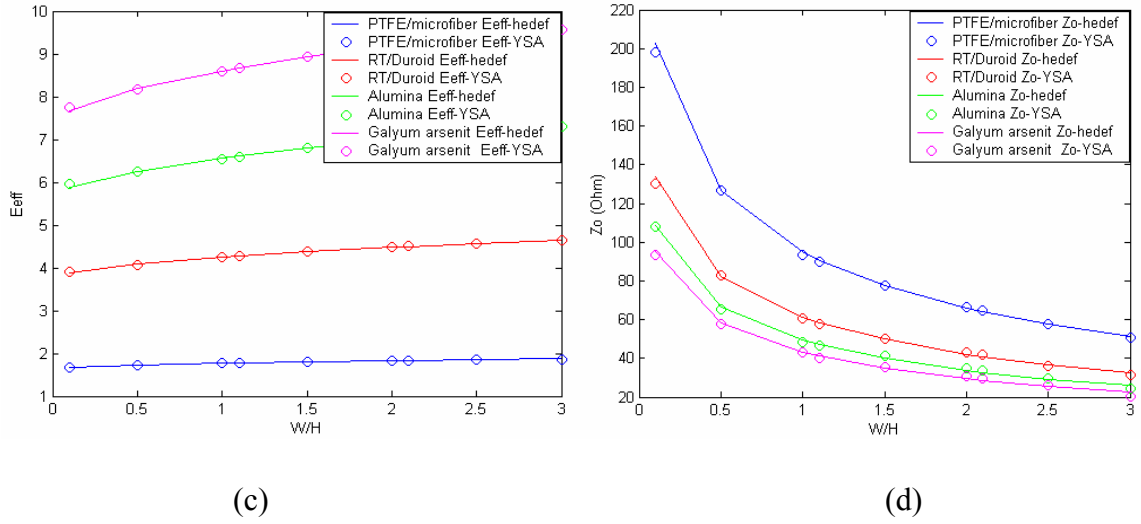
ED-YSA çıktısı değerler, kuvazi-statik alan hesaplamaları ile elde edilen hedef C_p , C_g , ϵ_{eff} ve Z_o değerleri ile karşılaştırılmıştır. Hedef değerler düz çizgi ile, ED-YSA çıktısı değerler ise yuvarlak ile gösterilmiştir.



(a)



(b)



Şekil 5.5 Boşluk süreksizliği ED-YSA kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen; (a) C_p 'nin S/W ile değişimi; (b) C_g 'nin S/W ile değişimi; (c) ϵ_{eff} 'in S/W ile değişimi; (d) Z_o 'ın S/W ile değişimi.

Grafiklerden, boşluk ED-YSA kara-kutu modeli çıktısı olarak ϵ_{eff} (ϵ_r , ϵ_y , W/H), Z_o (ϵ_r , ϵ_y , W/H), C_p (ϵ_r , ϵ_y , S/W) ve C_g (ϵ_r , ϵ_y , S/W) fonksiyonlarının, RF ve mikrodalga elektroniğinde yaygın olarak kullanılan dielektrik materyallerden PTFE/ mikrofiber glass, RT/Duroid 6006, Alumina ve Galyum-arsenit için hedef değerlerine çok iyi bir yaklaşıklık ile elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 5.2'de, grafiklerde çok iyi bir yaklaşıklıkla elde edildiği görülen kara-kutu çıkış fonksiyonları, mikrofiber glass taban maddesi için, bir arada ifade edilmektedir. Çizelgedeki değerler incelendiğinde ED-YSA kara kutu modelinin çok büyük yaklaşıklıkla çıkış fonksiyon değerlerini verdiği görülmektedir.

Çizelge 5.2 Boşluk Süreksizliği, ED-YSA kara-kutu modeli çıkış fonksiyonlarının hedef değerler ile karşılaştırılması

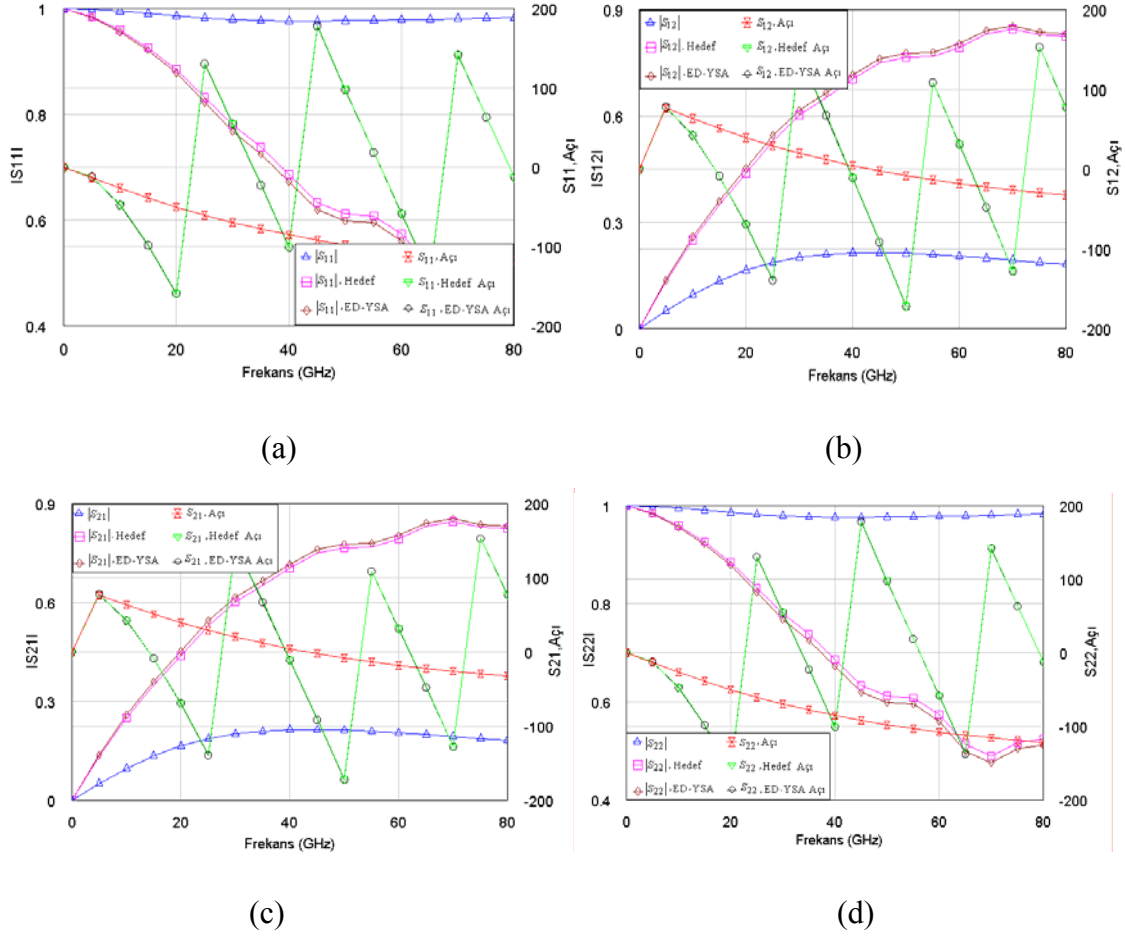
W/H	S/W	$C_{p,Hedef}$ (pF)	$C_{p,ED-YSA}$ (pF)	$C_{g,Hedef}$ (pF)	$C_{g,ED-YSA}$ (pF)	$\epsilon_{eff,Hedef}$	$\epsilon_{eff,ED-YSA}$	$Z_{o,Hedef}$ (Ω)	$Z_{o,ED-YSA}$ (Ω)
0.5	0.9	0.00042799	0.00036868601	0.0158	0.016257746	1.7345	1.729523	126.5805	126.97727
1	1	0.00095229	0.00091474305	0.0108	0.012504407	1.7735	1.7757997	95.0091	93.558298
1.5	0.9	0.0014	0.0014460805	0.0087	0.0086608559	1.806	1.8098996	77.5858	77.617194
2	1	0.0019	0.0018846256	0.0073	0.0068470906	1.8317	1.8350417	65.9953	66.748535
2.5	0.9	0.0023	0.0022225445	0.0057	0.0051658907	1.8534	1.8536196	57.5531	57.978912
3	1	0.0029	0.0029428281	0.0054	0.0041447999	1.872	1.8674023	51.1055	50.525616

Şu ana kadar analitik formüller ile ifade edilmiş eşdeğer devre parametre hedef değerlerinin ED-YSA kara-kutu modeli sonuçları ile karşılaştırılması üzerinde durulmuştur. Elde edilen sonuçların birbiriyle çok yakın değerlerde olması yapay sinir ağının büyük doğrulukta eğitildiğini ve çok büyük yaklaşıklıkla sonuç verdiğini göstermektedir.

5.1.2.2 Boşluk süreksizliği S parametrelerinin incelenmesi

Bu kısımda eşdeğer devre parametrelerinin, devrenin S parametreleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Öncelikle eşdeğer devre parametrelerinin kullanılmadığı yani boşluk süreksizliğinin hesaba katılmadığı devre ele alınmış ve S parametrelerinin modül ve argümanının frekansa bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Sonrasında ise hedef değerler ve ED-YSA kara-kutu modeli sonucu değerler kullanılarak boşluk süreksizliğinin hesaba katıldığı eşdeğer devrelere ait S parametrelerinin modül ve argümanlarının frekansa bağlı olarak değişimi grafikler yardımıyla ifade edilmiştir.

Son olarak boşluk süreksizliğinin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlarda elde edilen devreye ait S parametreleri ve ED-YSA kara-kutu modelinin ne derece yaklaşıklıkla sonuçlar verdiği araştırılmıştır. Sonuç karşılaştırmalar yine grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5.6 Boşluk süreksizliği hesaba katıldığı ve katılmadığı halde; (a) S_{11} parametresi; (b) S_{12} parametresi; (c) S_{21} parametresi; (d) S_{22} parametresi değişimleri.

Şekil 5.6’da boşluk süreksizliği ED-YSA kara-kutu modeli çıktısı “ $C_p = 0.0046$ pF” ve $C_g = 0.0424$ pF ile temsil edilen bir mikroşerit hattın S parametrelerinin, modül ve argümanlarının frekans ile değişimleri yer almaktadır. Grafikler, $W/H = 1$, $\epsilon_r = 12.9$ (galyum arsenit) olan mikroşerite aittir. Boşluk süreksizliği, mikroşerit iletim hattına eklenen eşdeğer kapasite elemanları ile hesaba katılmıştır. Boşluk süreksizliğinin hesaba katılmadığı durumda elde edilen S parametrelerinin modül ve argümanları ile süreksizliğin dikkate alındığı durumda elde edilen S parametrelerinin modül ve argümanları grafik üzerinde gösterilmiştir. Hedef olarak isimlendirilen değerler, kuvazi-statik alan hesaplamaları kullanılarak elde edilmiş eşdeğer devre parametrelerinin kullanıldığı devreye ait S parametre değerlerini, ED-YSA olarak isimlendirilen değerler ise ED-YSA kara kutu modeli çıktısı olarak elde edilen eşdeğer devre parametrelerinin kullanıldığı devreye ait S parametre değerlerini ifade etmektedir. Süreksizliğin hesaba katılmadığı veya eşdeğer devre parametrelerinin kullanılması suretiyle hesaba katıldığı bu iki duruma ait devreler, Microwave Office kullanılarak oluşturulmuştur.

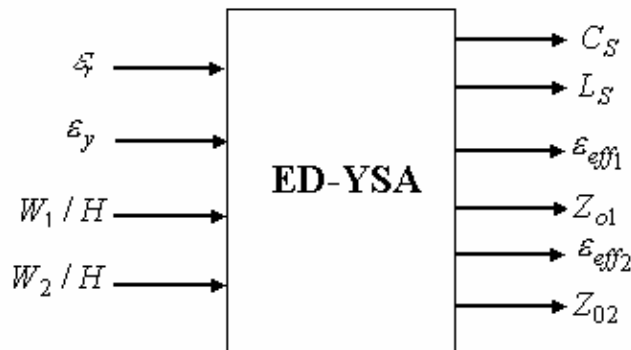
5.1.3 Basamak Süreksizliği ED-YSA Kara- Kutu Modeli

Bölüm 3, Şekil 3.3’de boşluk süreksizliği ve eşdeğer devresi verilmiştir.

5.1.3.1 Eşdeğer devre parametreleri ve ED-YSA kara kutu modeli çıktılarının incelenmesi

Basamak süreksizliği ED-YSA kara kutu modelinin oluşturulması amacıyla ÇKA ağları kullanılmıştır. ÇKA’ nın eğitimi için Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması tercih edilmiştir. ÇKA ağ yapıları, basamak ED-YSA kara kutu modeli için 4 nörondan oluşan bir giriş katmanı, 5 adet nöron içeren bir gizli katman ve 6 nörondan oluşan çıkış katmanı şeklinde oluşturulmuştur. Aktivasyon fonksiyonu olarak katmanlarda gizli ve çıkış katmanlarında, sırasıyla tansig ve purelin aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır. Öğrenme oranı olarak 0.1 seçilmiştir. Giriş değerleri 0-1 arasında normalize edilmiştir. Sonuçların elde edilmesinde “MATLAB Neural Network Toolbox” kullanılmıştır. Ağların eğitim ve testlerinde kullanılan veri kümeleri, EM çözümlerden elde edilmiş ED modellerini kullanan bilgisayar programı ile otomatik hale getirilmiştir. Veri kümeleri ED-YSA modelinin giriş-çıkış tanımına uygun olarak hazırlanan “text” dosyası formatındadır. Bu dosyalar Ek2’de yer alan programlar ile oluşturulmuş ve oluşturulan veri kümelerinin bir kısmı eğitim kümesi, bir kısmı test kümesi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada, basamak süreksizliği ED-YSA’nın oluşturulması için 280 eğitim veri çifti kullanılmıştır. Ağı test amacı ile ise 40 test veri çifti kullanılmıştır.

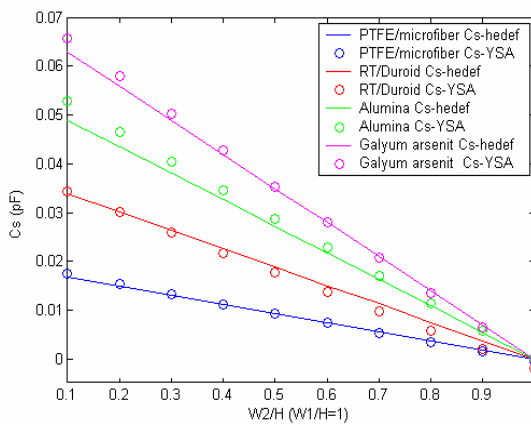
Şekil 5.7’de ED-YSA basamak süreksizliği kara- kutu modeli yer almaktadır. Modelin giriş büyüklükleri, düzlemsel iletim hattında kullanılan dielektrik maddenin x ve y doğrultusundaki dielektrik sabitleri ve mikroşerit hatların şerit genişliklerinin taban madde kalınlıklarına oranlarıdır. Hatların karakteristik empedansları, efektif dielektrik sabitleri, basamak eşdeğer kapasite ve endüktansı kara-kutu modelinin çıkışında elde edilir.



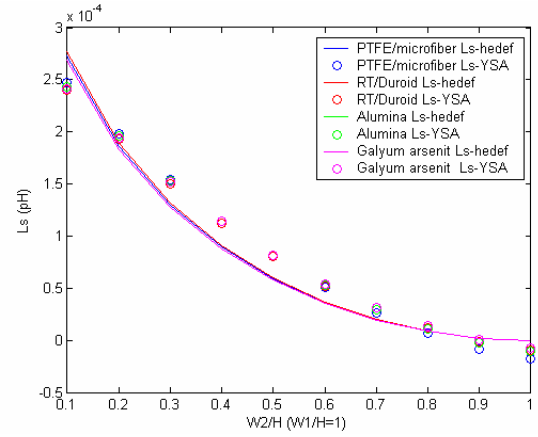
Şekil 5.7 Basamak süreksizliği ED-YSA kara- kutu modeli.

W_1 ve W_2 genişlikleri arasındaki fark mikroşerit iletim hattında basamak süreksizliğinin oluşmasına neden olmaktadır. Basamak süreksizliği mikroşerit iletim hattına eklenen C_S ve L_S eşdeğer kapasite ve endüktans elemanları ile hesaba katılabilir. Eşdeğer devre elemanlarının değerleri, kuvazi-statik alan hesaplamaları kullanılarak elde edilebilir. Grafiklerde ED-YSA kara kutu modeli çıktısı olarak elde edilen eşdeğer devre elemanları, farklı genişlikteki mikroşerit iletim hatlarının efektif dielektrik sabitleri ve karakteristik empedanslarının değerlerinin W/H 'a göre değişimi ifade edilmiştir.

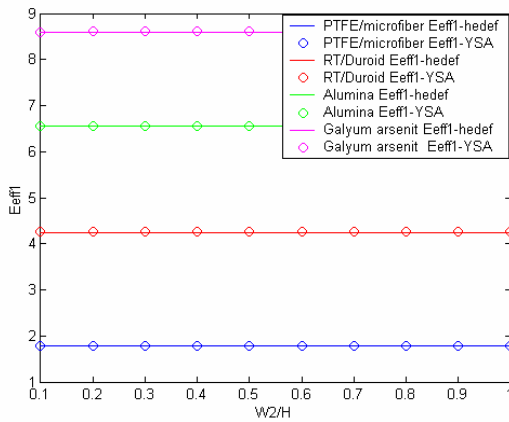
ED-YSA çıktısı değerler, kuvazi-statik alan hesaplamaları ile elde edilen hedef C_S , L_S , ϵ_{eff} ve Z_o değerleri ile karşılaştırılmıştır. Hedef değerler düz çizgi ile, ED-YSA çıktısı değerler ise yuvarlak ile gösterilmiştir.



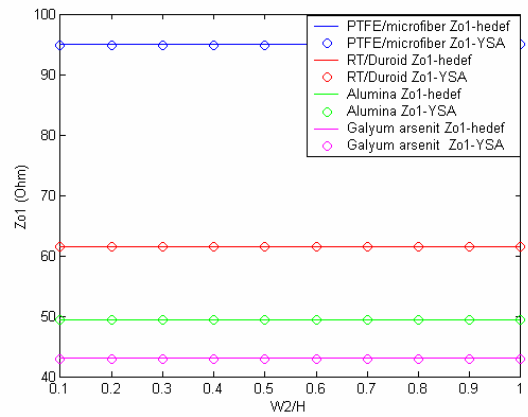
(a)



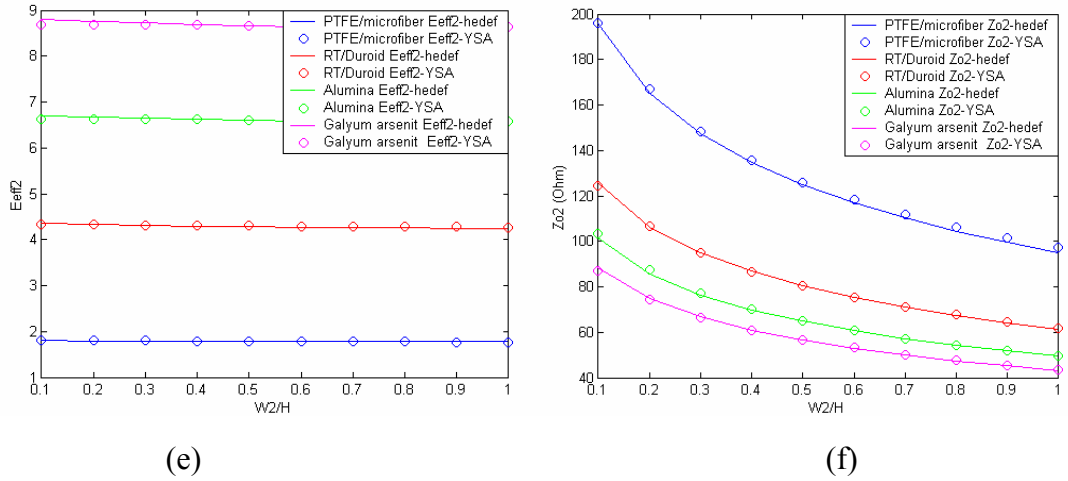
(b)



(c)



(d)



Şekil 5.8 Basamak süreksizliği ED-YSA kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen; (a) C_s 'nin (b) L_s 'nin (c) ϵ_{eff1} 'in ; (d) Z_{o1} 'in ; (e) ϵ_{eff2} 'nin ; (f) Z_{o2} 'in W_2/H ile değişimi.

Çizelge 5.3'de, grafiklerde çok iyi bir yaklaşıklıkla elde edildiği görülen kara-kutu çıkış fonksiyonları, galyum arsenit taban maddesi için, bir arada ifade edilmektedir. Çizelgedeki değerler incelendiğinde ED-YSA kara kutu modelinin çok büyük yaklaşıklıkla çıkış fonksiyon değerlerini verdiği görülmektedir.

Çizelge 5.3 Basamak Süreksizliği, $\epsilon_r = 12.9$, $\epsilon_y = 12.9$ (galyum arsenit) ve $W_1/H = 1$ için hedef değerler ile ED-YSA değerlerinin karşılaştırma tablosu

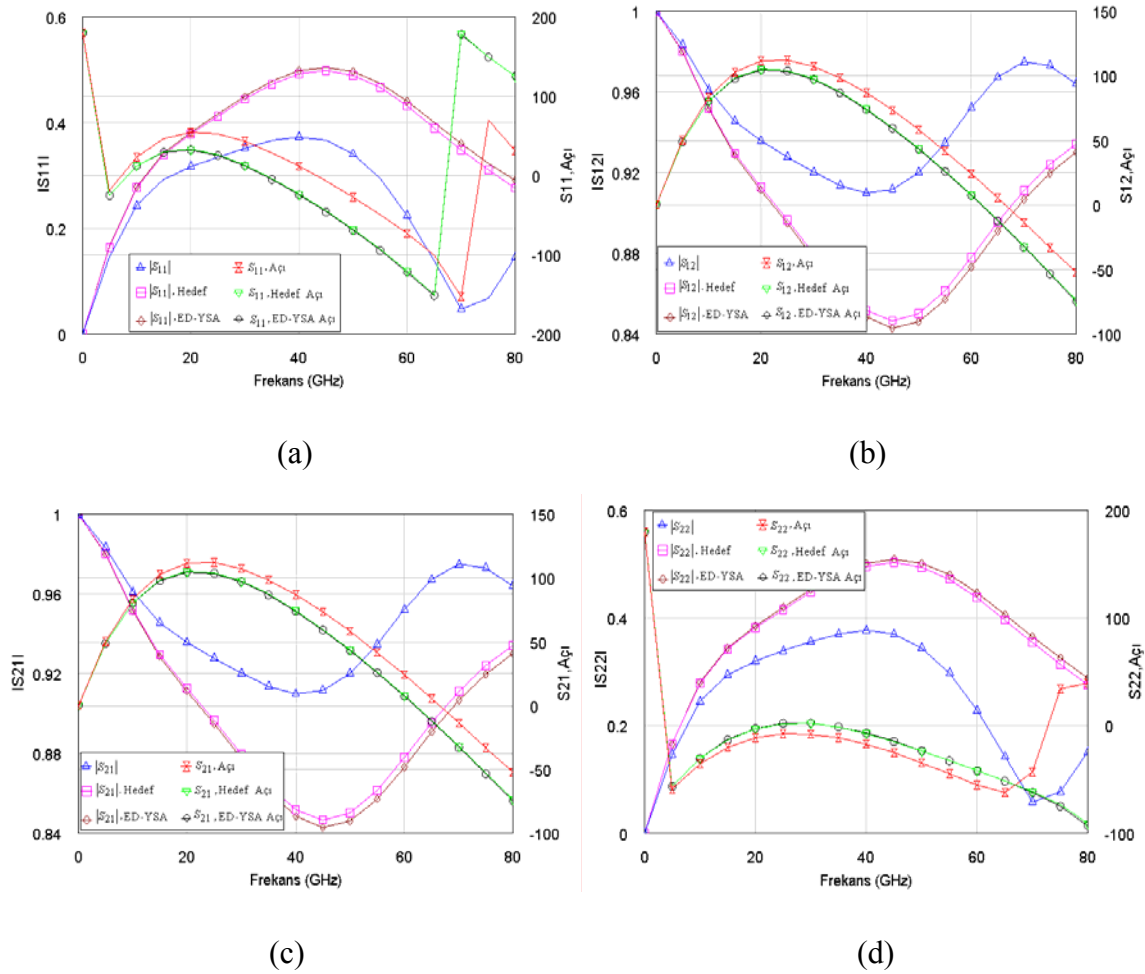
W_2 / H	$C_{s,Hedef}$	$C_{s,ED-YSA}$	$L_{s,Hedef}$	$L_{s,ED-YSA}$
0.1	0.0628	0.061023854	0.00026881	0.00024149283
0.2	0.0558	0.05441694	0.00018331	0.0001942974
0.3	0.0488	0.047780946	0.00012806	0.00015191665
0.4	0.0418	0.04111654	0.000088069	0.00011441389
0.5	0.0349	0.034424449	0.000058096	0.000081829934
0.6	0.0279	0.027705459	0.000035658	0.000054184856
0.7	0.0209	0.020960417	0.000019363	0.000031479096
0.8	0.0139	0.014190236	0.0000083467	0.000013694777
0.9	0.0070	0.0073958928	0.0000020309	0.0000007971431
1	0	0.0000578	0	0.00000072639

W_2 / H	$\epsilon_{eff1,Hedef}$	$\epsilon_{eff1,ED-YSA}$	$Z_{o1,Hedef}$	$Z_{o1,ED-YSA}$	$\epsilon_{eff2,Hedef}$	$\epsilon_{eff2,ED-YSA}$	$Z_{o2,Hedef}$	$Z_{o2,ED-YSA}$
0.1	8.5979	8.6021963	43.1505	42.890448	8.7942	8.6942355	88.606	86.907365
0.2	8.5979	8.6023964	43.1505	42.895669	8.7559	8.6875944	74.7734	74.573559
0.3	8.5979	8.6025965	43.1505	42.900892	8.7215	8.6811579	66.7202	66.474709
0.4	8.5979	8.6027966	43.1505	42.906118	8.6915	8.6749329	61.0285	60.79244
0.5	8.5979	8.6029966	43.1505	42.911345	8.6662	8.6689263	56.6296	56.522958
0.6	8.5979	8.6031967	43.1505	42.916574	8.6456	8.6631447	53.0486	53.112918
0.7	8.5979	8.6033967	43.1505	42.921805	8.6297	8.6575947	50.033	50.254969
0.8	8.5979	8.6035967	43.1505	42.927038	8.6185	8.6522825	47.4322	47.775446
0.9	8.5979	8.6037968	43.1505	42.932273	8.6121	8.6472141	45.1496	45.573458
1	8.5979	8.6039967	43.1505	42.937511	8.6104	8.6423954	43.1192	43.587803

5.1.3.2 Basamak süreksizliği S parametrelerinin incelenmesi

Bu kısımda eşdeğer devre parametrelerinin, devrenin S parametreleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Öncelikle eşdeğer devre parametrelerinin kullanılmadığı yani basamak süreksizliğinin hesaba katılmadığı devre ele alınmış ve S parametrelerinin modül ve argümanlarının frekansa bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Sonrasında ise hedef değerler ve ED-YSA kara-kutu modeli sonucu değerler kullanılarak basamak süreksizliğinin hesaba katıldığı eşdeğer devrelere ait S parametrelerinin modül ve argümanlarının frekansa bağlı olarak değişimi grafikler yardımıyla ifade edilmiştir.

Son olarak basamak süreksizliğinin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlarda elde edilen devreye ait S parametreleri ve ED-YSA kara-kutu modelinin ne derece yaklaşıklıkla sonuçlar verdiği araştırılmıştır. Sonuç karşılaştırmalar yine grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5.9 Basamak süreksizliği hesaba katıldığı ve katılmadığı halde; (a) S_{11} parametresi; (b) S_{12} parametresi; (c) S_{21} parametresi; (d) S_{22} parametresi değişimleri.

Şekil 5.9’da basamak süreksizliği ED-YSA kara-kutu modeli çıktısı “ $C_S = 0.0271$ pF” ve $L_S = 0.000058096$ nH ile temsil edilen bir mikroşerit hattın S parametrelerinin modül ve argümanlarının frekans ile değişimleri yer almaktadır. Grafikler, $W_1/H = 1$, $W_2/H = 0.5$, $\epsilon_r = 9.7$ (alumina) olan mikroşerite aittir.

Basamak süreksizliği, mikroşerit iletim hattına eklenen eşdeğer kapasite ve endüktans elemanları ile hesaba katılmıştır. Basamak süreksizliğinin ihmal edilmesi durumunda elde edilen S parametrelerinin modül ve argümanları ile süreksizliğin dikkate alındığı durumda elde edilen S parametrelerinin modül ve argümanları grafik üzerinde gösterilmiştir. Hedef olarak isimlendirilen değerler, kuvazi-statik alan hesaplamaları kullanılarak elde edilmiş eşdeğer devre parametrelerinin kullanıldığı devreye ait S parametre değerlerini, ED-YSA olarak isimlendirilen değerler ise ED-YSA kara kutu modeli çıktısı olarak elde edilen eşdeğer devre parametrelerinin kullanıldığı devreye ait S parametre değerlerini ifade etmektedir. Süreksizliğin hesaba katılmadığı veya eşdeğer devre parametrelerinin kullanılması suretiyle hesaba katıldığı bu iki duruma ait devreler, Microwave Office paket programı kullanılarak oluşturulmuştur.

5.1.4 T-Jonksiyonu Süreksizliği ED-YSA Kara- Kutu Modeli:

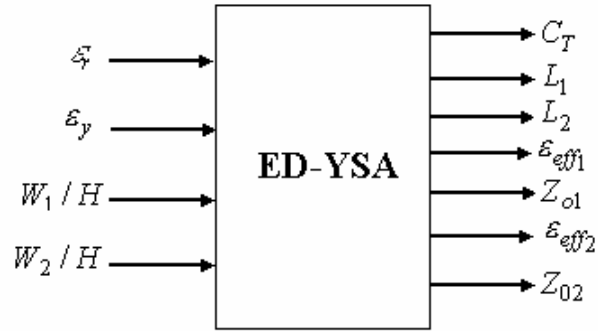
Bölüm 3’de Şekil 3.4’de T-jonksiyonu süreksizliği ve eşdeğer devresi verilmiştir.

5.1.4.1 T-jonksiyonu süreksizliği eşdeğer devre parametreleri ve ED-YSA kara kutu modeli çıktılarının incelenmesi

T-jonksiyonu süreksizliği ED-YSA kara kutu modelinin oluşturulması amacıyla ÇKA ağırları kullanılmıştır. ÇKA’ nın eğitimi için Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması tercih edilmiştir. ÇKA ağ yapıları, T-jonksiyonu ED-YSA kara kutu modeli için 4 nörondan oluşan bir giriş katmanı, 5 adet nöron içeren bir gizli katman ve 7 nörondan oluşan çıkış katmanı şeklinde oluşturulmuştur. Aktivasyon fonksiyonu olarak katmanlarda gizli ve çıkış katmanlarında, sırasıyla tansig ve purelin aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır. Öğrenme oranı olarak 0.1 seçilmiştir. Giriş değerleri 0-1 arasında normalize edilmiştir. Sonuçların elde edilmesinde “MATLAB Neural Network Toolbox” kullanılmıştır. Ağların eğitim ve testlerinde kullanılan veri kümeleri, EM çözümlerden elde edilmiş ED modellerini kullanan bilgisayar programı ile otomatik hale getirilmiştir. Veri kümeleri ED-YSA modelinin giriş-çıkış tanımına uygun olarak hazırlanan “text” dosyası formatındadır. Bu dosyalar Ek2’de yer alan programlar ile oluşturulmuş ve oluşturulan veri kümelerinin bir kısmı eğitim kümesi, bir

kısmı test kümesi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada, T-jonksiyonu süreksizliği ED-YSA'nın oluşturulması için 352 eğitim veri çifti kullanılmıştır. Ağı test amacı ile ise 44 test veri çifti kullanılmıştır.

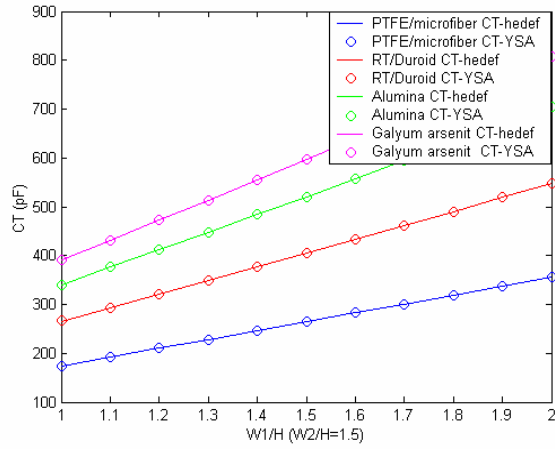
Şekil 5.10'da ED-YSA T-Jonksiyonu süreksizliği kara- kutu modeli yer almaktadır. Modelin giriş büyüklükleri, düzlemsel iletim hattında kullanılan dielektrik maddenin x ve y doğrultusundaki dielektrik sabitleri ve mikroşerit hatların şerit genişliklerinin taban madde kalınlıklarına oranlarıdır. Hatların karakteristik empedansları, efektif dielektrik sabitleri, T-jonksiyonu eşdeğer kapasite ve endüktansları kara-kutu modelinin çıkışında elde edilir.



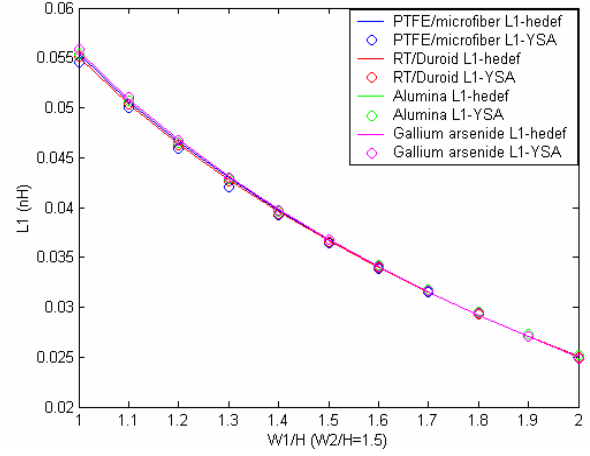
Şekil 5.10 T-Jonksiyonu süreksizliği ED-YSA kara- kutu modeli.

T-jonksiyonu süreksizliği, mikroşerit iletim hattına eklenen C_T , L_1 ve L_2 eşdeğer kapasite ve endüktans elemanları ile hesaba katılabilir. Eşdeğer devre elemanlarının değerleri, kuvazi-statik alan hesaplamaları kullanılarak elde edilebilir. Grafiklerde ED-YSA kara kutu modeli çıktısı olarak elde edilen eşdeğer devre elemanlarının, farklı genişlikteki mikroşerit iletim hatlarının efektif dielektrik sabitlerinin ve karakteristik empedanslarının değerlerinin W/H 'a göre değişimi ifade edilmiştir.

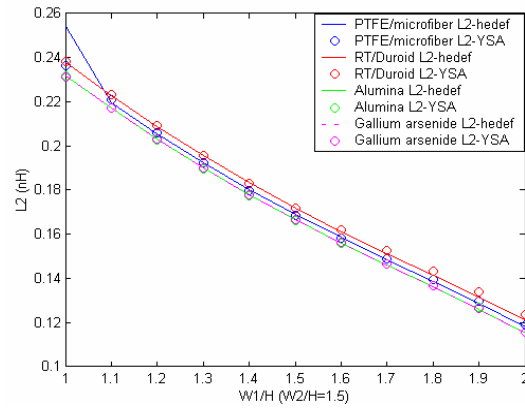
ED-YSA çıktısı değerler, kuvazi-statik alan hesaplamaları ile elde edilen hedef C_T , L_1 , L_2 , ϵ_{eff} ve Z_o değerleri ile karşılaştırılmıştır. Hedef değerler düz çizgi ile, ED-YSA çıktısı değerler ise yuvarlak ile gösterilmiştir.



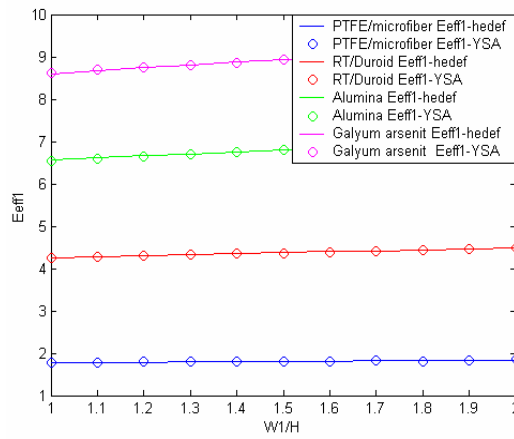
(a)



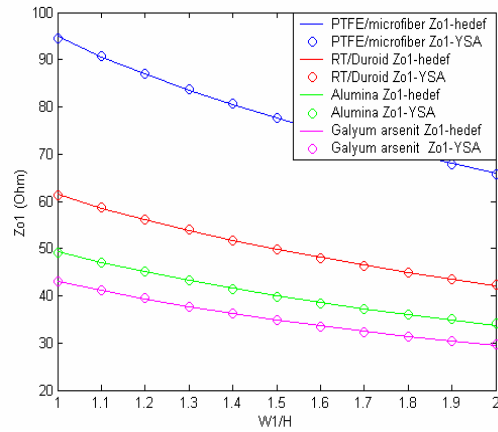
(b)



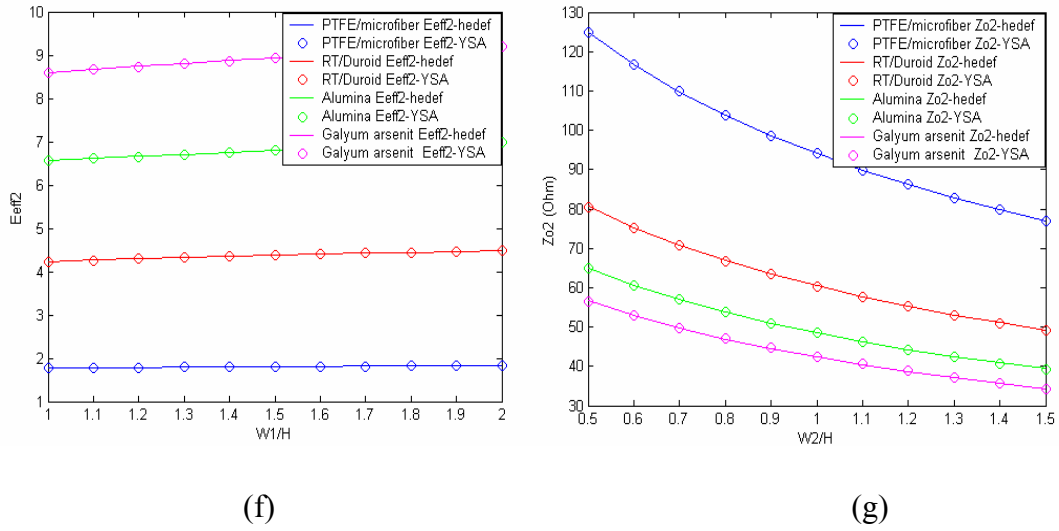
(c)



(d)



(e)



Şekil 5.11 T-Jonksiyonu süreksizliği ED-YSA kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen; (a) C_T 'nin; (b) L_1 'in; (c) L_2 'in; (d) ϵ_{eff1} 'in; (e) Z_{o1} 'in; (f) ϵ_{eff2} 'in W_1/H ile değişimi; (g) Z_{o2} 'in W_2/H ile değişimi.

Çizelge 5.4'de, grafiklerde çok iyi bir yaklaşıklıkla elde edildiği görülen kara-kutu çıkış fonksiyonları, alumina taban maddesi için, bir arada ifade edilmektedir. Çizelgedeki değerler incelendiğinde ED-YSA kara kutu modelinin çok büyük yaklaşıklıkla çıkış fonksiyon değerlerini verdiği görülmektedir.

Çizelge 5.4 T-Jonksiyonu Süreksizliği, $\epsilon_r = 9.7$, $\epsilon_y = 12.9$ (alumina) ve $W_2/H = 1.5$ için hedef değerler ile ED-YSA değerlerinin karşılaştırma tablosu.

W_1/H	$C_{T,Hedef}$ (pF)	$C_{T,ED-YSA}$ (pF)	$L_{1,Hedef}$ (nH)	$L_{1,ED-YSA}$ (nH)	$L_{2,Hedef}$ (nH)	$L_{2,ED-YSA}$ (nH)
1	340.8433	340.84103	0.055672	0.055278941	0.23181	0.23114704
1.1	376.4637	376.4024	0.05087	0.050533605	0.21697	0.21702632
1.2	412.2597	412.16568	0.046799	0.046299438	0.20299	0.20356457
1.3	448.2243	448.12476	0.043147	0.042508061	0.18995	0.19073536
1.4	484.3474	484.26192	0.039846	0.039099881	0.17787	0.1788041
1.5	520.6195	520.5636	0.036841	0.03595892	0.16665	0.1678795
1.6	557.0326	557.01602	0.034088	0.032959784	0.1561	0.15732436
1.7	593.5791	593.60562	0.031555	0.030128616	0.146	0.14709586
1.8	630.2511	630.3195	0.029212	0.027559925	0.13604	0.13701288
1.9	667.0455	667.14886	0.027036	0.025237411	0.12594	0.12684508
2	703.9537	704.07937	0.025009	0.023073881	0.11539	0.11637552

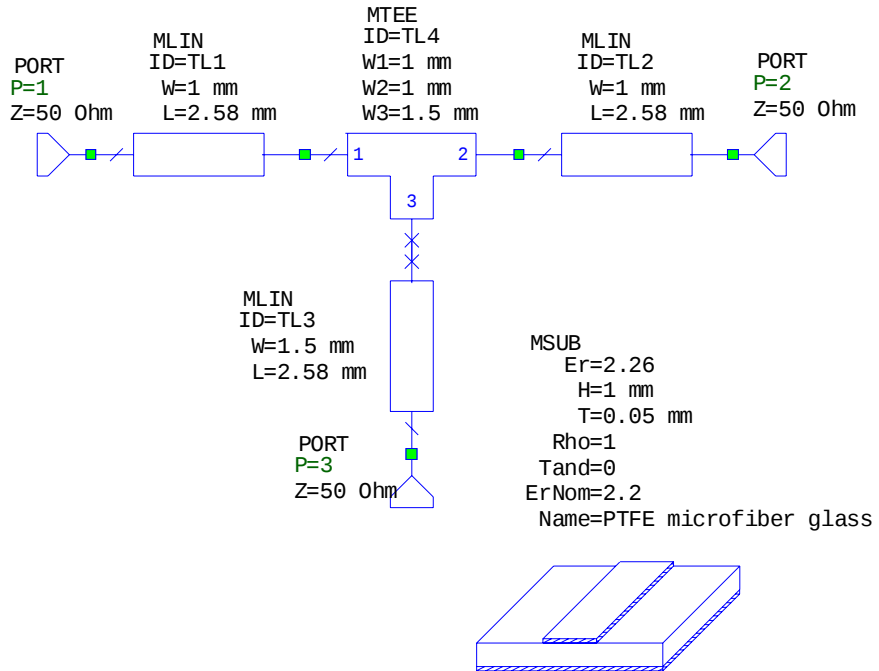
W_1/H	$\epsilon_{ff1,Hedef}$	$\epsilon_{ff1,ED-YSA}$	$Z_{o1,Hedef}$ (Ω)	$Z_{o1,ED-YSA}$ (Ω)	$\epsilon_{ff2,Hedef}$	$\epsilon_{ff2,ED-YSA}$	$Z_{o2,Hedef}$ (Ω)	$Z_{o2,ED-YSA}$ (Ω)
1	6.5547	6.5468178	49.4201	49.415646	6.5565	6.5646457	40.7199	40.753023
1.1	6.6088	6.6000706	47.0332	47.027077	6.6101	6.606571	40.5545	40.569468
1.2	6.6598	6.6528005	45.0355	45.030647	6.6608	6.6525763	40.3999	40.366492
1.3	6.7083	6.7050524	43.2096	43.221471	6.7088	6.6992841	40.2549	40.232444
1.4	6.7543	6.7550283	41.5336	41.574234	6.7546	6.7462768	40.184	40.100093
1.5	6.7983	6.8011812	39.9893	40.047989	6.7983	6.7927449	39.9893	39.971254
1.6	6.8403	6.8433788	38.5612	38.569446	6.84	6.8381895	39.867	39.84716
1.7	6.8806	6.883129	37.2364	37.256526	6.8801	6.8819344	39.7507	39.729536
1.8	6.9193	6.9219919	36.0038	36.015729	6.9186	6.9228084	39.64	39.623297
1.9	6.9565	6.9593089	34.8537	34.861272	6.9556	6.9588241	39.5343	39.532011
2	6.9924	6.9926223	33.778	33.804154	6.9913	6.9872136	39.4333	39.460345

5.1.4.2 T-jonksiyonu süreksizliği S parametrelerinin incelenmesi

Bu bölümde T-jonksiyonu süreksizliğinin, devrenin S parametreleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Öncelikle eşdeğer devre parametrelerinin kullanılmadığı yani T-jonksiyonu süreksizliğinin hesaba katılmadığı devre ele alınmış ve devrenin S parametrelerinin modül ve argümanlarının frekansa bağlı olarak değişimleri incelenmiştir. Sonrasında ise hedef değerler ve ED-YSA kara-kutu modeli çıktısı değerleri kullanılarak T-jonksiyonu süreksizliğinin hesaba katıldığı eşdeğer devreler ile tüm devrenin S parametrelerinin modül ve argümanları frekansa bağlı olarak analiz edilmiş ve değişimleri grafikler yardımıyla elde edilerek karşılaştırılmıştır. Ayrıca Microwave Office paket programı ile de devreler analiz edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, Şekil 5.12’de Microwave Office paket programında çizilmiş T-jonksiyonu devresi ele alınmıştır. Bu devrede ilk halde, T-jonksiyonu süreksizliği hesaba alınmamıştır. Buna göre takip eden alt bölümde, devrenin T-jonksiyonu süreksizliği etkisi hesaba katılmaksızın, S parametrelerinin modül ve argümanları analiz edilip hesaplanacaktır.

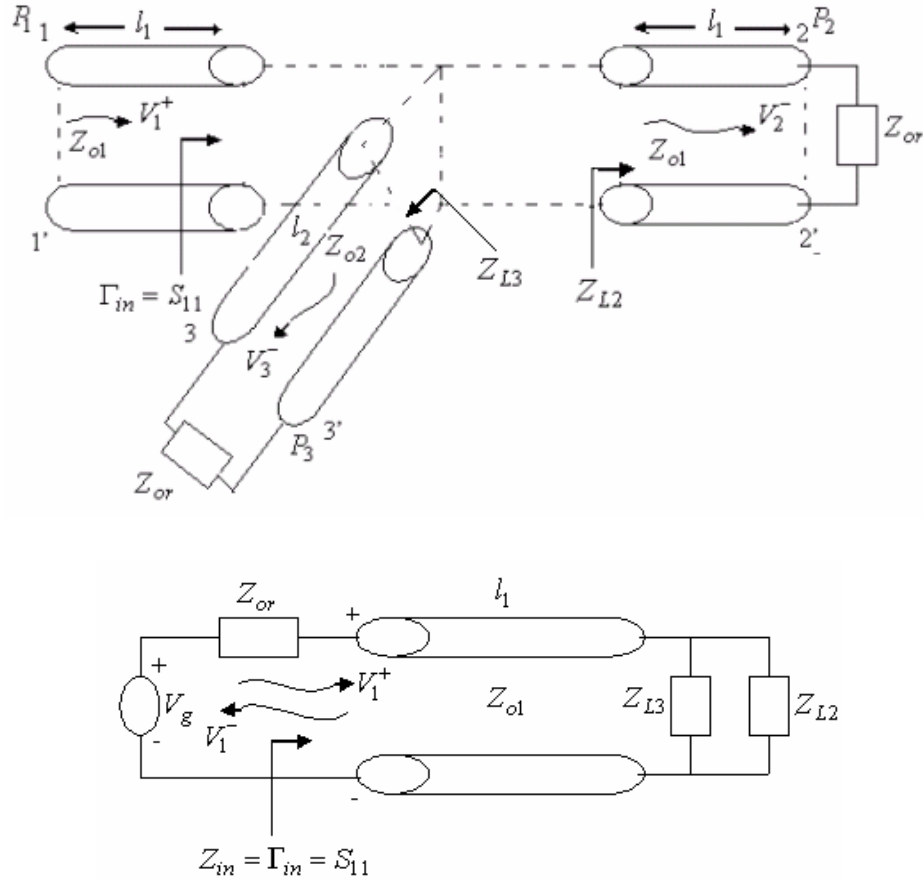
Bir sonraki bölümde T-jonksiyonu süreksizliği hesaba katılacak ve devrenin S parametreleri üzerindeki etkisi, süreksizliğin ihmal edildiği durumla karşılaştırılacaktır.

T-jonksiyonu süreksizliğinin ihmal edilerek hesaba katılmadığı durumda, devrenin S parametrelerinin incelenmesi:



Şekil 5.12 MWO paket programı, T-jonksiyonu devresi.

Şekil 5.12'deki T-jonksiyonu süreksizliği hesaba katılmamış devrenin S_{11} parametresini hesaplayalım. S_{11} parametresi devrenin giriş yansıtma katsayısı olarak isimlendirilir. S_{11} parametresinin hesaplanması için iki yol izlenebilir. Bunlar Lineer Devre Teorisi ve Zincir parametreleri yöntemleridir.



Şekil 5.13 T-Jonksiyonu süreksizliğinin hesaba alınmadığı Şekil 5.12'deki S_{11} analizi için mikroşerit devrenin eşdeğerleri

$$V_1^- = S_{11}V_1^+ + S_{12}V_2^+ + S_{13}V_3^+ \quad (5.1)$$

$$V_2^- = S_{21}V_1^+ + S_{22}V_2^+ + S_{23}V_3^+ \quad (5.2)$$

$$V_3^- = S_{31}V_1^+ + S_{32}V_2^+ + S_{33}V_3^+ \quad (5.3)$$

$$V_2 = V_2^+ + V_2^- = V_2^+(1 + S_{22}) \quad (5.4)$$

$$V_1 = V_1^- \quad (5.5)$$

$$V_3 = V_3^- \quad (5.6)$$

$$Y_{or} = \frac{1}{Z_{or}} \quad (5.7)$$

$$V(z) = V_0^+ e^{-j\beta z} + V_0^- e^{j\beta z} \quad (5.8)$$

$$I(z) = Y_{or}(V_0^+ e^{-j\beta z} - V_0^- e^{j\beta z}) \quad , \quad z = l_1 \quad , \quad I(l_1) = 0 \quad (5.9)$$

$$I(l) = Y_{or}(V_0^+ e^{-j\beta l} - V_0^- e^{j\beta l}) = 0 \Rightarrow V_0^- = V_0^+ e^{-j2\beta l} \quad (5.11)$$

$$V(0) = V_0^+ + V_0^+ e^{-j2\beta l} \quad , \quad I(0) = V_0^+ Y_{or}(1 - e^{-j2\beta l}) \quad (5.12)$$

$$V(0) = V_g - Y_{or} V_0^+ Z_g (1 - e^{-j2\beta l}) = V_0^+ (1 + e^{-j2\beta l}) \quad (5.13)$$

$$\Gamma_{in} = \frac{Z_{in} - Z_o}{Z_{in} + Z_o} \quad (5.14)$$

Z_{in} empedansı birbirine paralel Z_{L2} ve Z_{L3} empedanslarından meydana gelmektedir.

$Z_{in} = 50.5 + j8 \, \Omega$ olarak hesaplanmıştır.

5.14'den hareketle;

$$\Gamma_{in} = \frac{50.5 + j8 - 95}{50.5 + j8 + 95} \text{ olarak hesaplanır.}$$

S_{11} parametresinin devrenin giriş yansıtma katsayısı olarak isimlendirildiğini konunun başında ifade etmiştik. Bu noktadan hareket edersek;

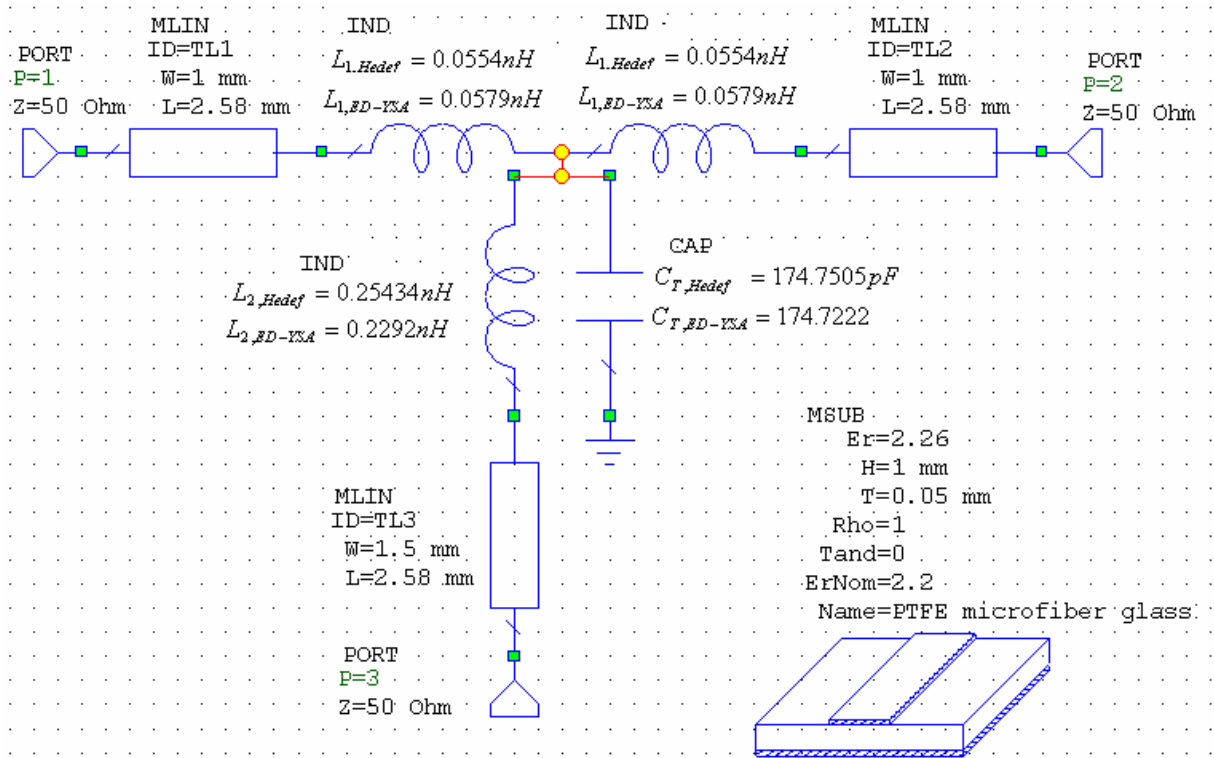
S_{11} parametresinin modülü 0.314 ve argümanı -73.009° olarak hesaplanmıştır.

T-jonksiyonu süreksizliğinin hesaba katılması durumunda, devrenin S parametrelerinin incelenmesi:

Bir önceki bölümde süreksizlik etkileri ihmal edilen T-jonksiyonu devresinin S_{11} parametresi incelenmişti. Bu bölümde ise süreksizlik etkileri hesaba katıldığı zaman oluşacak durumlar üzerinde durulacaktır.

T-jonksiyonu süreksizliği, mikroşerit iletim hattına eklenen C_T , L_1 ve L_2 eşdeğer kapasite ve endüktans elemanları ile hesaba katılabilir.

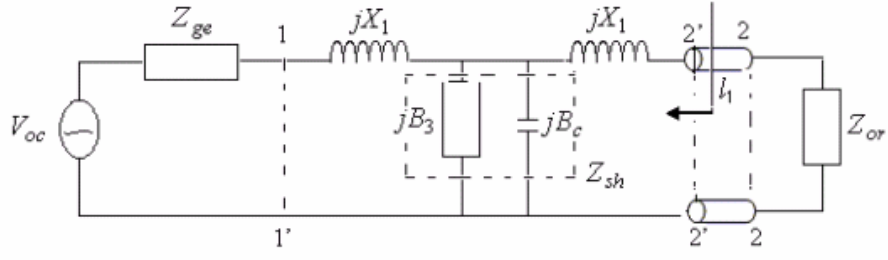
Şekil 5.14’de süreksizlik etkilerinin eşdeğer devre elemanları kullanılarak hesaba katıldığı T-jonksiyonu devresi görülmektedir. Eşdeğer devre elemanları için iki ayrı değer tanımlanmıştır. Bunlar analitik formüller kullanılarak hesaplanmış hedef değerler ve ED-YSA kara kutu modelinden çıktı olarak elde edilen eşdeğer devre parametre değerleridir.



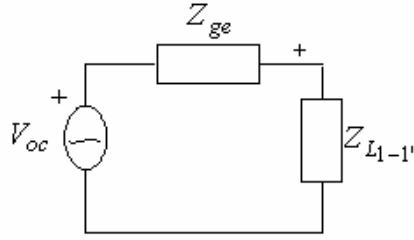
Şekil 5.14 Süreksizliğin eşdeğer devre elemanları ile hesaba katıldığı T-jonksiyonu ile Şekil 5.12’deki mikrodalga devresi.

Bir önceki bölümde süreksizlik etkilerinin ihmal edildiği T-jonksiyonu devresinin S_{11} parametresi hesaplanmıştı. Bu bölümde ise süreksizlik etkileri hesaba katıldığında S_{11} parametresinin modül ve argümanının nasıl değiştiği Lineer Devre Teorisinin “Thevenin” gibi teoremleri kullanılarak analiz edilecektir.

Şekil 5.13’deki devrenin 1-1’ , 2-2’ , 3-3’ referans noktalarına Şekil 3.4b’deki T jonksiyonu süreksizliği eşdeğer devresi bağlanarak Şekil 5.15 elde edilebilir. Önceki bölümlerde de ifade edildiği gibi, mikroşerit iletim hattına, kapasite ve endüktans elemanlarından oluşan eşdeğer devrenin eklenmesi ile T-jonksiyonu süreksizliği hesaba katılmaktadır.



Şekil 5.15 T-Jonksiyonu süreksizliği eşdeğer devresi.



Şekil 5.16 2'-2' arasındaki açık devre gerilimi.

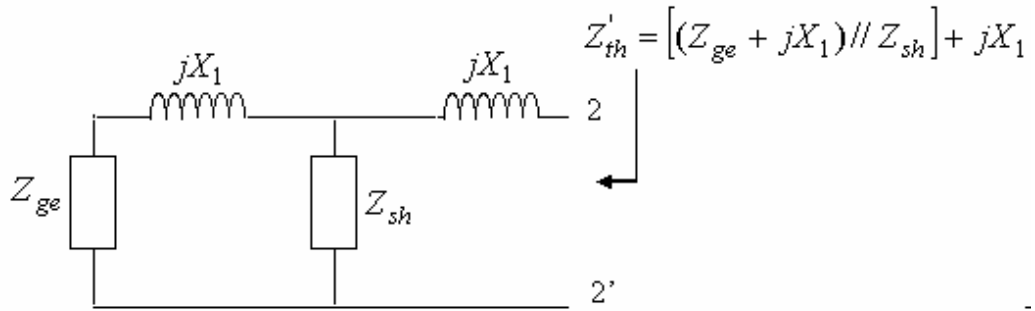
2'-2' arasındaki açık devre gerilimi:

$$Z_{L_1} = jX_1 // \frac{j}{B_c + B_3} \quad (5.15)$$

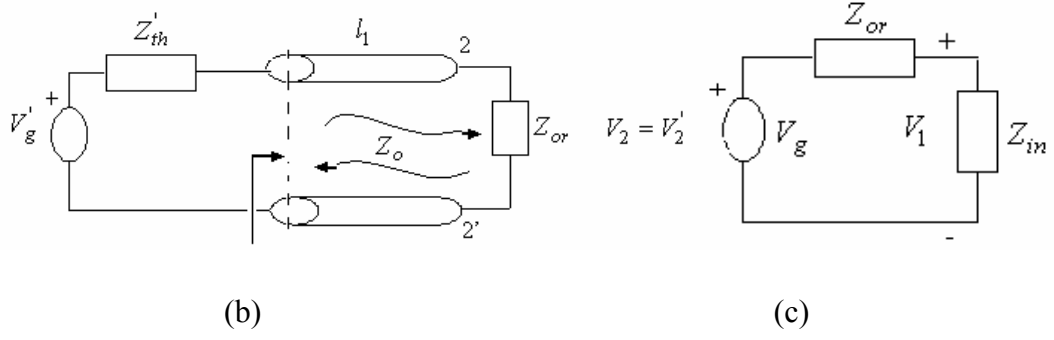
$$Z_{L_1} = jX_1 + Z_{sh} \quad (5.16)$$

$$V_g' = V_{oc} \frac{Z_{L_1}}{Z_{ge} + Z_{L_1}} \quad (5.17)$$

2-2' arasındaki Thévenin empedansı hesaplanırsa:



(a)



Şekil 5.17 2'-2' arasındaki Thévenin empedansı.

$$V_1 = V_1^+ (1 + S_{11}) = \frac{V_g}{Z_{or} + Z_{in}} \quad (5.18)$$

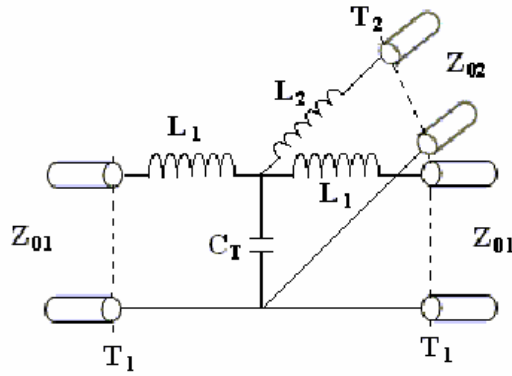
$$V_g = V_1^+ (1 + S_{11}) (Z_{or} + Z_{in}) \quad (5.19)$$

Formüllerden S_{11} parametresini çekmek mümkündür.

S_{11} 'i mikrofiber taban maddesi , $W_1 = W_2 = 1$ mm , $W_3 = 1.5$ mm ve $f=10$ GHz çalışma frekansı için hesaplayalım:

Eşdeğer devre parametreleri;

$$L_1 = 0.0554 \text{ nH} , L_2 = 0.25434 \text{ nH} , C_T = 174.75 \text{ pF}$$



Şekil 5.18 T-Jonksiyonu süreksizliği, S_{11} için devrenin görünümü.

$$Z_{in} = Z_o \frac{Z_L + jZ_o \tan \beta l}{Z_o + jZ_L \tan \beta l} \quad (5.20)$$

$$\Gamma_{in} = \frac{Z_{in} - Z_o}{Z_{in} + Z_o}$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (5.21)$$

(5.21) eşitliğinden $\beta = 148 \pi \text{ rad/m}$ olarak hesaplanır.

$l_1 = l_2 = l_3 = 0.19\lambda$ olarak hesaplanır.

$$z_L = \frac{50}{95} = 0.526$$

$$z_A = 1.4 + j0.65 \Rightarrow Z_A = 133 + j61.75\Omega$$

$$Z_{L1} = j\omega L_1 = j * 2\pi * 10^{10} * 5.54 * 10^{-11} = j * 3.47\Omega$$

$$Z_{L2} = j\omega L_2 = j * 2\pi * 10^{10} * 2.54 * 10^{-10} = j * 15.95\Omega$$

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C_T} = \frac{1}{j * 2\pi * 10^{10} * 174.75 * 10^{-12}} = -j * 0.091\Omega$$

$$Z_B = Z_A + Z_{L1} = 133 + j65.22\Omega$$

Z_T empedansı birbirine paralel Z_C ve Z_{L2} empedanslarından oluşmaktadır.

$Z_T = -j0.091\Omega$ olarak hesaplanır.

Bu durumda Z_L empedansı birbirine paralel Z_B , Z_T ve Z_{L1} empedanslarından oluşmaktadır.

$Z_L = 0.0001 - j0.0935\Omega$ olarak hesaplanır.

$$Z_{in} = 95 \frac{-j0.0935 + j * 95 * 0.6}{95 + j * (-j0.0935) * 0.6}$$

eşitliğinde küçük ifadeler ihmal edilirse $Z_{in} = j57\Omega$ olarak bulunur.

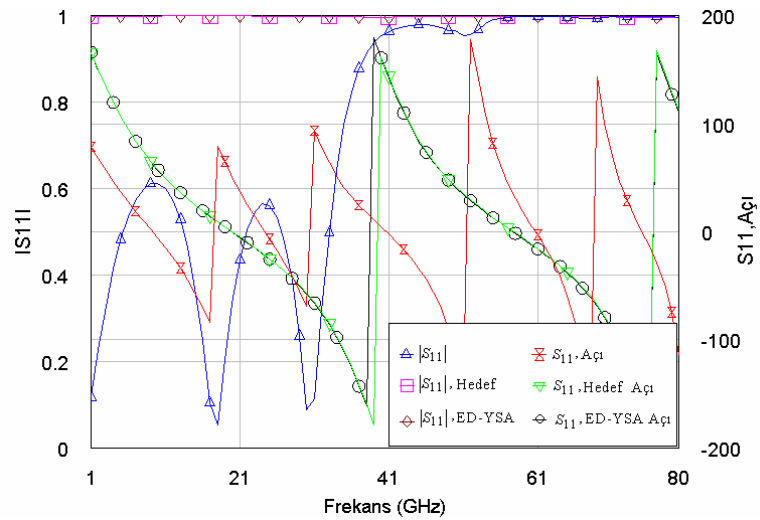
S_{11} devrenin giriş yansıtma katsayısına eşittir.

$$\Gamma_{in} = \frac{j57 - 95}{j57 + 95}$$

eşitliğinden S_{11} 'in modülü 1 ve argümanı -45° olarak elde edilir.

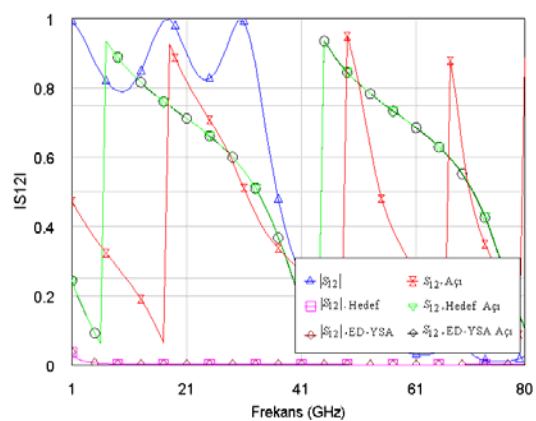
Şekil 5.19'da T-jonksiyonu devresi S_{11} parametresinin, modül ve argümanının frekansa göre

değişimi, süreksizliğin hesaba katıldığı ve katılmadığı durumlar için incelenmiştir. Grafiklerde Hedef ve ED-YSA olarak isimlendirilen modül ve argüman değerleri, süreksizliğin hesaba katıldığı devrenin S parametrelerine ait değerleri ifade etmektedir. Grafikte süreksizliğin hesaba katıldığı ve ihmal edildiği durumlar birlikte incelenmiştir. Süreksizlik etkileri iki devre için incelenmiştir. Bunlar, analitik fonksiyonlar ile hesaplanarak elde edilmiş eşdeğer devre elemanlarının eklendiği T-jonksiyonu eşdeğer devresi ve ED-YSA kara kutu modeli çıktısı olarak elde edilmiş eşdeğer devre elemanlarının eklendiği T-jonksiyonu eşdeğer devresidir. Bu iki devreye ait S parametrelerinin modül ve argüman değerlerinin grafik üzerinde karşılaştırıldığı gözlemlenmektedir. Bu, tasarlanan ED-YSA kara kutu modelinin hedef değerlere büyük yaklaşıklıkta sonuçlar verdiğini ve yüksek doğrulukta çalıştığını göstermektedir.

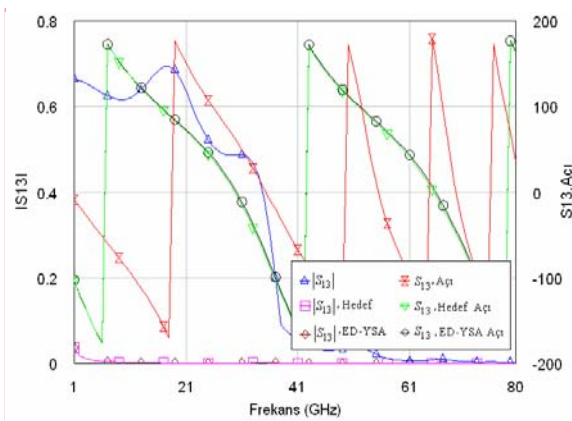


Şekil 5.19 T-Jonksiyonu süreksizliği hesaba katıldığı ve katılmadığı halde S_{11} parametresi değişimleri.

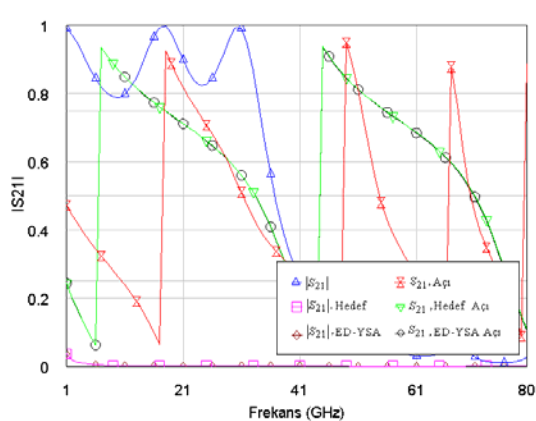
Şekil 5.20’de T-jonksiyonu devresinin diğer S parametreleri incelenmiştir. Burada da aynı şekilde süreksizliğin hesaba katılması ve katılmaması durumları birarada incelenmiştir. Hedef ve ED-YSA değerlerinin karşılaştırılması, ED-YSA kara kutu modelinin yüksek doğrulukta çalıştığını göstermektedir.



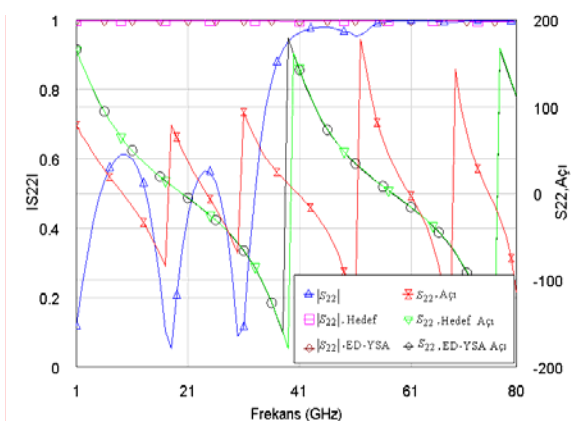
(a)



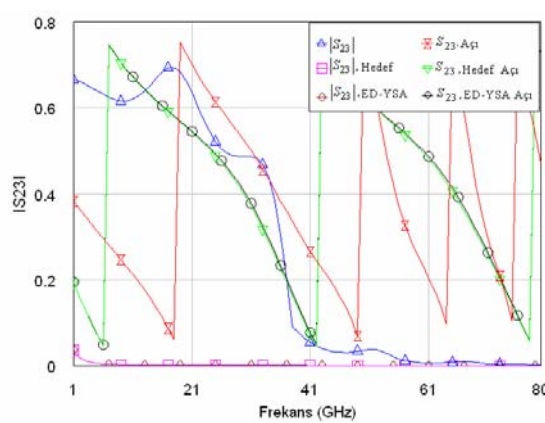
(b)



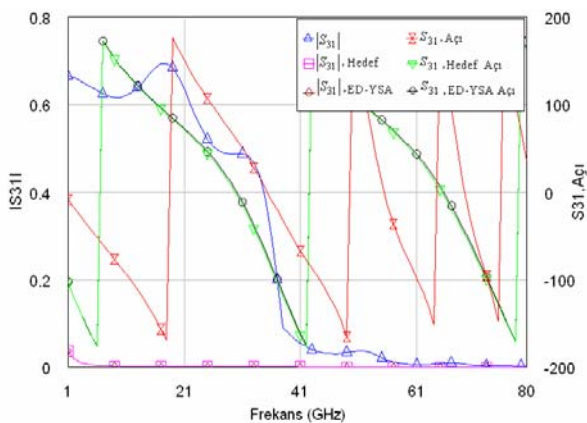
(c)



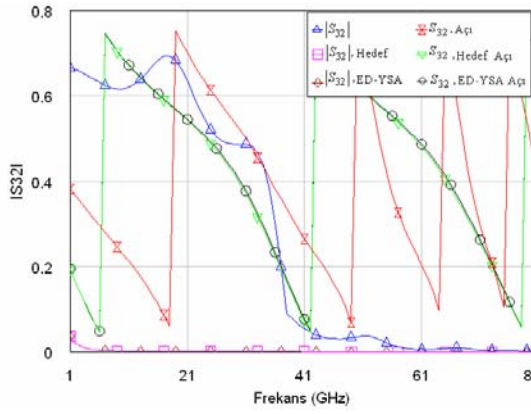
(d)



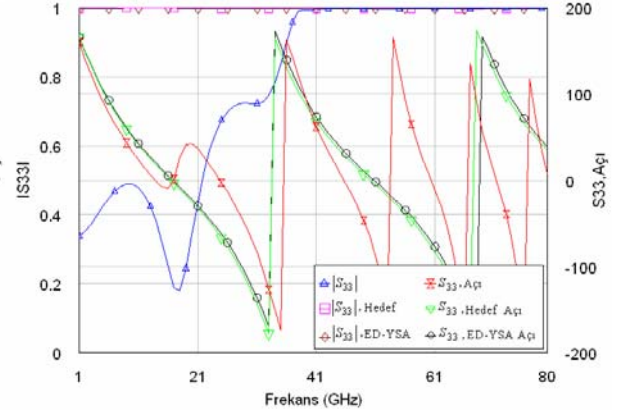
(e)



(f)



(g)



(h)

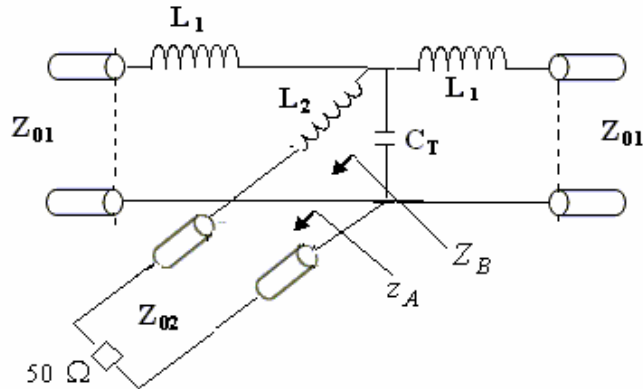
Şekil 5.20 T-Jonksiyonu süreksizliği hesaba katıldığı ve katılmadığı halde; (a) S_{12} parametresi, (b) S_{13} parametresi, (c) S_{21} parametresi, (d) S_{22} parametresi, (e) S_{23} parametresi, (f) S_{31} parametresi, (g) S_{32} parametresi, (h) S_{33} parametresi değişimleri.

Şekil 5.19 ve 5.20’de, T-Jonksiyonu süreksizliği ED-YSA kara-kutu modeli çıktısı “ $C_T = 174.7222$ pF”, $L_1 = 0.0579$ nH ve $L_2 = 0.2292$ nH ile temsil edilen bir mikroşerit hattın S parametrelerinin modül ve argümanlarının frekansa göre değişimi grafikler üzerinde gösterilmiştir.

Süreksizlik etkilerinin hesaba katıldığı durum için T-jonksiyonu devresinin S parametrelerinin Zincir Parametleri ile hesaplanması:

S parametrelerinin hesaplanması için kullanılan ikinci yöntem S parametrelerinin ABCD parametreleri cinsinden ifade edilmesidir. S_{21} parametresini mikrofiber taban maddesi, $W_1 = W_2 = 1$ mm, $W_3 = 1.5$ mm, $f = 10$ GHz ve eşdeğer devre parametreleri; $L_1 = 0.0554$ nH, $L_2 = 0.25434$ nH, $C_T = 174.75$ pF için hesaplayalım:

T-Jonksiyonu eşdeğer devremizin görünümü Şekil 5.21’deki gibi olacaktır.



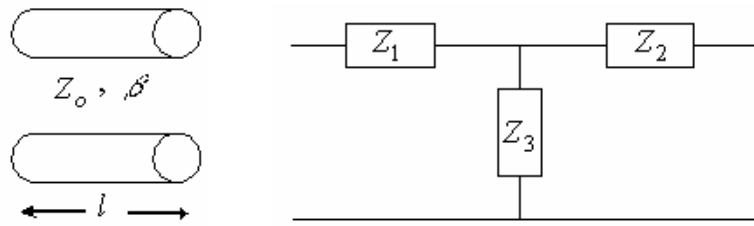
Şekil 5.21 T-Jonksiyonu devresi, S_{21} için devrenin görünümü.

Eşdeğer devre parametreleri;

$$L_1 = 0.0554 \text{ nH} , L_2 = 0.25434 \text{ nH} , C_T = 174.75 \text{ pF}$$

$$Z_{o1} = 95\Omega , Z_{o2} = 78\Omega$$

ABCD parametrelerini kullanarak S_{21} 'i hesaplayacağız. Devremize uygun ABCD parametreleri:



Şekil 5.22 ABCD parametreleri.

$$A = \cos(\beta l) , B = j Z_0 \sin(\beta l) , C = j Y_0 \sin(\beta l) , D = \cos(\beta l) \quad (5.22)$$

$$A = 1 + \frac{Z_1}{Z_3} , B = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3} , C = \frac{1}{Z_3} , D = 1 + \frac{Z_2}{Z_3} \quad (5.23)$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} , \text{ eşitliğinden } \beta = 148 \pi \text{ rad/m olarak hesaplanır.}$$

$$l_1 = l_2 = l_3 = 0.19\lambda \text{ olarak hesaplanır}$$

$$Z_{L1} = j\omega L_1 = j * 2\pi * 10^{10} * 5.54 * 10^{-11} = j * 3.47\Omega$$

$$Z_{L2} = j\omega L_2 = j * 2\pi * 10^{10} * 2.54 * 10^{-10} = j * 15.95\Omega$$

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C_T} = \frac{1}{j * 2\pi * 10^{10} * 174.75 * 10^{-12}} = -j * 0.091\Omega$$

$$Y_C = j10.98 \Rightarrow y_C = 50Y_C = j549.45 \text{ (1/}\Omega\text{)}$$

$$Z_L = 50\Omega \Rightarrow z_L = \frac{50}{78} = 0.641$$

$$z_A = 1.32 + j0.42 ; Z_A = 78 * z_A = 101.4 + j31.2\Omega$$

$$Z_B = Z_A + jXL_2 = 101.4 + j47.15\Omega$$

$$z_B = \frac{Z_B}{50} = 2.028 + j0.943; y_B = 0.4 - j0.19$$

$$y_3 = y_B + y_C = 0.4 + j549.26 \Rightarrow Y_3 = 0.008 + j10.98 \text{ (1/}\Omega\text{)}$$

$$Z_3 = \frac{1}{Y_3} = \frac{1}{0.008 + j10.98} \cong -j0.091\Omega \text{ (0.008 çok küçük bir sayı olduğundan dolayı ihmal edilmiştir.)}$$

Sonuç olarak ABCD parametrelerini hesaplamak için gerekli olan Z_1, Z_2, Z_3 empedansları elde edilmiştir.

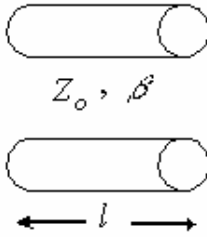
$$Z_1 = Z_2 = j * 3.47\Omega \quad Z_3 = -j0.091\Omega$$

Bu empedans değerleri formülde yerine konulursa;

$$A = D = -37.13$$

$$B = -j * 1316.13$$

$$C = j * 10.98$$



$$Z_0 = 95\Omega , \beta * l = 148\pi * l = 0.38\pi$$

$$A = 0.36$$

$$B = j * 88.32$$

$$C = j * 0.00978$$

$$D = 0.36$$

Elde etmek istediğimiz sonuç ABCD matrisi, üç matrisin çarpımına eşittir.

$$\begin{bmatrix} 0.36 & j88.32 \\ j0.00978 & 0.36 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -37.13 & -j1316.13 \\ j10.98 & -37.13 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.36 & j88.32 \\ j0.00978 & 0.36 \end{bmatrix}$$

Sonuç ABCD matrisi,

$$\begin{bmatrix} -671 & -j3327.4 \\ -j8.3 & 18 \end{bmatrix} \text{ olarak bulunur.}$$

$$\begin{bmatrix} V_{out} \\ I_{out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -671 & -j3327.4 \\ -j8.3 & 18 \end{bmatrix}^{-1} * \begin{bmatrix} V_{in} \\ I_{in} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_{out} \\ I_{out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0012 & j0.213 \\ j0.0005 & -0.043 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} V_{in} \\ I_{in} \end{bmatrix}$$

$$V_{out} = V_2^-, V_{in} = V_1^+ (1 + S_{11})$$

$$I_{in} = I_1^+ (1 - S_{11})$$

$$V_{out} = 0.0012 * V_{in} + j0.213 * I_{in}$$

$$I_{out} = j0.0005 * V_{in} - 0.043 * I_{in}$$

$$S_{11} = 1 \Rightarrow V_{out} = V_2^- = 0.0012 * 2 * V_1^+$$

$$S_{21} = \left. \frac{V_2^-}{V_1^+} \right|_{V_2^+ = 0, V_3^+ = 0} \Rightarrow S_{21} = 0.0024$$

Benzer şekilde ABCD matrisi çözümü ile S_{31} 'i de hesaplamak mümkündür.

T-Jonksiyonu süreksizliği eşdeğer devremizin görünümü Şekil 5.23'deki gibi olacaktır.

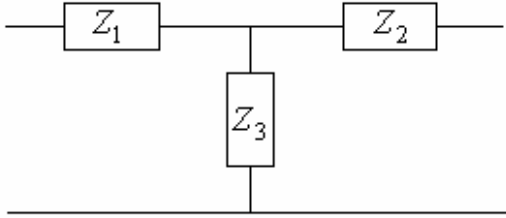
$$z_B = \frac{Z_B}{50} = 2.028 + j0.943; y_B = 0.4 - j0.19$$

$$y_3 = y_B + y_C$$

$$y_3 = 0.3 - j0.16 + j549.45 = 0.3 + j549.29$$

$$Y_3 = \frac{y_3}{50} = 0.006 + j10.98$$

$$Z_3 = \frac{1}{Y_3} = \frac{1}{0.006 + j10.98} = 0.000049 - j0.091\Omega \approx 0.091\Omega$$



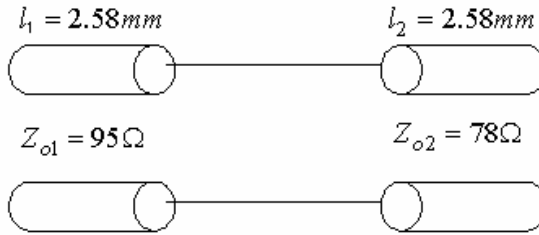
$$A = 1 + \frac{Z_1}{Z_3}, \quad B = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3}, \quad C = \frac{1}{Z_3}, \quad D = 1 + \frac{Z_2}{Z_3}$$

$$A = -37.13$$

$$B = -j*588.78$$

$$C = j*10.98$$

$$D = -174.275$$



$$A = \cos(\beta l), \quad B = j Z_0 \sin(\beta l), \quad C = j Y_0 \sin(\beta l), \quad D = \cos(\beta l)$$

$$l_1 = 2.58mm \text{ ve } Z_{o1} = 95\Omega \text{ için:}$$

$$A = 0.36$$

$$B = j*88.32$$

$$C = j*0.00978$$

$$D = 0.36$$

$l_2 = 2.58mm$ ve $Z_{o2} = 78\Omega$ için:

$$A = 0.36$$

$$B = j*72.7$$

$$C = j*0.012$$

$$D = 0.36$$

Elde etmek istediğimiz sonuç ABCD matrisi, üç matrisin çarpımına eşittir.

$$\begin{bmatrix} 0.36 & j88.32 \\ j0.00978 & 0.36 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -37.13 & -j588.78 \\ j10.98 & -174.275 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.36 & j72.7 \\ j0.012 & 0.36 \end{bmatrix}$$

Sonuç ABCD matrisi,

$$\begin{bmatrix} -167 & -j77090 \\ j & -281 \end{bmatrix} \text{ olarak bulunur.}$$

$$\begin{bmatrix} V_{out} \\ I_{out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -167 & -j77090 \\ j & -281 \end{bmatrix}^{-1} * \begin{bmatrix} V_{in} \\ I_{in} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_{out} \\ I_{out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0093 & -2.5558 \\ 0 & 0.0055 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} V_{in} \\ I_{in} \end{bmatrix}$$

$$V_{out} = V_3^-, V_{in} = V_1^+ (1 + S_{11})$$

$$I_{in} = I_1^+ (1 - S_{11})$$

$$V_{out} = 0.0093 * V_{in} - 2.5558 * I_{in}$$

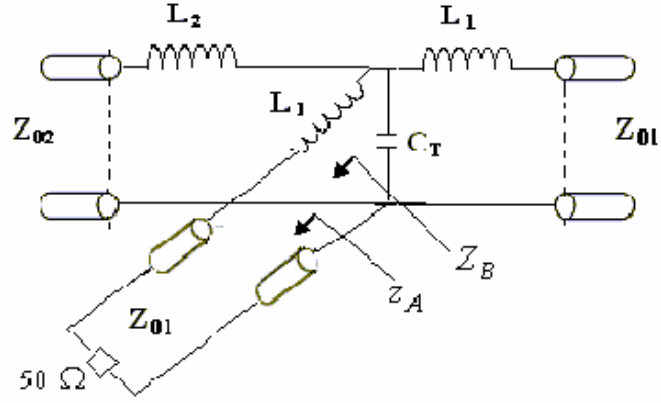
$$I_{out} = 0.0055 * I_{in}$$

$$S_{11} = 1 \Rightarrow V_{out} = V_3^- = 2 * V_1^+ * 0.0093$$

$$S_{31} = \left. \frac{V_3^-}{V_1^+} \right|_{V_2^+ = 0, V_3^+ = 0} \Rightarrow S_{31} = 0.0186$$

Aynı yöntemle S_{23} parametresini de hesaplayalım;

Bu koşulda da devremizin görünümü Şekil 5.55'deki gibi olacaktır.



Şekil 5.24 T-Jonksiyonu devresi, S_{23} için devrenin görünümü.

$V_2^- = S_{21}V_1^+ + S_{22}V_2^+ + S_{23}V_3^+$ eşitliğinden hareketle,

$$S_{23} = \left. \frac{V_2^-}{V_3^+} \right|_{V_1^+=0, V_2^+=0} \text{ olarak bulunur.}$$

$$Z_{L1} = j\omega L_1 = j * 2\pi * 10^{10} * 5.54 * 10^{-11} = j * 3.47\Omega$$

$$Z_{L2} = j\omega L_2 = j * 2\pi * 10^{10} * 2.54 * 10^{-10} = j * 15.95\Omega$$

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C_T} = \frac{1}{j * 2\pi * 10^{10} * 174.75 * 10^{-12}} = -j * 0.091\Omega$$

$$Y_C = j10.98 \Rightarrow y_C = 50Y_C = j549.45$$

$$Z_L = 50\Omega \Rightarrow z_L = \frac{50}{95} = 0.526$$

$$z_A = 1.4 + j0.65 ; Z_A = 95 * (1.4 + j0.65) (\Omega)$$

$$Z_B = Z_A + jXL_2 = 101.4 + j47.15\Omega$$

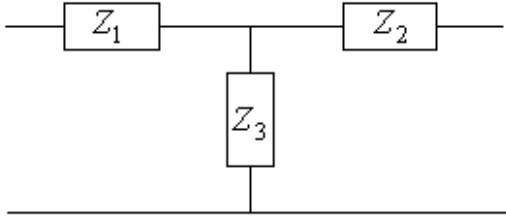
$$z_B = \frac{Z_B}{50} = 2.028 + j0.943; y_B = 0.4 - j0.19$$

$$y_3 = y_B + y_C$$

$$y_3 = 0.3 - j0.16 + j549.45 = 0.3 + j549.29$$

$$Y_3 = \frac{y_3}{50} = 0.006 + j10.98$$

$$Z_3 = \frac{1}{Y_3} = \frac{1}{0.006 + j10.98} = 0.000049 - j0.091\Omega \approx 0.091\Omega$$



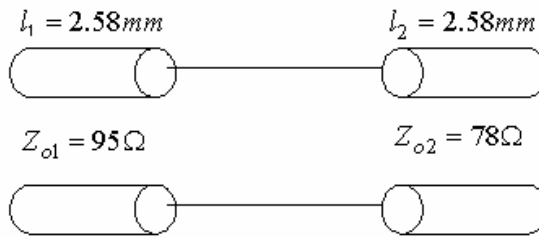
$$A = 1 + \frac{Z_1}{Z_3}, \quad B = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3}, \quad C = \frac{1}{Z_3}, \quad D = 1 + \frac{Z_2}{Z_3}$$

$$A = -37.13$$

$$B = -j*588.78$$

$$C = j*10.98$$

$$D = -174.275$$



$$A = \cos(\beta l), \quad B = j Z_0 \sin(\beta l), \quad C = j Y_0 \sin(\beta l), \quad D = \cos(\beta l)$$

$$l_1 = 2.58mm \text{ ve } Z_{o1} = 95\Omega \text{ için:}$$

$$A = 0.36$$

$$B = j*88.32$$

$$C = j*0.00978$$

$$D = 0.36$$

$l_2 = 2.58mm$ ve $Z_{o2} = 78\Omega$ için:

$$A = 0.36$$

$$B = j*72.7$$

$$C = j*0.012$$

$$D = 0.36$$

Elde etmek istediğimiz sonuç ABCD matrisi, üç matrisin çarpımına eşittir.

$$\begin{bmatrix} 0.36 & j88.32 \\ j0.00978 & 0.36 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -37.13 & -j588.78 \\ j10.98 & -174.275 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.36 & j72.7 \\ j0.012 & 0.36 \end{bmatrix}$$

Sonuç ABCD matrisi,

$$\begin{bmatrix} -167 & -j77090 \\ j & -281 \end{bmatrix} \text{ olarak bulunur.}$$

$$\begin{bmatrix} V_{out} \\ I_{out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -167 & -j77090 \\ j & -281 \end{bmatrix}^{-1} * \begin{bmatrix} V_{in} \\ I_{in} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_{out} \\ I_{out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0093 & -2.5558 \\ 0 & 0.0055 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} V_{in} \\ I_{in} \end{bmatrix}$$

$$V_{out} = V_2^-, V_{in} = V_3^+ (1 + S_{33})$$

$$I_{in} = I_3^+ (1 - S_{33})$$

$$V_{out} = 0.0093 * V_{in} - 2.5558 * I_{in}$$

$$I_{out} = 0.0055 * I_{in}$$

$$S_{33} = 1 \Rightarrow V_{out} = V_2^- = 2 * V_3^+ * 0.0093$$

$$S_{23} = \left. \frac{V_2^-}{V_3^+} \right|_{V_1^+=0, V_2^+=0} \Rightarrow S_{23} = 0.0186$$

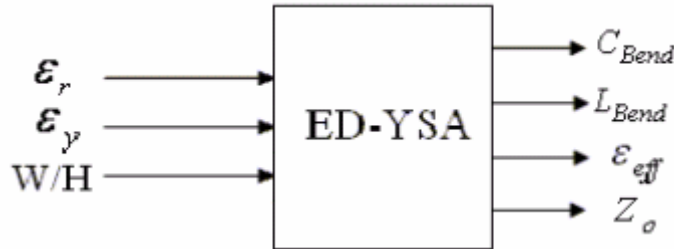
5.1.5 Büküm Süreksizliği ED-YSA Kara- Kutu Modeli

Bölüm 3, Şekil 3.5’de büküm süreksizliği ve eşdeğer devresi verilmiştir.

5.1.5.1 Büküm süreksizliği eşdeğer devre parametreleri ve ED-YSA kara kutu modeli çıktılarının incelenmesi

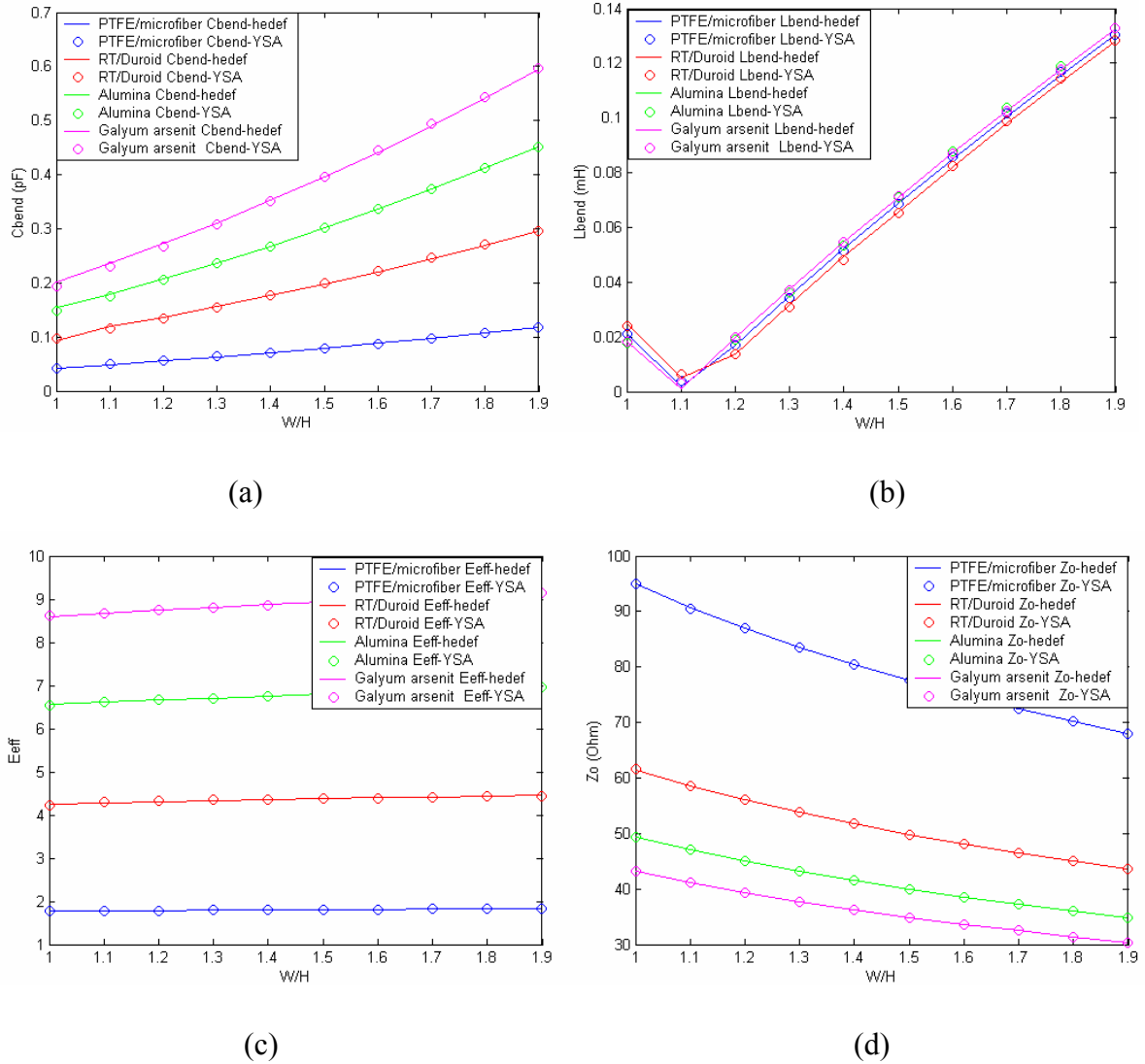
Büküm süreksizliği ED-YSA kara kutu modelinin oluşturulması amacıyla ÇKA ağları kullanılmıştır. ÇKA’ nın eğitimi için Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması tercih edilmiştir. ÇKA ağ yapıları, büküm ED-YSA kara kutu modeli için 3 nöronlu oluşan bir giriş katmanı, 5 adet nöron içeren bir gizli katman ve 4 nöronlu oluşan çıkış katmanı şeklinde oluşturulmuştur. Aktivasyon fonksiyonu olarak katmanlarda gizli ve çıkış katmanlarında, sırasıyla tansig ve purelin aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır. Öğrenme oranı olarak 0.1 seçilmiştir. Giriş değerleri 0-1 arasında normalize edilmiştir. Sonuçların elde edilmesinde “MATLAB Neural Network Toolbox” kullanılmıştır. Ağların eğitim ve testlerinde kullanılan veri kümeleri, EM çözümlerden elde edilmiş ED modellerini kullanan bilgisayar programı ile otomatik hale getirilmiştir. Veri kümeleri ED-YSA modelinin giriş-çıkış tanımına uygun olarak hazırlanan “text” dosyası formatındadır. Bu dosyalar Ek2’de yer alan programlar ile oluşturulmuş ve oluşturulan veri kümelerinin bir kısmı eğitim kümesi, bir kısmı test kümesi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada, büküm süreksizliği ED-YSA’nın oluşturulması için 64 eğitim veri çifti kullanılmıştır. Ağ test amacı ile ise 40 test veri çifti kullanılmıştır.

Şekil 5.25 ’de ED-YSA büküm süreksizliği kara- kutu modeli yer almaktadır. Modelin giriş büyüklükleri, düzlemsel iletim hattında kullanılan dielektrik maddenin x ve y doğrultusundaki dielektrik sabitleri ve mikroşerit hattın şerit genişliğinin taban madde kalınlığına oranıdır. Hattın karakteristik empedansı, efektif dielektrik sabiti, büküm eşdeğer kapasite ve endüktansı kara-kutu modelinin çıkışında elde edilir.



Şekil 5.25 Büküm süreksizliği ED-YSA kara- kutu modeli.

Büküm süreksizliği, mikroşerit iletim hattına eklenen C_{Bend} ve L_{Bend} eşdeğer kapasite ve endüktans elemanları ile hesaba katılabilir. Eşdeğer devre elemanlarının değerleri, kuvazi-statik alan hesaplamaları kullanılarak elde edilebilir. Grafiklerde ED-YSA kara kutu modeli çıktısı olarak elde edilen eşdeğer devre elemanlarının, mikroşerit iletim hattının efektif dielektrik sabitinin ve karakteristik empedansının değerlerinin W/H 'a göre değişimi ifade edilmiştir. ED-YSA çıktısı değerler, kuvazi-statik alan hesaplamaları ile elde edilen hedef, C_{Bend} , L_{Bend} , ϵ_{eff} ve Z_o değerleri ile karşılaştırılmıştır. Hedef değerler düz çizgi ile, ED-YSA çıktısı değerler ise yuvarlak ile gösterilmiştir.



Şekil 5.26 Büküm süreksizliği ED-YSA kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen, (a) C_{Bend} 'in W/H ile değişimi, (b) L_{Bend} 'in W/H ile değişimi, (c) ϵ_{eff} 'in W/H ile değişimi, (d) Z_o 'ın W/H ile değişimi.

Çizelge 5.5’de, grafiklerde çok iyi bir yaklaşıklıkla elde edildiği görülen kara-kutu çıkış fonksiyonları, RTDuroid taban maddesi için, bir arada ifade edilmektedir. Çizelgedeki değerler incelendiğinde ED-YSA kara kutu modelinin çok büyük yaklaşıklıkla çıkış fonksiyon değerlerini verdiği görülmektedir.

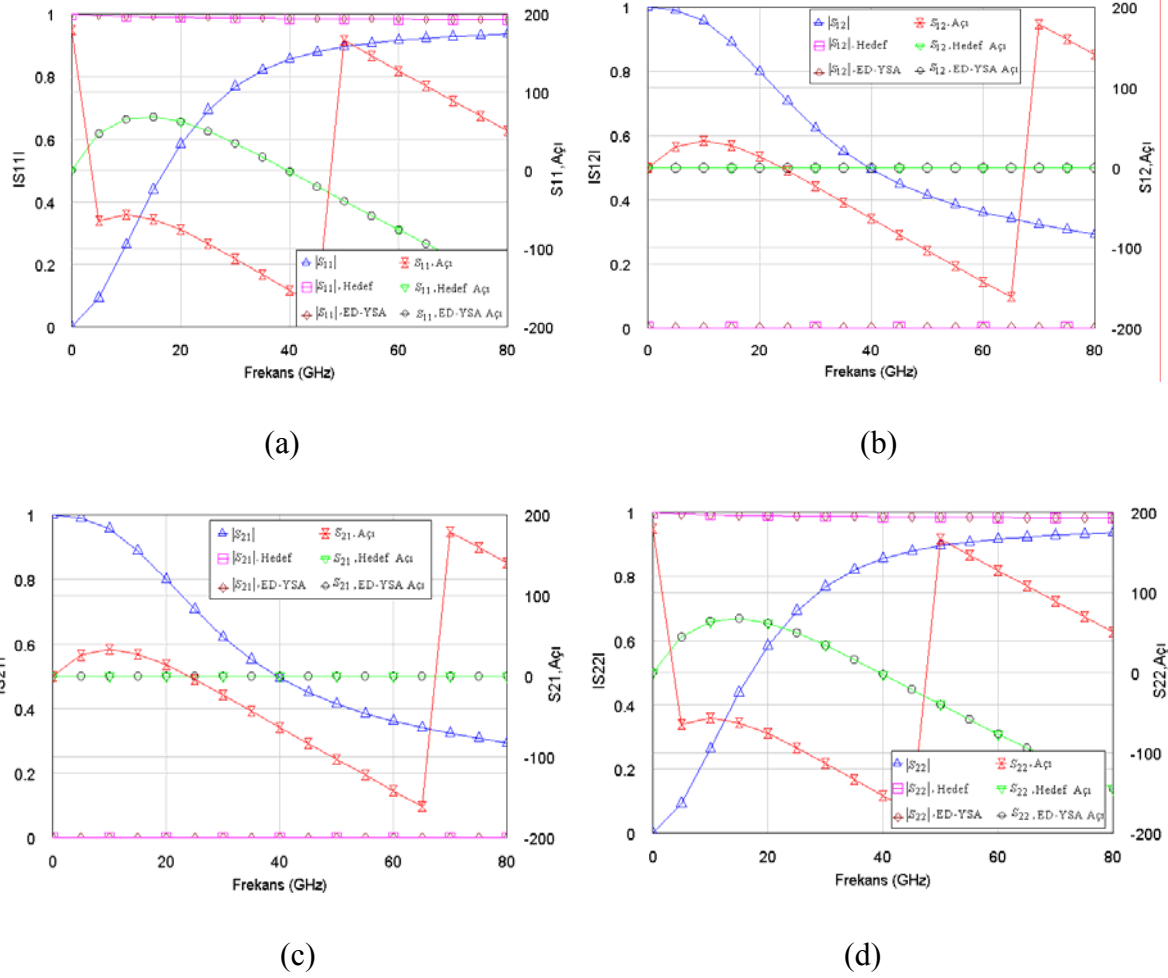
Çizelge 5.5 Büküm Süreksizliği, $\epsilon_r = 6.36$, $\epsilon_y = 6$ (RTDuroid) için hedef değerler ile ED-YSA değerlerinin karşılaştırma tablosu

W/H	$C_{Bend,Hedef}$ (pF)	$C_{Bend,ED-YSA}$ (pF)	$L_{Bend,Hedef}$ (mH)	$L_{Bend,Hedef}$ (mH)	$\epsilon_{eff,Hedef}$	$\epsilon_{eff,ED-YSA}$	$Z_o,Hedef$ (Ω)	$Z_o,ED-YSA$ (Ω)
1	0.0926	0.096737869	0.0248	0.023966773	4.2409	4.2339955	61.4402	61.544122
1.1	0.119	0.11464123	0.0051	0.0064840976	4.2723	4.3002788	58.4968	58.485261
1.2	0.1369	0.13412827	0.0137	0.013893088	4.2998	4.324724	56.0485	56.04361
1.3	0.1561	0.15493789	0.0318	0.030705438	4.3258	4.3425182	53.8085	53.782444
1.4	0.1764	0.17673033	0.0492	0.048076315	4.3507	4.3593163	51.7503	51.722612
1.5	0.198	0.19921517	0.0659	0.065462657	4.3744	4.375802	49.8521	49.830335
1.6	0.2207	0.22225043	0.0822	0.082658197	4.3971	4.3922065	48.0953	48.08597
1.7	0.2446	0.24586905	0.0979	0.099008525	4.419	4.4086167	46.4643	46.468599
1.8	0.2698	0.27024077	0.1132	0.11437308	4.44	4.4249608	44.9456	44.957434
1.9	0.2961	0.29560756	0.1281	0.12849624	4.4602	4.4412791	43.5277	43.54362

5.1.5.2 Büküm süreksizliği S parametrelerinin incelenmesi

Bu kısımda eşdeğer devre parametrelerinin, devrenin S parametreleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Öncelikle eşdeğer devre parametrelerinin kullanılmadığı yani büküm süreksizliğinin hesaba katılmadığı devre ele alınmış ve S parametrelerinin modül ve argümanlarının frekansa bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Sonrasında ise hedef değerler ve ED-YSA kara-kutu modeli sonucu değerler kullanılarak büküm süreksizliğinin hesaba katıldığı eşdeğer devrelere ait S parametrelerinin modül ve argümanlarının frekansa bağlı olarak değişimi grafikler yardımıyla ifade edilmiştir.

Son olarak büküm süreksizliğinin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlarda elde edilen devreye ait S parametreleri ve ED-YSA kara-kutu modelinin ne derece yaklaşıklıkla sonuçlar verdiği araştırılmıştır. Sonuç karşılaştırmalar yine grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5.27 Büküm süreksizliği hesaba katıldığı ve katılmadığı halde; (a) S_{11} parametresi, (b) S_{12} parametresi, (c) S_{21} parametresi, (d) S_{22} parametresi değişimleri.

Şekil 5.27’de büküm süreksizliği ED-YSA kara-kutu modeli çıktısı “ $C_{Bend} = 0.301$ pF”, $L_{Bend} = 71.2$ nH ile temsil edilen bir mikroşerit hattın S parametrelerinin modül ve argümanlarının frekansa göre değişimi gösterilmektedir.

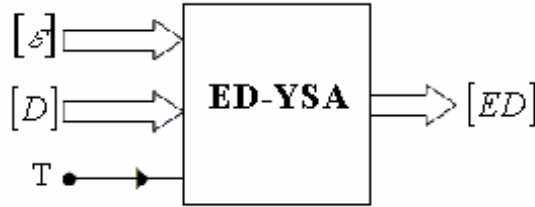
Büküm süreksizliği, mikroşerit iletim hattına eklenen eşdeğer kapasite ve endüktans elemanları ile hesaba katılmıştır. Büküm süreksizliğinin ihmal edilmesi durumunda elde edilen S parametrelerinin modül ve argümanları ile süreksizliğin dikkate alındığı durumda elde edilen S parametrelerinin modül ve argümanları grafik üzerinde gösterilmiştir. Hedef olarak isimlendirilen değerler, kuvazi-statik alan hesaplamaları kullanılarak elde edilmiş eşdeğer devre parametrelerinin kullanıldığı devreye ait S parametre değerlerini, ED-YSA olarak isimlendirilen değerler ise ED-YSA kara kutu modeli çıktısı olarak elde edilen eşdeğer devre parametrelerinin kullanıldığı devreye ait S parametre değerlerini ifade etmektedir. Süreksizliğin hesaba katılmadığı ve eşdeğer devre parametrelerinin kullanılması suretiyle

hesaba katıldığı bu iki duruma ait devreler, Microwave Office paket programı kullanılarak oluşturulmuştur.

6. ED-YSA BİRLEŞİK KARA KUTU MODELİ

5.Bölümde mikrodalga devre tasarımında en sık karşılaşılan beş mikroşerit iletim hat süreksizliği; açık devre, boşluk, basamak, T-jonksiyonu ve büküm süreksizliklerine ait eşdeğer devreler ayrı ayrı incelenmiştir. İncelemenin amacı hedef eşdeğer devre parametreleri ile ED-YSA kara-kutu modeli çıktısı eşdeğer devre parametrelerinin karşılaştırılmasıdır. Herbir süreksizlik tipi için birbirinden bağımsız ayrı ayrı ED-YSA kara-kutu modelleri oluşturulmuş ve süreksizliğe ait parametre değerleri karşılaştırılmıştır.

Bu bölümde önceki bölümde incelenen süreksizlik türleri birleştirilerek, süreksizlik tiplerinin tamamına cevap verebilecek ortak bir ED-YSA kara-kutu modeli oluşturulmuştur. Şekil 6.1’de birleşik kara-kutu modeli görülmektedir.



Şekil 6.1 Birleşik ED-YSA kara-kutu modeli

Kara-kutunun girdileri:

1. Kullanılan taban maddesinin dielektrik sabiti, $[\varepsilon]$: Dielektrik taban maddesinin elektriksel özellikleri iki elemanlı bir vektör ile gösterilir.

$$[\varepsilon] = [\varepsilon_r, \varepsilon_y]^T \quad (6.1)$$

2. Geometrik boyut vektörü, $[D]$: Bu tüm süreksizlik tipleri için tanımlanmış geometri vektörüdür.

$$[D] = [W_1 / H, W_2 / H, S]^T \quad (6.2)$$

3. T: Süreksizliğin tipini belirleyen 1’den 5’e kadar bir sayıdır.

Kara-kutunun çıktıları:

Eşdeğer devre parametre vektörü, $[ED]$: Herbir süreksizlik tipi için, ED-YSA’nın çıkışında, giriş elemanlarının bir fonksiyonu olarak elde edilen parametre vektörüdür. T-Jonksiyonu

süreksizliği için tanımlanmış eşdeğer devre parametre vektörü;

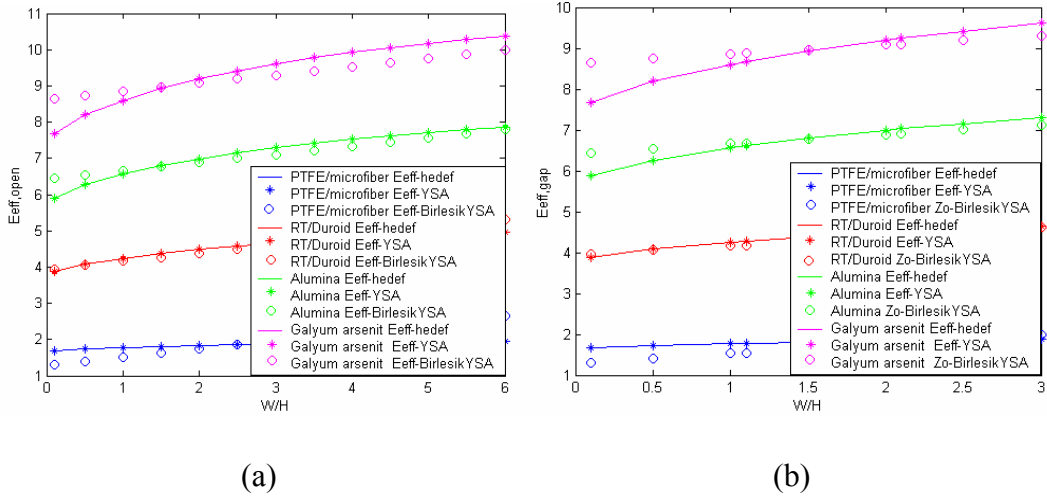
$$[ED] = [L_1, L_2, C_T]^T \quad (6.3)$$

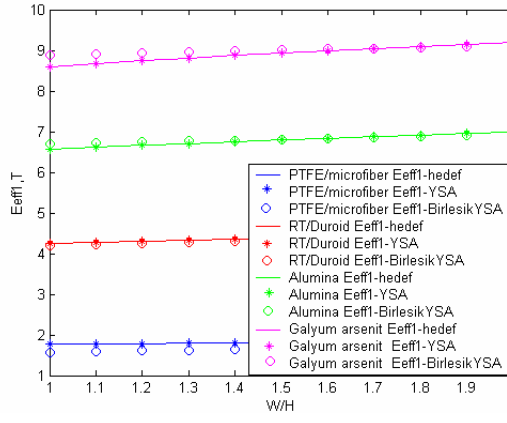
şeklindedir.

Birleşik kara-kutu modeli oluşturulurken 5.bölümde herbir süreksizlik tipi için özel olarak hazırlanmış eğitim ve test kümeleri birleştirilmiştir. Hazırlanan ortak kümeler yapay sinir ağının eğitiminde kullanılmıştır.

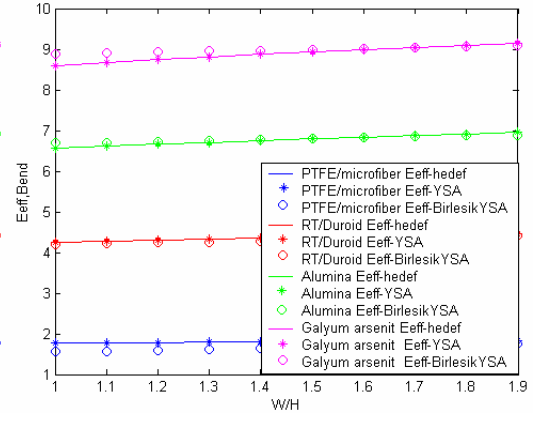
Sonuç olarak birleşik ED-YSA kara-kutu modeli çıktısı eşdeğer devre parametreleri, herbir süreksizlik için ayrı ayrı hazırlanmış ED-YSA kara-kutu modellerinin çıktıları ve hedef değerler karşılaştırmalı olarak grafikler üzerinde incelenmiştir.

Şekil 6.2’de açık devre, boşluk, T-jonksiyonu ve büküm süreksizliğine sahip mikroşerit iletim hatlarının efektif dielektrik sabitlerinin, hedef, ED-YSA kara kutu modeli sonucu ve son olarak da Birleşik ED-YSA kara kutu modeli sonucu değerleri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde elde edilen Birleşik ED-YSA kara kutu modelinin, efektif dielektrik sabiti için, hedef değer ve ED-YSA kara kutu modeli çıktısı değere yakın değerler verdiği görülmektedir.





(c)



(d)

Şekil 6.2 (a) Açık devre süreksizliği, (b) Boşluk süreksizliği, (c) T-Jonksiyonu süreksizliği ve (d) Büküm süreksizliği Birleşik ED-YSA kara-kutu modeli kullanılarak elde edilen ϵ_{eff} 'in W/H ile değişimi.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, mikroşerit iletim hatlarında en çok karşılaşılan beş süreksizlik türünün eşdeğer devre temelli yapay sinir ağı kara kutu modelinin oluşturulması üzerinde durulmuştur. Süreksizlikler, mikroşerit iletim hattına eklenen eşdeğer devre elemanları ile hesaba katılmıştır. Yapay sinir ağlarının öğrenme yeteneğinden hareketle, giriş çıkış bağıntıları ile oluşturulan “otomatik veri” programı çıktıları ile yapay sinir ağı eğitilmiş ve test edilmiştir. Sonuç olarak; kullanılan malzemenin elektriksel özellikleri, iletim hattı süreksizlikleri ile birlikte geometrisine karşılık, süreksizliğe eşdeğer devre elemanları ve hat parametreleri çıktıları veren bir kara-kutu modeli elde edilmiştir. Analitik formüller ile elde edilmiş eşdeğer devre parametre değerleri ile yapay sinir ağının eğitilmesi sonucu elde edilen eşdeğer devre parametre değerleri karşılaştırılmıştır. Eşdeğer devre parametre değerlerinin birbirine çok yakın olması yapay sinir ağının büyük doğrulukta eğitildiğini ve elde edilen Eşdeğer Devre Yapay Sinir Ağı Kara Kutu Modelinin çok büyük yaklaşıklıkla sonuç verdiğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Bahl, I. ve Bhartia, P., (1988), *Microwave Solid State Design*, Wiley-Interscience Publication, Chap. 2
- Beilenhoff, K., Klingbeil, H., Heinrich, W. ve Hartnagel, H.L., (1993), "Open and Short Circuits in Coplanar MMIC's", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol.41, No.9, 1534-1537
- Collins, R.E. , (1992), *Foundations for Microwave Engineering*, McGraw-Hill, Chap.3
- Deleniv, A., Vendik, I. ve Gevorgian. S., (2000), "Modeling Gap Discontinuity in Coplanar Waveguide Using Quasistatic Spectral Domain Method", *John Wiley & Sons, Inc. Int J RF and Microwave CAE* 10: 150-158
- Dib, N., (2005), "Comprehensive Study of CAD Models of Several Coplanar Waveguide (CPW) Discontinuities", *IEE Proc.-Microw. Antennas Propag.*, Vol.152, No.2, 69-76
- Edwards, T.C., (1981), *Foundations for Microstrip Circuit Design*, Wiley-Interscience Publication, Chap. 6
- Getsinger, W.J., (1993), "End-Effects in Quasi-TEM Transmission Lines", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol.41, No.4, 666-672
- Gunes, F., Gurgen, F. Ve Torpi, H., (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
- Horng, T., Wang, C., ve Alexopoulos, N.G., (1993), "Microstrip Circuit Design Using Neural Networks," *MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, 413-416
- Hu, J. ve Sun, L., (2005), "EC-ANN Models for CPW Discontinuities", *IEE Proc.-Microw. Antennas Propag.*, Vol.152, No.5, 292-296
- Lin, F.L. ve Wu, R.B., (1997), "Analysis of Coplanar-Waveguide Discontinuities with Finite-Metallization Thickness and Nonrectangular Edge Profile", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol.45, No.12, 2131-2138
- 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
- Roos, J., Şengör, N.S. ve Dufva, T., (2001), "Development and Comparison of Numerical Rounded Stripline Bend Models", *ECCTD'01-European Conference on Circuit Theory and Design*, 313-316
- 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
- Simons, R.N. ve Ponchak, G.E, (1988), “Modeling of Some Coplanar Waveguide Discontinuities”, IEEE MTT-S Digest, 297-300
- Tang, W., Chow, Y.L. ve Tsang, K.F., (2004), “Different Microstrip Line Discontinuities on a Single Field-Based Equivalent Circuit Model”, IEE Proc.-Microw. Antennas Propag., Vol.151, No.3, 256-262
- 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
- Türker, N., Güneş, F. ve Erden, O., (2006), “Mikroşerit Süreksizliklerinin Eşdeğer Devre Temelli Yapay Sinir Ağı Modeli”, IEEE 14. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, IEEE Catalog Number: 06EX1324C, ISBN: 1-4244-0239-5, 17-19 Nisan 2006, Antalya 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., Sağıroğlu, 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., Sağıroğlu, 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., Sağıroğlu, 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

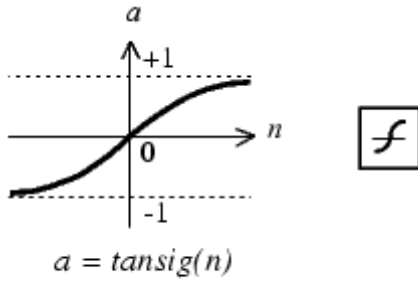
EKLER

- Ek 1 Tansig ve Purelin Aktivasyon Fonksiyonları
- Ek 2 ED-YSA Kara Kutu Modeli Eğitim ve Test Datalarını Elde Etmek İçin Kullanılan Programlar
- Ek 3 Yapay Sinir Ağının MLP İle Eğitilerek, ED-YSA Kara Kutu Modeli Çıktısı Eşdeğer Devre Parametrelerinin Hesaplanması İçin Kullanılan Programlar
- Ek4 Yapay Sinir Ağının MLP İle Eğitilerek, Birleşik ED-YSA Kara Kutu Modeli Çıktısı Eşdeğer Devre Parametrelerinin Hesaplanması İçin Kullanılan Programlar

Ek1 Tansig ve Purelin aktivasyon fonksiyonları

Tansig fonksiyonu

Hiperbolik tanjant sigmoid transfer fonksiyonudur. Grafik ve sembolü aşağıda gösterildiği şekildedir.

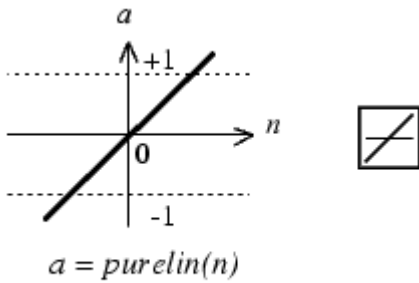


Tan-Sigmoid Transfer Function

Tansig, yapay sinir ağı transfer fonksiyonu olarak kullanılır. Bir katmanın çıkışını o katmanın net girişinden hesaplamaktadır.

Purelin fonksiyonu

Linear transfer fonksiyonudur. Grafik ve sembolü aşağıda gösterildiği şekildedir.



Linear Transfer Function

Purelin fonksiyonu da, tansig fonksiyonuna benzer şekilde yapay sinir ağı transfer fonksiyonu olarak kullanılır. Bir katmanın çıkışını o katmanın net girişinden hesaplamaktadır.

Ek2 ED-YSA kara kutu modeli eğitim ve test datalarını elde etmek için kullanılan programlar

Açık devre süreksizliğine sahip mikroserit iletim hattında, $\varepsilon_r, \varepsilon_y, T, W$ ve H girdilerine karşı eşdeğer kapasite C_{oc} , hattın efektif dielektrik sabiti ε_{eff} ve karakteristik empedansı Z_o çıktıları veren program:

```
clear all
Er=input('mikroserit hattin dielektrik sabitini giriniz\nEr=');
Ey=input('mikroserit hattin bagil dielektrik sabitini giriniz\nEy=');
H=input('mikroserit hattin substrate kalinligini giriniz\nH=');
W=input('mikroserit hattin iletken genisligini giriniz\nW=');
T=input('mikroserit hattin serit kalinligini giriniz\nT=');
He=sqrt(Er/Ey)*H;
Eg=sqrt(Er*Ey);
Eo=8.854*10^(-12);
muo=4*pi*(10)^-7;
c=3*(10)^8
B=W/He;
if B<=1
    CaHe=(2*pi*Eo)/log((8/B)+(B/4));
else
    CaHe=Eo*(B+1.393+(0.667*log(B+1.444)));
end
C=W/H;
if C<=1
    CaH=(2*pi*Eo)/log((8/C)+(C/4));
else
    CaH=Eo*(C+1.393+(0.667*log(C+1.444)));
end
if B<=1/(2*pi)
    We=W+0.398*T*((1+log((4*pi*W)/T)));
else
    We=W+0.398*T*((1+log((2*H)/T)));
end
```

```

end
A=We/He;
if A<1
    FEgHe=0.02*(Eg-1)*(1-A)^2;
else
    FEgHe=0;
end
Eff=((((Eg+1)/2)+(((Eg-1)/2)*(1+(12/A))^(1/2))))+FEgHe-(0.217*(Eg-1)*(T/sqrt(W*H)))*(CaHe/CaH)
%Eeff=((Er+1)/2)+(((Er-1)/2)*(1+(12/A))^(1/2))+FErH-0.217*(Er-1)*(T/(sqrt(W*H)))
Z0=sqrt((muo*Eo)/Eeff)*(1/CaH)
%Open End Discontinuity için Coc:
deltaL=(0.412*((Eeff+0.3)/(Eeff-0.258))*((A+0.264)/(A+0.8)))*He;
Coc=(deltaL*sqrt(Eeff))/(c*Z0)

```

Boşluk süreksizliğine sahip mikroserit iletim hattında, $\epsilon_r, \epsilon_y, W, H, T$ ve S girdilerine karşı eşdeğer C_p ve C_g kapasiteleri, hattın efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} ve karakteristik empedansı Z_o çıktıları veren program:

```

Er=input('mikroserit hattın dielektrik sabitini giriniz\nEr=');
Ey=input('mikroserit hattın bagil dielektrik sabitini giriniz\nEy=');
H=input('mikroserit hattın substrate kalinligini giriniz\nH=');
W=input('mikroserit hattın iletken genişliğini giriniz\nW=');
T=input('mikroserit hattın serit kalinligini giriniz\nT=');
S=input('Gap in genişliğini\nS=');
%Birimlerin mm den m ye çevrilmesi:
W=W/1000;
H=H/1000;
T=T/1000;
S=S/1000;
He=sqrt(Er/Ey)*H;
Eg=sqrt(Er*Ey);
Eo=8.854*10^(-12);

```

```

muo=4*pi*(10)^-7;
c=3*(10)^8;
B=W/He;
if B<=1/(2*pi)
    We=W+0.398*T*((1+log((4*pi*W)/T)));
else
    We=W+0.398*T*((1+log((2*H)/T)));
end
% Gap Discontinuity için Cg ve Cp:
D=S/We;
A=We/He;
if 0.1<=D<=0.3
    me=0.8675;
    ke=2.043*(A^(0.12));
else if 0.3<D<=1
    me=(1.565/((A^(0.16))))-1;
    ke=1.97-(0.03/A);
else
    me=0;
    ke=0;
end
end
D=S/We;
if 0.1<=D<=1.0
    m0=A*0.619*(log(A)-0.3853);
    k0=4.26-(1.453*log(A));
else
    m0=0;
    k0=0;
end
Ce=We*(D^(me))*exp(ke);

```

$$C0=We*(D^{(m0)})*exp(k0);$$

$$Ceven=((Er/9.6)^{(0.9)})*Ce;$$

$$Codd=((Er/9.6)^{(0.8)})*C0;$$

$$Cp=Ceven/2$$

$$Cg=(Codd-Cp)/2$$

Basamak süreksizliğine sahip mikroserit iletim hattında, $\varepsilon_r, \varepsilon_y, W_1, W_2, T_1, T_2$ ve H girdilerine karşı eşdeğer C_S kapasitesi, L_S endüktansı, farklı genişlikteki hatların efektif dielektrik sabitleri $\varepsilon_{eff1}, \varepsilon_{eff2}$ ve karakteristik empedansları Z_{o1}, Z_{o2} çıktılarını veren program:

Er1=input('1.mikroserit hattın dielektrik sabitini giriniz\nEr1=');

Ey1=input('1.mikroserit hattın bagıl dielektrik sabitini giriniz\nEy1=');

H1=input('1.mikroserit hattın substrate kalınlığını giriniz\nH1=');

W1=input('1.mikroserit hattın iletken genişliğini giriniz\nW1=');

T1=input('1.mikroserit hattın serit kalınlığını giriniz\nT1=');

W1=W1/1000;

H1=H1/1000;

T1=T1/1000;

He1=sqrt(Er1/Ey1)*H1;

Eg1=sqrt(Er1*Ey1);

Eo=8.854*10⁻¹²;

muo=4*pi*(10)⁻⁷;

c=3*(10)⁸

B=W1/He1;

if B<=1

CaHe1=(2*pi*Eo)/log((8/B)+(B/4));

else

CaHe1=Eo*(B+1.393+(0.667*log(B+1.444)));

end

C=W1/H1;

if C<=1

CaH1=(2*pi*Eo)/log((8/C)+(C/4));

else

$$CaH1 = Eo * (C + 1.393 + (0.667 * \log(C + 1.444)));$$

end

if $B \leq 1/(2 * \pi)$

$$We1 = W1 + 0.398 * T1 * ((1 + \log((4 * \pi * W1)/T1)));$$

else

$$We1 = W1 + 0.398 * T1 * ((1 + \log((2 * H1)/T1)));$$

end

$$A = We1/He1;$$

if $A < 1$

$$FEg1He1 = 0.02 * (Eg1 - 1) * (1 - A)^2;$$

else

$$FEg1He1 = 0;$$

end

$$Eeff1 = (((Eg1 + 1)/2) + (((Eg1 - 1)/2) * (1 + (12/A))^{(-1/2)})) + FEg1He1 - (0.217 * (Eg1 - 1) * (T1/\sqrt{W1 * H1}))) * (CaHe1/CaH1)$$

$$Z01 = \sqrt{(\mu o * Eo)/Eeff1} * (1/CaH1)$$

$$Er2 = \text{input}('2.\text{mikroserit hattin dielektrik sabitini giriniz}\backslash nEr2=');$$

$$Ey2 = \text{input}('2.\text{mikroserit hattin bagil dielektrik sabitini giriniz}\backslash nEy2=');$$

$$H2 = \text{input}('2.\text{mikroserit hattin substrate kalinligini giriniz}\backslash nH2=');$$

$$W2 = \text{input}('2.\text{mikroserit hattin iletken genisligini giriniz}\backslash nW2=');$$

$$T2 = \text{input}('2.\text{mikroserit hattin serit kalinligini giriniz}\backslash nT2=');$$

$$W2 = W2/1000;$$

$$H2 = H2/1000;$$

$$T2 = T2/1000;$$

$$He2 = \sqrt{Er2/Ey2} * H2;$$

$$Eg2 = \sqrt{Er2 * Ey2};$$

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

$$\mu o = 4 * \pi * (10)^{-7};$$

$$c = 3 * (10)^8$$

$$D = W2/He2;$$

if $D \leq 1$

$$CaHe2 = (2 \cdot \pi \cdot E_0) / \log((8/D) + (D/4));$$

else

$$CaHe2 = E_0 \cdot (D + 1.393 + (0.667 \cdot \log(D + 1.444)));$$

end

$$G = W_2 / H_2;$$

if $G \leq 1$

$$CaH2 = (2 \cdot \pi \cdot E_0) / \log((8/G) + (G/4));$$

else

$$CaH2 = E_0 \cdot (G + 1.393 + (0.667 \cdot \log(G + 1.444)));$$

end

if $D \leq 1 / (2 \cdot \pi)$

$$We2 = W_2 + 0.398 \cdot T_2 \cdot ((1 + \log((4 \cdot \pi \cdot W_2) / T_2)));$$

else

$$We2 = W_2 + 0.398 \cdot T_2 \cdot ((1 + \log((2 \cdot H_2) / T_2)));$$

end

$$H = We2 / He2;$$

if $H < 1$

$$FEg2He2 = 0.02 \cdot (Eg2 - 1) \cdot (1 - H)^2;$$

else

$$FEg2He2 = 0;$$

end

$$E_{eff2} = (((Eg2 + 1) / 2) + (((Eg2 - 1) / 2) \cdot (1 + (12/A))^{(-1/2)})) + FEg2He2 - (0.217 \cdot (Eg2 - 1) \cdot (T_2 / \sqrt{W_2 \cdot H_2}))) \cdot (CaHe2 / CaH2)$$

$$Z_{02} = \sqrt{(\mu_0 \cdot E_0) / E_{eff2}} \cdot (1 / CaH2)$$

%Step discontinuity için Ls ve Cs:

$$Cs = 1370 \cdot (\sqrt{E_{eff1}} / Z_{01}) \cdot (1 - (W_2 / W_1)) \cdot ((E_{eff1} + 0.3) / (E_{eff1} - 0.258)) \cdot ((B + 0.264) / (B + 0.8)) \cdot He1$$

$$Ls = ((1 - ((Z_{01} / Z_{02}) \cdot \sqrt{(E_{eff1} / E_{eff2}))))^2) \cdot He2$$

T-Jonksiyonu süreksizliğine sahip mikroşerit iletim hattında, $\varepsilon_r, \varepsilon_y, W_1, W_2, T_1, T_2$ ve H girdilerine karşı eşdeğer C_T kapasitesi, L_1 ve L_2 endüktansları, farklı genişlikteki hatların efektif dielektrik sabitleri $\varepsilon_{eff1}, \varepsilon_{eff2}$ ve karakteristik empedansları Z_{o1}, Z_{o2}

çıktılarını veren program:

```

clear all

Er1=input('1.mikroserit hattin dielektrik sabitini giriniz\nEr1=');
Ey1=input('1.mikroserit hattin bagil dielektrik sabitini giriniz\nEy1=');
H1=input('1.mikroserit hattin substrate kalinligini giriniz\nH1=');
W1=input('1.mikroserit hattin iletken genişliğini giriniz\nW1=');
W1=W1/1000;
H1=H1/1000;
T=T/1000;
He1=sqrt(Er1/Ey1)*H1;
Eg1=sqrt(Er1*Ey1);
Eo=8.854*10^(-12);
muo=4*pi*(10)^-7;
c=3*(10)^8
B=W1/He1;
if B<=1
    CaHe1=(2*pi*Eo)/log((8/B)+(B/4));
else
    CaHe1=Eo*(B+1.393+(0.667*log(B+1.444)));
end
C=W1/H1;
if C<=1
    CaH1=(2*pi*Eo)/log((8/C)+(C/4));
else
    CaH1=Eo*(C+1.393+(0.667*log(C+1.444)));
end
if B<=1/(2*pi)
    We1=W1+0.398*0.00005*((1+log((4*pi*W1)/0.00005)));
else
    We1=W1+0.398*0.00005*((1+log((2*H1)/0.00005)));
end

```

```

A=We1/He1;
if A<1
    FEg1He1=0.02*(Eg1-1)*(1-A)^2;
else
    FEg1He1=0;
end
Eeff1=((((Eg1+1)/2)+(((Eg1-1)/2)*(1+(12/A))^(1/2))))+FEg1He1-(0.217*(Eg1-1)*(0.00005/sqrt(W1*H1))))*(CaHe1/CaH1)
Z01=sqrt((muo*Eo)/Eeff1)*(1/CaH1)
Er2=input('2.mikroserit hattin dielektrik sabitini giriniz\nEr2=');
Ey2=input('2.mikroserit hattin bagil dielektrik sabitini giriniz\nEy2=');
H2=input('2.mikroserit hattin substrate kalinligini giriniz\nH2=');
W2=input('2.mikroserit hattin iletken genisligini giriniz\nW2=');
W2=W2/1000;
H2=H2/1000;
He2=sqrt(Er2/Ey2)*H2;
Eg2=sqrt(Er2*Ey2);
Eo=8.854*10^(-12);
muo=4*pi*(10)^-7;
c=3*(10)^8
D=W2/He2;
if D<=1
    CaHe2=(2*pi*Eo)/log((8/D)+(D/4));
else
    CaHe2=Eo*(D+1.393+(0.667*log(D+1.444)));
end
G=W2/H2;
if G<=1
    CaH2=(2*pi*Eo)/log((8/G)+(G/4));
else
    CaH2=Eo*(G+1.393+(0.667*log(G+1.444)));

```

```

end
if D<=1/(2*pi)
    We2=W2+0.398*0.00005*((1+log((4*pi*W2)/0.00005)));
else
    We2=W2+0.398*0.00005*((1+log((2*H2)/0.00005)));
end
H=We2/He2;
if H<1
    FEg2He2=0.02*(Eg2-1)*(1-H)^2;
else
    FEg2He2=0;
end
Eeff2=((Eg2+1)/2)+((((Eg2-1)/2)*(1+(12/A))^(1/2)))+FEg2He2-(0.217*(Eg2-1)*(0.00005/sqrt(W2*H2)))*(CaHe2/CaH2)
Z02=sqrt((muo*Eo)/Eeff2)*(1/CaH2)
% Junction Discontinuity için Ct, L1 ve L2'nin bulunması:
Lw1=(Z01*sqrt(Eeff1))/c
Lw2=(Z02*sqrt(Eeff2))/c
if
    25<=Z02<=100
    Ct=((100/(tan((He1)*0.0072*Z02)))+(0.64*Z02)-261)*W1;
end
if
    0.5<=B<=2.0
    0.5<=D<=2.0
    L1=-D*((D*(-0.016*B)+0.064)+(0.016/B))*Lw1*He1;
end
if
    1<=B<=2.0
    0.5<=D<=2.0
    L2((((0.12*B)-0.47)*D)+(0.195*B)-0.357+(0.0283*sin((pi*B)-(0.75*pi))))*Lw2*He2;

```

end

Büküm süreksizliğine sahip mikroserit iletim hattında, $\varepsilon_r, \varepsilon_y, W$ ve H girdilerine karşı eşdeğer C_{Bend} kapasitesi ve L_{Bend} endüktansı, hattın efektif dielektrik sabiti ε_{eff} ve karakteristik empedansı Z_o çıktılarını veren program:

```
clear all
```

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

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

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

```
W=input('mikroserit hattin iletken genişliğini giriniz\nW=');
```

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

```
%Birimlerin mm den m ye çevrilmesi:
```

```
W=W/1000;
```

```
H=H/1000;
```

```
T=T/1000;
```

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

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

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

```
muo=4*pi*(10)^-7;
```

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

```
B=W/He;
```

```
if B<=1
```

```
    CaHe=(2*pi*Eo)/log((8/B)+(B/4));
```

```
else
```

```
    CaHe=Eo*(B+1.393+(0.667*log(B+1.444)));
```

```
end
```

```
C=W/H;
```

```
if C<=1
```

```
    CaH=(2*pi*Eo)/log((8/C)+(C/4));
```

```
else
```

```
    CaH=Eo*(C+1.393+(0.667*log(C+1.444)));
```

```
end
```

```

if B<=1/(2*pi)
    We=W+0.398*T*((1+log((4*pi*W)/T)));
else
    We=W+0.398*T*((1+log((2*H)/T)));
end
A=We/He;
if A<1
    FEgHe=0.02*(Eg-1)*(1-A)^2;
else
    FEgHe=0;
end
Eeff=((Eg+1)/2)+(((Eg-1)/2)*(1+(12/A))^(1/2)))+FEgHe-(0.217*(Eg-1)*(T/sqrt(W*H)))*(CaHe/CaH)
%Eeff=((Er+1)/2)+(((Er-1)/2)*(1+(12/A))^(1/2)))+FErH-0.217*(Er-1)*(T/(sqrt(W*H)))
Z0=sqrt((muo*Eo)/Eeff)*(1/CaH)
B=W/He;
if B<=1/(2*pi)
    We=W+0.398*T*((1+log((4*pi*W)/T)));
else
    We=W+0.398*T*((1+log((2*H)/T)));
end
% Dik açılı Bend için esdeger C ve L elemanlari:
A=We/He;
if A<1
    Cbend=((((14*Er)+12.5)*A)-((1.83*Er)-2.25))/sqrt(A))*We
else
    Cbend=((((9.5*Er)+1.25)*A)+(5.2*Er)+7)*We
end
L=100*(((4*sqrt(A))-4.21))*He

```

Ek3 ED-YSA Kara Kutu Modeli Yapay Sinir Ağı'nın Eğitilmesi İçin Hazırlanmış Programlar

Açık Devre Süreksizliğine Sahip Mikroşerit İletim Hattında MLP ile Ağı'n Eğitilerek Coc , Zo , E_{eff} in Elde edilmesi:

```
clear all;close all;clc;

load dataset.txt

egitim=(dataset(1:2:239,1:3));

egitim(:,1)=egitim(:,1)/13;

egitim(:,2)=egitim(:,2)/13;

egitim(:,3)=egitim(:,3)/6;

egitim=egitim';

hedef_egitim(1:120)=(dataset(1:2:239,5))';

net = newff(minmax(egitim),[5 3],{'tansig' 'purelin'},'trainlm');

net.trainParam.epochs = 700;

net.trainParam.lr=0.1;

net.trainParam.mc= 0.1;

net.trainParam.goal= 0.0001;

net = train(net,egitim,hedef_egitim);

y3= sim(net,egitim);

test=(dataset(2:2:240,1:3));

test(:,1)=test(:,1)/13;

test(:,2)=test(:,2)/13;

test(:,3)=test(:,3)/6;

test=test';

y1 = sim(net,test);

hedef_test(1:120)=(dataset(2:2:240,5))';

A(:,1)=hedef_test'

A(:,2)=y1'

save sonuc.txt A -ascii

C=dataset(2:2:240,3);

figure,plot(C(1:30,1),A(1:30,1),'b-',C(1:30),A(1:30,2),'bo')

hold on
```

```

plot(C(31:60,1),A(31:60,1),'r-',C(31:60),A(31:60,2),'ro')
hold on
plot(C(61:90,1),A(61:90,1),'g-',C(61:90),A(61:90,2),'go')
hold on
plot(C(91:120,1),A(91:120,1),'m-',C(91:120),A(91:120,2),'mo')
hold off
legend('PTFE/microfiber Coc-hedef','PTFE/microfiber Coc-YSA','RT/Duroid Coc-
hedef','RT/Duroid Coc-YSA','Alumina Coc-hedef','Alumina Coc-YSA','Galyum arsenit Coc-
hedef','Galyum arsenit Coc-YSA',2);
xlabel('W/H');
ylabel('Coc(pF)');

```

Ek4 Yapay Sinir Ağının MLP İle Eğitilerek, Birleşik ED-YSA Kara Kutu Modeli Çıktısı Eşdeğer Devre Parametrelerinin Hesaplanması İçin Kullanılan Programlar

%MLP ile ağı eğitilmesi

```
clear all;close all;clc;
```

```
load ANNegitim.txt
```

```
load ANNtest.txt
```

```
egitim=(ANNegitim(1:1016,1:5));
```

```
egitim(:,1)=egitim(:,1)/13;
```

```
egitim(:,2)=egitim(:,2)/13;
```

```
egitim(:,3)=egitim(:,3)/6;
```

```
egitim=egitim';
```

```
hedef_egitim=(ANNegitim(1:1016,6:12))';
```

```
net = newff(minmax(egitim),[7 7],{'purelin' 'purelin'},'trainlm');
```

```
net.trainParam.epochs = 300;
```

```
net.trainParam.lr=0.1;
```

```
net.trainParam.mc= 0.1;
```

```
net.trainParam.goal= 0.0001;
```

```
net = train(net,egitim,hedef_egitim);
```

```
y3= sim(net,egitim);
```

```
test=(ANNtest(1:212,1:5));
```

```
test(:,1)=test(:,1)/13;
```

```
test(:,2)=test(:,2)/13;
```

```
test(:,3)=test(:,3)/6;
```

```
test=test';
```

```
y1 = sim(net,test);
```

```
y1=y1';
```

```
hedef_test(1:212,1:7)=(ANNtest(1:212,6:12))
```

```
A(1:212,1)=hedef_test(1:212,1)
```

```
A(1:212,2)=y1(1:212,1);
```

```
A(1:212,3)=hedef_test(1:212,2);
```

```
A(1:212,4)=y1(1:212,2);
```

```
A(1:212,5)=hedef_test(1:212,3);
A(1:212,6)=y1(1:212,3);
A(1:212,7)=hedef_test(1:212,4);
A(1:212,8)=y1(1:212,4);
A(1:212,9)=hedef_test(1:212,5);
A(1:212,10)=y1(1:212,5);
A(1:212,11)=hedef_test(1:212,6);
A(1:212,12)=y1(1:212,6);
A(1:212,13)=hedef_test(1:212,7);
A(1:212,14)=y1(1:212,7);
save sonuc_com.txt A -ascii
C=ANNtest(1:213,4);
D=ANNtest(1:213,5);
```

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 01.06.1980

Doğum yeri İstanbul

Lise 1991-1998 Vatan Anadolu Lisesi

Lisans 1998-2002 Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fak.
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2003-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik ve Haberleşme Müh. Anabilim Dalı,
Haberleşme Programı

Çalıştığı kurum

2004-Devam ediyor Arçelik A.Ş.
Çamaşır Makinası İşletmesi
Kalite Güvence Müh.