

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI**

**MİKRODALGA DÜZLEMSEL İLETİM HATLARININ
ELEKTRİKSEL PARAMETRELERİNİN BULANIK MANTIK
MODELİ KULLANILARAK HESAPLANMASI**

DOKTORA TEZİ

ONUR İNAN

DENİZLİ, EKİM - 2021

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI**



**MİKRODALGA DÜZLEMSEL İLETİM HATLARININ
ELEKTRİKSEL PARAMETRELERİNİN BULANIK MANTIK
MODELİ KULLANILARAK HESAPLANMASI**

DOKTORA TEZİ

ONUR İNAN

DENİZLİ, EKİM - 2021

Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (PAÜ BAP) tarafından 2012 FBE 034 nolu proje ile desteklenmiştir.

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

ONUR İNAN

ÖZET

**MİKRODALGA DÜZLEMSEL İLETİM HATLARININ ELEKTRİKSEL
PARAMETRELERİNİN BULANIK MANTIK MODELİ KULLANILARAK
HESAPLANMASI
DOKTORA TEZİ
ONUR İNAN
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. CEYHUN KARPUZ)**

DENİZLİ, EKİM - 2021

MMIC (Tek Parça Mikrodalga Tümüleşik Devre) teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaya başlanan mikrodalga düzlemsel iletim hatlarının analizlerinde frekans bağımlı tam dalga analizleri veya frekanstan bağımsız çözümler sunan yarı-statik yaklaşımlar kullanılmaktadır. Ancak her iki yaklaşımla yapılan analizlerin de bazı dezavantajları mevcuttur. Frekans bağımlı çözümlerde yapıların karakteristik parametrelerinin hesaplanmasında işlem süresinin uzun olması ve pahalı paket programlara ihtiyaç duyulması, KDT (Konform Dönüşüm Tekniği) gibi quasi-statik bir yaklaşımla yapılan analizlerde ise kullanılan düzlemsel dönüşümlerin zor olması karşılaşılan sorunlardır. Uygulamalarda yüksek doğrulukta, hızlı, pratik ve yüksek performanslı hesaplamalar tercih edildiğinden daha basit ve kolay hesaplama tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tez çalışmasında, mevcut yöntemler kadar doğru ve hassas sonuçlar sunabilen bulanık mantık modelleri mikrodalga düzlemsel iletim hatlarının elektriksel parametrelerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Bu çalışmanın ilk bölümünde, bulanık mantık model yönteminin uygulandığı düzlemsel iletim hatları tanıtılmaktadır. Bir sonraki bölümde küme tahmini üzerine kurulu bulanık modelleme yöntemine değinilerek küme merkezi tahminine dayalı veri topluluklarının sınıflandırılması, küme merkezlerinin belirlenmesi ve bu merkezlere bulanık kural atamasının yapılması aşamaları sırasıyla gösterilmiştir. Üçüncü bölümde tez kapsamına giren düzlemsel iletim hatlarının bulanık mantık modellemesi gerçekleştirilerek her bir yapının çıkış karakteristik değerleri olan efektif dielektrik sabitleri ve karakteristik empedansları elde edilmiştir. Bulanık mantık modellemesi gerçekleştirilen her bir yapı için hata analizi yapılarak, giriş verilerine uygulanan küme merkezi belirleme kriterlerinin çıkış değerleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Dördüncü bölümde tez çalışmasından elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Tasarlanan bulanık modellerin sonuçlarının literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılması neticesinde elektriksel parametrelerin yüksek doğrulukla hesaplandığı gözlemlenmiştir. Hazırlanan bulanık modeller bu alanda ilk olma özelliğini taşımakla beraber alternatif çözüm yöntemi olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir.

ANAHTAR KELİMELELER: Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu, Kuplajlı İletim Hatları, Mikro Kalkan Hatları, Kümeleme, Bulanık Çıkarım Sistemleri

ABSTRACT

CALCULATION OF THE ELECTRICAL PARAMETERS OF MICROWAVE PLANAR TRANSMISSION LINES USING FUZZY LOGIC MODEL

PHD THESIS
ONUR INAN

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING
(SUPERVISOR:PROF. DR. CEYHUN KARPUZ)

DENİZLİ, OCTOBER 2021

In the analysis of microwave planar transmission lines being widely used in MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) technology frequency-dependent full wave analysis or quasi-static approaches that offer frequency-independent solutions are used. However, there are some disadvantages of each approach in the analysis. In frequency-dependent solutions the long duration of processing time in the calculation of characteristic parameters of the structure and the requirement of expensive program packages, in CMT (Conformal Mapping Technique) analysis as a quasi-static approach the difficulty of planar transformations are the problems encountered. Because of highly accurate, fast, practical and high-performance calculations are preferred the more simple and easy calculation techniques are needed.

In this thesis, fuzzy logic models, which can provide accurate and sensitive results as the existing methods, are used to calculate the electrical parameters of microwave planar transmission lines. In the first part of the current study, planar transmission lines for which fuzzy logic model method is applied are introduced. In the next part, by referring to the fuzzy modeling method based on cluster estimation, the stages of classifying data groups based on cluster center estimation, determining cluster centers and assigning fuzzy rule to these centers are respectively shown. In the third part, the effective dielectric constants and characteristic impedances, which are the output characteristic values of each structure have been obtained by performing fuzzy logic modeling of the planar transmission lines within the scope of the thesis. The effects of the cluster center determination criteria applied to the input data on the output values were investigated by performing error analysis for each structure in which fuzzy logic modeling was performed. In the fourth part, the results obtained from the thesis study have been evaluated. As a result of the comparison of the results of the designed fuzzy models with the results in the literature, it was observed that the electrical parameters were calculated with high accuracy. Even though the prepared fuzzy models are the first in this field, it is thought that they can be used as an alternative solution method.

KEYWORDS: Coplanar Waveguides, Coupled Transmission Lines, Micro Shield Lines, Clustering, Fuzzy Inference Systems

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
KISALTMALAR LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Mikrodalga Düzlemsel İletim Hatları.....	1
1.2 Literatür Özeti	4
1.3 Tezin Hedefleri	7
2. BULANIK MANTIK MODELLEME.....	10
2.1 Bulanık Sistemler	10
2.2 Kümeleme Kavramı ve Yöntemleri.....	13
2.3 Çıkarımsal Kümeleme Tabanlı Bulanık Mantık Modellemesi.....	15
2.3.1 Küme Tahmini	15
2.3.2 Model Tanımlama	19
3. DÜZLEMSEL İLETİM HATLARININ BULANIK MODELLERİNİN KURULMASI.....	23
3.1 Konvansiyonel İletim Hatlarının Bulanık Modellemesi	23
3.1.1 Asimetrik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu için Bulanık Model	24
3.1.2 İletken Destekli Asimetrik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu için Kurulan Bulanık Model	27
3.1.3 Üst Kalkanlı Asimetrik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu için Kurulan Bulanık Model	30
3.1.4 İletken Destekli Üst Ekranlamalı Asimetrik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu için Kurulan Bulanık Model	33
3.2 Kuplajlı İletim Hatlarının Bulanık Modellemesi.....	38
3.2.1 Kenar Kuplajlı Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu için Kurulan Bulanık Model	39
3.2.2 İletken Destekli Kenar Kuplajlı Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu için Kurulan Bulanık Model	43
3.2.2 İki Yanlı Alt ve Üst Korumalı Kuplajlı Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu için Kurulan Bulanık Model	51
3.2.3 İki Yanlı Kuplajlı V şeklindeki İletken Destekli Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu için Kurulan Bulanık Model.....	55
3.2.5 İki Yanlı Mikro Şerit Hatlar Arası Yarık-Kuplajlı Yönlü Kuplörler için Kurulan Bulanık Model.....	62
3.2.6 Çok Katmanlı Kuplajlı İletim Hatları için Bulanık Model	66
3.2.7 Alt ve Üst Korumalı Kuplajlı Şerit Hatlar için Bulanık Model ...	70
3.2.8 İki Yanlı Dielektrik Destekli Kuplajlı Şerit Hatlar için Kurulan Bulanık Model	73
3.3 Mikro Kalkan Hatlarının Bulanık Modellemesi.....	77
3.3.1 Asimetrik V-şekilli Mikro Kalkan Hattı için Bulanık Model.....	78

3.3.2	Dikdörtgen Şekilli Mikro Kalkan Hattı için Bulanık Model	87
3.3.3	Yamuk Şekilli Mikro Kalkan Hattı için Bulanık Model.....	91
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER	98
5.	KAYNAKLAR.....	100
6.	ÖZGEÇMİŞ.....	110

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Genel bulanık sistem.	12
Şekil 2.2: TSK bulanık sistemi.	12
Şekil 2.3: Bulanıklaştırma-Durulaştırma birimli bulanık sistem.	13
Şekil 2.4: ÇBK akış diyagramı.	16
Şekil 2.5: Bulanık girişler için Gauss üyelik fonksiyonları.	20
Şekil 3.1: ACPW a) Yapısı b) Önerilen bulanık model.	25
Şekil 3.2: ACPW yapısı etkin dielektrik sabiti ve karakteristik empedans sonuçları ($\epsilon_r=10$, $h=750\mu\text{m}$, $w=400\mu\text{m}$).	26
Şekil 3.4: CBACPW a) Yapısı b) Önerilen bulanık model.	28
Şekil 3.5: CBACPW etkin dielektrik sabiti ve karakteristik empedans sonuçları ($\epsilon_r=10$, $h=750\mu\text{m}$, $w=400\mu\text{m}$).	29
Şekil 3.6: CBACPW yapısı karakteristik empedans eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı.	29
Şekil 3.7: ACPWUS a) Yapısı b) Önerilen bulanık model.	31
Şekil 3.8: ACPWUS a) Efektif dielektrik sabiti sonuçları b) Karakteristik empedans sonuçları ($\epsilon_r=10$, $h=750\mu\text{m}$, $w=400\mu\text{m}$).	32
Şekil 3.9: ACPWUS yapısı karakteristik empedans eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı.	33
Şekil 3.10: CBACPWUS a) Yapısı b) Önerilen bulanık model.	34
Şekil 3.11: CBACPWUS a) Efektif dielektrik sabiti sonuçları b) Karakteristik empedans sonuçları ($\epsilon_r=10$, $h=750\mu\text{m}$, $w=400\mu\text{m}$).	37
Şekil 3.12: CBACPWUS yapısı karakteristik empedans eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı.	38
Şekil 3.13: Kenar kuplajlı eş düzlemsel dalga kılavuzu elektrik alan dağılımı a) Tek mod b) Çift mod.	39
Şekil 3.14: ECCPW a) Yapısı b) Önerilen bulanık model mimarisi.	40
Şekil 3.15: ECCPW yapısı tek ve çift mod için a) Efektif dielektrik sabiti sonuçları b) Karakteristik empedans sonuçları ($\epsilon_r=9.9$, $b/h=0.5$).	41
Şekil 3.16: ECCPW yapısı tek ve çift mod için kuplaj katsayısı sonuçları ($\epsilon_r=9.9$, $b/c=0.342$).	42
Şekil 3.17: ECCPW yapısı tek ve çift mod için karakteristik empedans eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı.	42
Şekil 3.18: CBECCPW a) Yapısı b) Önerilen bulanık model mimarisi.	47
Şekil 3.19: CBECCPW yapısı efektif dielektrik sabiti sonuçları a) Tek mod b) Çift mod ($\epsilon_r=9.9$, $b/c=0.342$).	48
Şekil 3.20: CBECCPW yapısı karakteristik empedans sonuçları a) Tek mod b) Çift mod ($\epsilon_r=9.9$, $b/c=0.342$).	49
Şekil 3.21: CBECCPW yapısı tek ve çift mod için kuplaj katsayısı sonuçları ($\epsilon_r=9.9$, $b/c=0.342$).	50
Şekil 3.22: CBECCPW yapısı tek ve çift mod karakteristik empedans eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı.	50
Şekil 3.23: BCCPW a) Yapısı b) Önerilen bulanık model mimarisi.	52

Şekil 3.24: BCCPW yapısı tek ve çift mod için a) Efektif dielektrik sabiti sonuçları b) Karakteristik empedans sonuçları ($w=20 \mu\text{m}$, $h_2=1000 \mu\text{m}$, $\epsilon_{r2}=1$, $\epsilon_{r1}=12.9$).....	53
Şekil 3.25: BCCPW yapısı tek ve çift mod için kuplaj katsayısı sonuçları ($w=20 \mu\text{m}$, $h_2=1000 \mu\text{m}$, $\epsilon_{r2}=1$, $\epsilon_{r1}=12.9$).....	54
Şekil 3.26: BCCPW yapısı tek ve çift mod karakteristik empedans eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı.....	54
Şekil 3.27: BCVCBCPW a) Yapısı b) Önerilen bulanık model mimarisi.....	58
Şekil 3.28: BCVCBCPW yapısı efektif dielektrik sabiti tek ve çift mod sonuçları a) $h_2/h_1=0.2$ b) $h_2/h_1=0.5$ ($\epsilon_{r1}=10$, $\epsilon_{r2}=12.9$, $D/h_1=1$, $D=500 \mu\text{m}$, Parlama açısı $\beta=30^\circ-90^\circ$).....	59
Şekil 3.29: BCVCBCPW yapısı karakteristik empedans tek ve çift mod sonuçları a) $h_2/h_1=0.2$ b) $h_2/h_1=0.5$ ($\epsilon_{r1}=10$, $\epsilon_{r2}=12.9$, $D/h_1=1$, $D=500 \mu\text{m}$, Parlama açısı $\beta=30^\circ - 90^\circ$).....	60
Şekil 3.30: BCVCBCPW yapısı tek ve çift mod için kuplaj katsayısı sonuçları ($\epsilon_{r1}=1 - 10$, $\epsilon_{r2}=12.9$, $h_2/h_1=0.2 - 0.5$, $D/h_1=1$, $D=500 \mu\text{m}$, Parlama açısı $\beta=30^\circ - 90^\circ$).....	61
Şekil 3.31: BCVCBCPW yapısı tek ve çift mod karakteristik empedans eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı.....	61
Şekil 3.32: SCDCBDSML a) Yapısı b) Önerilen bulanık model mimarisi.....	63
Şekil 3.33: SCDCBDSML yapısı tek ve çift mod için a) Efektif dielektrik sabiti sonuçları b) Karakteristik empedans sonuçları ($\epsilon_r=9.9$, $h_0/h=10$).....	65
Şekil 3.34: SCDCBDSML yapısı tek ve çift mod için kuplaj katsayısı sonuçları ($\epsilon_r=9.9$, $h_0/h=10$).....	65
Şekil 3.35: SCDCBDSML yapısı tek ve çift mod karakteristik empedans çıkışları eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı.....	66
Şekil 3.36: MLCS a) Yapısı b) Önerilen bulanık modeller.....	67
Şekil 3.37: MLCS kuplajlı iletim hattı tek ve çift mod için karakteristik empedans sonuçları ($\epsilon_r=9$).....	69
Şekil 3.38: MLCS kuplajlı iletim hattı tek ve çift mod karakteristik empedans çıkışları eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı.....	69
Şekil 3.39: SCSL a) Yapısı b) Önerilen bulanık modeller.....	71
Şekil 3.40: SCSL kuplajlı şerit hattı karakteristik empedans sonuçları a) Tek mod b) Çift mod ($\epsilon_{r1}=1$).....	72
Şekil 3.41: SCSL kuplajlı şerit hattı tek ve çift mod karakteristik empedans çıkışları eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı.....	72
Şekil 3.42: BCSL a) Yapısı b) Önerilen bulanık modeller.....	74
Şekil 3.43: BCSL yapısı tek ve çift mod için a) Efektif dielektrik sabiti sonuçları b) Karakteristik empedans sonuçları ($\epsilon_r=2.32$).....	75
Şekil 3.44: BCSL yapısı tek ve çift mod karakteristik empedans eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı.....	76
Şekil 3.45: AVSML a) Yapısı b) Birinci tip bulanık model c) İkinci tip bulanık model.....	80
Şekil 3.46: KDT ve tekrarlamalı sayısal yöntemler analizi ile karşılaştırmalı birinci tip AVSML modelinin a/G ve d_1/d_2 geometrik oranlarına bağlı karakteristik empedans ile birlikte efektif dielektrik sabiti sonuçları ($\epsilon_r=2.55$) a) $\beta=30^\circ$ b) $\beta=60^\circ$	81
Şekil 3.47: KDT ve tekrarlamalı sayısal yöntemler analizi ile karşılaştırmalı ikinci tip AVSML modelinin a/G ve d_1/d_2 geometrik oranlarına	

	bağlı karakteristik empedans ve efektif dielektrik sabiti sonuçları ($\epsilon_r=2.55$) a) $\beta=30^\circ$ b) $\beta=60^\circ$	82
Şekil 3.48:	Birinci tip AVSML modelinin eğitim ve kontrol verileri için kural sayısı ile birlikte etkin dielektrik sabiti ve karakteristik empedans hatasının dağılımı a) r_α 'ya bağlı değişim ($\eta=1.35$, $\epsilon_{up}=0.5$, $\epsilon_{down}=0.35$) b) η 'ya bağlı değişim ($r_\alpha=1.35$, $\epsilon_{up}=0.5$, $\epsilon_{down}=0.35$) c) ϵ_{up} 'a bağlı değişim ($r_\alpha=1.45$, $\eta=1$, $\epsilon_{down}=0.35$) d) ϵ_{down} 'a bağlı değişim ($r_\alpha=1.45$, $\eta=1$, $\epsilon_{up}=0.6$).....	84
Şekil 3.49:	İkinci tip AVSML modelinin eğitim ve kontrol verileri için kural sayısı ile birlikte etkin dielektrik sabiti ve karakteristik empedans hatasının dağılımı a) r_α 'ya bağlı değişim ($\eta=1.35$, $\epsilon_{up}=0.6$, $\epsilon_{down}=0.4$) b) η 'ya bağlı değişim ($r_\alpha=1.55$, $\epsilon_{up}=0.6$, $\epsilon_{down}=0.4$) c) ϵ_{up} 'a bağlı değişim ($r_\alpha=1.5$, $\eta=1.35$, $\epsilon_{down}=0.4$) d) ϵ_{down} 'a bağlı değişim ($r_\alpha=1.5$, $\eta=1.35$, $\epsilon_{up}=0.6$).....	86
Şekil 3.50:	RSML a) Yapısı b) Bulanık model.....	88
Şekil 3.51:	RSML modelinin eğitim ve kontrol verileri için karakteristik empedans hatasının ve kural sayısının dağılımı a) r_α 'ya bağlı değişim ($\eta=1.35$, $\epsilon_{up}=0.6$, $\epsilon_{down}=0.4$) b) η 'ya bağlı değişim ($r_\alpha=1.35$, $\epsilon_{up}=0.6$, $\epsilon_{down}=0.4$) c) ϵ_{up} 'a bağlı değişim ($r_\alpha=1.35$, $\eta=1.05$, $\epsilon_{down}=0.35$) d) ϵ_{down} 'a bağlı değişim ($r_\alpha=1.35$, $\eta=1.05$, $\epsilon_{up}=0.6$).....	90
Şekil 3.52:	Mikro kalkan hatları a) Dikdörtgen şekilli b) Pozitif eğime sahip yamuk şekilli c) Negatif eğime sahip yamuk şekilli.	92
Şekil 3.53:	TSML a) Yapısı b) Bulanık model.....	93
Şekil 3.54:	TSML modeli eğitim ve kontrol verileri için karakteristik empedans Z_o çıkışlarının KDT uygulayan sayısal yöntem çözümü ile karşılaştırmalı sonuçları. Z_o değişimi β açısına (derece cinsinden) , $2b/W$ oranına ve a/b ile a/h parametrelerine bağlıdır. a) $a/h=0.1$ $a/b=0.8$ b) $a/h=0.5$ $a/b=0.8$ c) $a/h=0.1$ $a/b=0.5$ d) $a/h=0.5$ $a/b=0.5$	95
Şekil 3.55:	TSML modelinin eğitim ve kontrol verileri için karakteristik empedans hatasının ve kural sayısının dağılımı a) r_α 'ya bağlı değişim ($\eta=1.35$, $\epsilon_{up}=0.8$, $\epsilon_{down}=0.4$) b) η 'ya bağlı değişim ($r_\alpha=1.4$, $\epsilon_{up}=0.8$, $\epsilon_{down}=0.4$) c) ϵ_{up} 'a bağlı değişim ($r_\alpha=1.4$, $\eta=1.35$, $\epsilon_{down}=0.5$) d) ϵ_{down} 'a bağlı değişim ($r_\alpha=1.4$, $\eta=1.35$, $\epsilon_{up}=0.8$).	96

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: ACPW modeli optimum parametre değerleri ve kural sayısı	27
Tablo 3.2: ACPW modeli optimum komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri.....	27
Tablo 3.3: CBACPW modeli optimum parametre değerleri ve kural sayısı....	30
Tablo 3.4: CBACPW modeli optimum komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri.....	30
Tablo 3.5: ACPWUS modeli optimum parametre değerleri ve kural sayısı....	33
Tablo 3.6: ACPWUS modeli optimum komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri.....	33
Tablo 3.7: CBACPWUS modeli optimum parametre değerleri ve kural sayısı.....	38
Tablo 3.8: CBACPWUS modeli optimum komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri.....	38
Tablo 3.9: ECCPW yapısı tek ve çift mod için optimum parametre değerleri ve kural sayısı.....	43
Tablo 3.10: ECCPW yapısı tek ve çift mod için optimum komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri.....	43
Tablo 3.11: CBECCPW yapısı tek ve çift mod için optimum parametre değerleri ve kural sayısı.....	50
Tablo 3.12: CBECCPW yapısı tek ve çift mod için optimum komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri.....	50
Tablo 3.13: BCCPW yapısı tek ve çift mod için optimum parametre değerleri ve kural sayısı.....	55
Tablo 3.14: BCCPW yapısı tek ve çift mod için optimum komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri.....	55
Tablo 3.15: BCVCBCPW yapısı tek ve çift mod için optimum parametre değerleri ve kural sayısı.....	61
Tablo 3.16: BCVCBCPW yapısı tek ve çift mod için optimum komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri.....	62
Tablo 3.17: SCDCBDSML yapısı tek ve çift mod için en uygun parametre değerleri ve kural sayısı.....	66
Tablo 3.18: SCDCBDSML yapısı tek ve çift mod için en uygun komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri.....	66
Tablo 3.19: MLCS kuplajlı iletim hattı tek ve çift mod için en uygun parametre değerleri ve kural sayısı.....	69
Tablo 3.20: MLCS kuplajlı iletim hattı tek ve çift mod için en uygun komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri.....	70
Tablo 3.21: SCSL kuplajlı şerit hattı tek ve çift mod için en uygun parametre değerleri ve kural sayısı.....	73
Tablo 3.22: MLCS kuplajlı iletim hattı tek ve çift mod için en uygun komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri.....	73
Tablo 3.23: BCSL yapısı tek ve çift mod için en uygun parametre değerleri ve kural sayısı.....	76
Tablo 3.24: BCSL yapısı tek ve çift mod için en uygun komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri.....	76

Tablo 3.25: AVSML yapısı birinci ve ikinci model için en uygun parametre değerleri ve kural sayısı.....	86
Tablo 3.26: AVSML yapısı birinci ve ikinci model için en uygun komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri.....	87
Tablo 3.27: RSML modeli ve geliştirilen analiz yöntemi kullanılarak elde edilen Z0 karakteristik empedans sonuçları ($\beta=0$).....	89
Tablo 3.28: RSML modeli için en uygun parametre değerleri ve kural sayısı	91
Tablo 3.29: RSML modeli için en uygun komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri.....	91
Tablo 3.30: TSML modeli için en uygun parametre değerleri ve kural sayısı.	97
Tablo 3.31: TSML modeli için en uygun komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri.....	97

SEMBOL LİSTESİ

ϵ	:	Dielektrik sabiti
ϵ_0	:	Serbest uzay dielektrik sabiti
ϵ_r	:	Bağıl dielektrik sabiti
ϵ_{eff}	:	Efektif dielektrik sabiti
Z_0	:	Karakteristik empedans
β	:	Parlama açısı
r_α	:	Komşuluk yarıçapı
η	:	Sıkıştırma katsayısı
ϵ_{up}	:	Küme merkezi belirleme üst sınır değeri
ϵ_{down}	:	Küme merkezi belirleme alt sınır değeri

KISALTMALAR LİSTESİ

ACPW	: Asimetrik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu
ACPWUS	: Üst Kalkanlı Asimetrik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu
AVSML	: Asimetrik V-şekilli Mikro Kalkan Hattı
BCCPW	: İki Yanlı Alt ve Üst Korumalı Kuplajlı Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu
BCSL	: İki Yanlı Dielektrik Destekli Kuplajlı Şerit Hatlar
BCVCBCPW	: İki Yanlı Kuplajlı V şeklindeki İletken Destekli Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu
BÇS	: Bulanık Çıkarım Sistemi
CBACPW	: İletken Destekli Asimetrik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu
CBACPWUS	: İletken Destekli Üst Ekranlamalı Asimetrik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu
CBECCPW	: İletken Destekli Kenar Kuplajlı Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu
CPS	: Eş Düzlemsel Şerit Hatları
CPW	: Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu
ÇBK	: Çıkarımsal Bulanık Kümeleme
ECCPW	: Kenar Kuplajlı Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu
FCM	: Bulanık-C Kümeleme
KDT	: Konform Dönüşüm Tekniği
MIC	: Tek Parça Mikrodalga Tümeleşik Devre
MLCS	: Çok Katmanlı Kuplajlı İletim Hatları
MMIC	: Tek Parça Mikrodalga Tümeleşik Devre
MOM	: Moment Metodu
RSML	: Dikdörtgen Şekilli Mikro Kalkan Hattı
SCDCBDSML	: İki Yanlı Mikro Şerit Hatlar Arası Yarık-Kuplajlı Yönlü Kuplörler
SCSL	: Alt ve Üst Korumalı Kuplajlı Şerit Hatlar
SOM	: Kendisini Düzenleyen Haritalama
TSK	: Takagi-Sugeno-Kank
TSML	: Yamuk Şekilli Mikro Kalkan Hattı

ÖNSÖZ

Hem deneyimleri hem de bilgileri ile bana yol gösteren değerli hocalarım Prof. Dr. Ceyhun KARPUZ'a ve Doç. Dr. Ali Kürşat GÖRÜR'e, meslektaşım ve aynı zamanda doktora dönemi ortak çalışma arkadaşım Öğr. Gör. Mehmet URHAN'a, başta tez izleme komitesi hocalarımdan Prof. Dr. Sezai TOKAT ve Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÖZEK olmak üzere lisans ve lisansüstü tez çalışmalarım süresince bana maddi ve manevi destek olan tüm hocalarıma, her türlü desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen en değerli varlığım aileme ve tüm dostlarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

1. GİRİŞ

1.1 Mikrodalga Düzlemsel İletim Hatları

Mikrodalga devrelerindeki hızlı gelişmeler beraberinde pek çok düzlemsel iletim hattının kullanımına yol açmıştır. İletken kaplı iki dielektrik plaka arasına ince bir iletkenin sandviç şeklinde yerleştirilmesiyle (Barrett 1955) şerit hatlar tasarlanmıştır. Şerit hatlar, birbirlerine yakın konumlandırılmış iki şerit arasındaki doğal kuplajdan dolayı paralel hat kuplörlerinde kullanılmak için elverişli bulunmuş ve böylece kuplajlı hat ilkeleri ortaya konulmuştur (Wheeler 1952). Alt ve üst korumalı kuplajlı şerit hatları ile iki yanlı dielektrik destekli şerit hatlar ileriki yıllarda pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Cohn 1955, Bhat ve Soul 1989, Bhartia ve Pramanick 1988, Kumar 2004).

MIC (Microwave Integrated Circuit: Tek Parça Mikrodalga Tümüleşik Devre) ve MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit: Tek Parça Mikrodalga Tümüleşik Devre) teknolojisinde sıklıkla kullanılan mikrodalga düzlemsel iletim hatlarının temelini oluşturan sonsuz kalınlıktaki dielektrik tabana sahip CPW (Coplanar Waveguide (CPW): Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu), daha önce radar ve haberleşme sistemlerinde kullanılan manyetik devre elemanlarının, şerit ve mikro şerit iletim hatlarının yerine kullanılmaya başlanmıştır. CPW'ler, bir dielektrik tabanın yüzeyine aynı düzlem üzerinde bir merkez iletken ve bu iletkenin her iki yanına, iki yarıktan sonra yerleştirilmiş olan toprak düzlemlerinden meydana gelmektedir. CPW yapıları, quasi-TEM yayılım modunu desteklemektedir ve mikro şerit hatlara göre bazı avantajları bulunmaktadır (Wen 1969). Bu tip iletim hatları;

- İmalatı kolaylaştırır,
- Pasif ve aktif aygıtlara seri ve paralel olarak yüzey montajını basitleştirirler,
- Özel muhafaza içine alma ihtiyacı ortadan kalkar,
- Işıma kayıpları azaltılır,

- Geometrik boyutlar değiştirilerek sınırlama olmaksızın karakteristik empedans istenilen değerde ayarlanabilir,
- İki CPW paralel olarak irtibatlandırıldığında, işaret iletkenleri arasında toprak düzlemleri yer alacağından parazit etkiler oldukça azaltılır.

Tüm bu avantajlar sebebiyle CPW'ler, MIC ve MMIC'ler için oldukça elverişlidir. Bu nedenle ilerleyen yıllarda çeşitli boyutlarda ve yapıda CPW'ler geliştirilmiştir (Hanna ve Thebault 1984^a, Chang ve diğ. 1991, Bedair ve Wolff 1992, Kiang 1996, Su 1997, Fang 1999, Simons 2001).

İletim hatlarının en önemli karakteristik parametreleri, efektif dielektrik sabitleri ve karakteristik empedanslardır. İletim hatlarının analizinde kullanılan metotların ana hedefi, karakteristik empedansın ve yayılım sabitinin (faz hızı ve zayıflama sabiti) tespit edilmesidir. Bu metotlar, quasi-statik yaklaşım ve tam dalga analizleri olarak ikiye ayrılırlar (Kim 2004, Tomar ve diğ. 2005, Wu ve diğ. 1992, Ghione ve diğ. 1999, Ponchak ve Tentzeris 2002, Lo ve Tzuang 1999, Sharma ve Bhat 1983, Syahkal 1994, Wong ve diğ. 1997).

Quasi-statik metotları kapsayan birinci grupta, Modifiye Konform Dönüşüm Yöntemi (Modified Conformal Mapping Method), Fourier Dönüşüm Alanındaki Değişebilir Yöntem (Variational Method in Fourier Transform Domain), Sonlu Sınır Element Yöntemi (Finite Boundary Element Method) ve Konform Dönüşüm Tekniği (Conformal Mapping Technique) gibi metotlar bulunmaktadır. Bu yöntemlerin hepsinde, yayılım modu saf enine elektromanyetik (TEM) cinsinden dikkate alınarak hat parametreleri yapının elektrostatik kapasitesinden elde edilir. Yapılan analizler, düşük frekanslı devrelerin tasarımı için yeterlidir. Quasi-statik yöntemler transmisyon hattı parametrelerinin analizinde kolay olmalarına rağmen transmisyon hattının dağıtıcı yapısını dikkate almaz. İletim hattı bir TEM veya quasi-TEM modunu desteklemiyorsa bu tip yöntemlerin hatası artmaktadır (Kim 2004, Tomar ve diğ. 2005, Wu ve diğ. 1992, Ghione ve diğ. 1999).

İkinci gruptaki analiz yöntemleri ise Zaman Alanında Sonlu Farklar Metodu (Finite Difference Time Domain Method), İntegral Eşitlik Metodu (Integral Equation Method), Spektral Alan Analizi (Spectral Domain Analysis), Moment Metodu (Moment Method) ve Spektral Alan Galerkin Metodudur (Galerkin's Method in Spectral Domain). Bu analiz yöntemlerinde, yayılım modunun hibrit yapısı dikkate

alınır (Ponchak ve Tentzeris 2002, Lo ve Tzuang 1999, Sharma ve Bhat 1983, Syahkal 1994, Wong ve diğ. 1997).

Tam dalga analizlerde uygulanan teknikler daha zor ve karmaşıktır. Tam dalga analizi, hatların karakteristik parametrelerinin frekansa bağlı değişimi hakkında fikir verir. Tam dalga analizlerinin karmaşıklığından ötürü karakteristik empedans ve efektif dielektrik sabitinin frekansla değişimini çıkararak ve dağılım modelleri olarak bilinen pek çok yöntem geliştirilmiştir.

Birçok araştırmacı tarafından tasarlanan bu iletim hatlarının analizleri quasi-statik yöntemlerle veya frekans bağımlı tam dalga analizleri ile gerçekleştirilmektedir. Ancak her iki yaklaşımda dezavantajlarının bulunması daha kolay model ihtiyacını ortaya koymaktadır.

Bilinen bulanık mantık yaklaşımlarında (Mamdani, Sugeno, ...vb.) bulanık sistemi tasarlayan kişi (uzman kişi), model parametreleri arasındaki ilişkileri bilmektedir. İlgili konudaki bilgileri ve deneyimleri doğrultusunda, ilişkiler arasındaki kuralları oluşturarak bulanık modeli kurar. Böylece bulanık sistem kuralları ve sınırları, insan algısına uygun olarak ifade edilmektedir. Model parametrelerinin bulanık sistem üzerindeki etkisi yani üyelik dereceleri, uzman kişi tarafından tespit edilerek, sistemin modellenmesi gerçekleştirilmektedir.

İlgili yapılarda efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedans değerlerinin bulunması amacıyla bulanık mantık tabanlı modeller kullanılmıştır. Bu modellerde, giriş ile çıkış verilerine çıkarımsal kümeleme uygulanmasıyla kural ataması yapan algoritma hazırlanmıştır.

Küme merkezi tahminine dayalı bulanık model olarak adlandırılan bu metotta, veri toplulukları sınıflandırılarak, küme merkezleri belirlenmekte ve bu merkezlere bulanık kural ataması yapılmaktadır. Bu şekilde, büyük veri topluluklarının az sayıda kural ile tanımlanması amaçlanmaktadır. İşlem yoğunluğu verilere çıkarımsal kümeleme uygulanmasıyla azaltılmaktadır.

Küme merkezi tahminine dayalı bu yaklaşımda, veriler arası komşuluk ilişkisini ifade eden r sabiti, sistemi tasarlayan uzman kişi tarafından belirlenmektedir. Belirlenen küme merkezi sayısı r sabit değeriyle ters orantılı olarak değişir. r değerinin

küçük alınması durumunda, çok sayıda küme merkezi; r sayısının büyük alınması durumunda, az sayıda küme merkezi elde edilmektedir. Her iki durumunda sakıncaları bulunmaktadır. En uygun değerin belirlenmesi, sistemin başarılı olmasını sağlamaktadır. Potansiyel küme merkezleri olarak veri noktaları alınmakta ve küme merkezi sayısı, sınırlı sayıda veri noktası sayısına eşit tutulmaktadır. Böylece yöntemin hesaplama kapasitesi geliştirilmiştir. Bu tahmin algoritması lineer olmayan optimizasyon içermediği için hızlı çalışmaktadır. Buna ek olarak, hesaplama yoğunluğu problemin büyüklüğü ile doğrusal olarak artmaktadır. Bu yaklaşımın performansı diğer algoritmalar ile mukayese edildiğinde, karmaşık yöntemlerle yaklaşık doğrulukta sonuç verdiği görülmüştür.

Oluşturulan bulanık mantık modellerinden çıkarılan sonuçlar literatürde mevcut olan KDT (Konform Dönüşüm Tekniği) ile elde edilen sonuçlarla mukayese edilerek modellerin uygunluğu test edilmiştir. Ayrıca, bulanık modeller kurulurken eğitilecek verilerin olabildiğince mantıklı olması sağlanarak hata oranı düşük basit yapıda modeller oluşturulması amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Özeti

Yüksek hıza sahip elektronik sistemler, 100 GHz ve üstü frekanslarda başarılı bir şekilde çalışmaktadır (Ho ve diğ. 1991, Ahmari ve diğ. 1996, Gill ve diğ. 1996). Yüksek frekanslarda, sinyalin doğruluğunu yitirmeden aktarılması amacıyla devre elemanlarının birleştirilmesi ve sinyal dağıtımı için düzlemsel iletim hatlarının kullanılması gerekmektedir. İletim hattı olarak faydalanan bu yapılar içerisinde CPW'ler ve CPS'ler (Eş Düzlemsel Şerit Hatları) üretim yöntemleriyle uyumlu olmaları ve elektronik devrelerle birlikte kullanılabilir olmalarından ötürü popüler hale gelmişlerdir (Jackson 1986, Majidi-Ahy ve diğ. 1990, Riaziat ve diğ. 1990).

MMIC tasarımı için kullanılan mikrodalga iletim hatları, sağladıkları avantajlardan dolayı, literatürde pek çok araştırmacı tarafından incelenmiş çeşitli geometrik ebatlarda üretimi ve analizleri gerçekleştirilmiştir (Kim 2004, Tomar ve diğ. 2005, Wu ve diğ. 1992, Ghione ve diğ. 1999, Ponchak ve Tentzeris 2002, Lo ve Tzuang 1999, Sharma ve Bhat 1983, Syahkal 1994, Wong ve diğ. 1997). Bununla birlikte bu iletim hatlarının karakteristik parametrelerini tespit eden analitik

yaklaşımların ve tasarlanan CAD modellerin gelişimi bu çalışma alanına olan ilgiyi artırmıştır.

MMIC teknolojisinde sıklıkla kullanılmaya başlanan iletim hatlarının temelini oluşturan sonsuz kalınlıktaki dielektrik tabana sahip CPW'lerin analizi ilk olarak Wen tarafından KDT (Konform Dönüşüm Tekniği) uygulanarak gerçekleştirilmiştir (Wen 1969). MMIC uygulamaları için elverişli bir yapıya sahip olmalarından ötürü çok sayıda CPW yapısı tanıtılmıştır (Hanna ve Thebault 1984^a, Chang ve diğ. 1991, Bedair and Wolff 1992, Kiang 1996, Su and Wong 1997, Fang and Wang 1999, Simons 2001). Kenar kuplajlı CPW'ler ilk olarak Hanna ve Thebault tarafından incelenmiştir (Hanna ve Thebault 1984^b). İlerleyen yıllarda pek çok kuplajlı iletim hattı yapısı tanıtılmış ve analizleri gerçekleştirilmiştir (Tanaka ve diğ. 1989, Wong ve diğ. 1991, Gillick ve diğ. 1993^a, Wolff 2006). İki yanlı mikro şerit hatlar arasına yerleştirilmiş yarık-kuplajlı yönlü kuplörler tanıtılmış ve quasi-statik analizleri gerçekleştirilmiştir (Tanaka ve diğ. 1989, Wong ve diğ. 1991). İki yanlı kuplajlı iletim hatlarının geniş banda ve dar kuplajlama özelliklerine sahip olması, ayrıca tek-mod ve çift-mod faz hızları arasında çok büyük oran bulundurması sebebiyle kullanım alanları yaygınlaşmıştır (Dalley 1969, Allen ve Estes 1972, Hatsuda 1975, Bedair ve Wolff 1989, Nguyen 1992, Nguyen 1993, Hong ve diğ. 1997, Wang ve Wu 1999, Wang ve diğ. 2000, Karpuz ve diğ. 2000). CPW'nin iki yanlı kuplajlı yapılarda kullanılması MMIC uygulamaları için pek çok faydayı beraberinde getirmiştir. Harici şönt elemanlar gibi aktif devre elemanları ile irtibatın kolaylaşması, RF ölçümlerinde kolay ve doğru sonuçlara ulaşılması, hattan hatta iyi bir yalıtım sağlanması bu faydalar arasında sayılabilir. İki yanlı iletim hatlarının daha sonraki yıllarda pek çok farklı yapısı tanıtılmış ve analizleri gerçekleştirilmiştir. Öncelikle dielektrik katman içerisindeki iki yanlı kuplajlı şerit hatları incelenmiştir (Allen ve Estes 1972). Simetrik iki yanlı CPW'ler tanıtılmış ve sonlu farklar metodu kullanılarak analizleri gerçekleştirilmiştir (Hatsuda 1975). İki yanlı kuplajlı CPW'lerin quasi-statik parametreleri KDT kullanılarak hesaplanmıştır (Bedair ve Wolff 1989). Daha sonra iki yanlı kuplajlı CPW yapısında değişiklik yapılarak bant geçiren filtre tasarlanmıştır (Nguyen 1992). İki yanlı kuplajlı CPW'lerin dağılım özelliklerini belirleyen pek çok çalışma da tanıtılmıştır (Nguyen 1993, Hong ve diğ. 1997, Wang ve Wu 1999, Wang ve diğ. 2000). KDT kullanılarak iki yanlı kuplajlı V şeklindeki mikro ekranlı CPW'lerin karakteristik parametreleri elde edilmiştir (Karpuz ve diğ. 2000). Elde

edilen analitik formüller bu yapıyla birlikte diğer iki yanlı kuplajlı CPW'lerin analizlerinde de kullanılabilir. İki yanlı CPS'ler de konvansiyonel CPW'lerin bütün avantajlarına sahiptir. İki yanlı CPS'lerin analizi Moment Metodu (MOM) uygulanarak gerçekleştirilmiştir (Lee 1991).

İletim hatlarının analizinde frekans bağımlı tam dalga analizleri veya Konform dönüşüm tekniği (KDT) gibi quasi-statik yaklaşımlar kullanılmaktadır. KDT ile yapılan analizlerde, yapının karakteristik parametrelerini veren kapalı formdaki eşitliklerin elde edilebilmesi için iletim hatlarının bir takım düzlem dönüşümleri ile paralel plakalı kondansatöre dönüştürülerek birim uzunluk başına toplam kapasite değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ancak, bu düzlemsel dönüşümler uzman kişilerce gerçekleştirilebilecek seviyededir ve belirli bir hata oranına sahip yaklaşık çözüm ile elde edilebilen eliptik integraller içermektedir (Hilberg 1969). Dolayısıyla elde edilen eşitliklerde düzlemsel dönüşümler için uzmanlık bilgisine gereksinim duyulması KDT'nin dezavantajıdır. Frekans bağımlı çözümlerde ise, yapıların karakteristik parametrelerinin bulunmasında hesaplama süresinin uzun olması, sağlam bir teorik bilgi birikimi gerektirmesi ve pahalı paket programlara gereksinim duyulması gibi dezavantajlar vardır. Bu nedenle hata oranı düşük olan basit modellemelere gereksinim duyulmaktadır.

Bulanık sistemler, Mamdani ve Assilian tarafından gerçekleştirilen gerçek bir kontrol uygulaması sayesinde dünyadaki birçok araştırma merkezinde popüler hale gelmiştir (Mamdani ve Assilian 1975). Bu araştırmacılar, ilk kez bir buhar makinesi kontrolünü bulanık sistem modellemesi ile gerçekleştirmiştir. Bu çalışma, bulanık sistemlerle çalışmanın ne kadar kolay ve sonuçlarının ne kadar etkili olduğunu göstermiştir. Sonraki yıllarda, Holmblad ve Östergaard, bulanık sistem uygulamasını bir çimento fabrikasının işletilmesi için gerçekleştirdiğinde, bulanık sistemler birçok ülkede kullanılmaya başlanmıştır (Şen 2001).

Günümüzde bulanık çıkarım sistemi olarak geliştirilen bu sistemlerin temelini Takagi, Sugeno ile Sugeno, Kang tarafından tanıtılan ve Takagi, Sugeno, Kang bulanık sistemi olarak adlandırılan sistem oluşturmaktadır (Takagi ve Sugeno 1985, Sugeno ve Kang 1988). Bu sistemde genel bilgi tabanındaki girişler, birer sayı ve bulanık kural, çıkarım motorunun uygulanması sonunda elde edilen çıkışlar ise girişlerin bir fonksiyonu şeklindedir. Sonuç olarak, kural tabanındaki öncül bölümlerin değişkenleri

olduğu gibi 'İSE' den sonraki kural soncul bölümüne, bu değişkenlerin birer doğrusal fonksiyonu olarak aktarılmaktadır.

Sayısal verilerin kümelenmesi, birçok sınıflandırma ve sistem modelleme algoritmalarının esasını oluşturmaktadır. Kümelemenin amacı, büyük veri topluluklarını sınıflandırarak, sistemin davranışını sade bir şekilde ifade etmektir. Bunlardan biri olan Bulanık-C Kümeleme (FCM) kümeleme algoritması daha önce pek çok araştırmada yaygın bir şekilde çalışılmıştır (Bezdek ve diğ. 2005, Yu 2005).

Küme sayıları ve kümelerin merkezlerinin belirlenmesi için Yager ve Filev, sade ve etkili bir algoritma olan Mountain metodunu tanıtmışlardır. Hazırlanan yöntem, veri uzayı içerisinde bir ağ şebekesi kurularak, ağ noktalarının tespit edilmesini ve bu ağ noktalarının, gerçek veri noktalarına olan mesafelerine göre potansiyel değerlerinin elde edilmesine dayanmaktadır (Yager ve Filev 1994^a).

Bu çalışmada Mountain metodunun iyileştirilmiş hali olan çıkarımsal kümeleme tabanlı bulanık modelleme kullanılmıştır. Potansiyel küme merkezleri olarak ağ noktaları yerine veri noktaları konularak, ağ nokta sayısı, veri nokta sayısına eşitlenmiştir. Bu yöntemin uygulanması sonucunda, ağ noktalarına dayalı hesaplamaya gerek kalmamaktadır. Bu şekilde yöntem çok daha etkin hesaplama yapmaktadır (Chiu 1994, Miraftab ve Mansour 2004).

1.3 Tezin Hedefleri

Mikrodalga düzlemsel iletim hatlarının küme tahmini üzerine kurulu bulanık mantık modeli vasıtasıyla elektriksel parametrelerinin bulunması literatürde ilk kez gerçekleştirilmiştir. Elde edilecek bulanık modellerin, basit yapıda olması, kabul edilebilir doğrulukta sonuç üretebilmesi, karmaşık matematiksel ifadeler gerektirmemesi ve hızlı sonuç üretmesi mevcut çalışmanın üstün yönlerini oluşturmaktadır. Karakteristik parametrelerin hesaplama süresi azaltılarak bilgisayar destekli mikrodalga iletim hattı tasarımında bulanık mantık algoritmalarının etkin bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir. Bulanık modeller söz konusu iletim ortamlarının karakteristik parametrelerini yüksek doğrulukla tahmin etme yeteneğine sahip olduğundan mikrodalga düzlemsel iletim hatlarının modellenmesinde etkili alternatif bir model olarak kullanılabilecektir.

Bütün bulanık mantık uygulamalarında olduğu gibi mikrodalga düzlemsel iletim hatlarının bulanık mantık ile modellenmesinde de problemin tam olarak tanımlanması ve uygun eğitim ve test veri setlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu durum modelin amacına uygun olarak kullanılabilmesi için son derece önemlidir. Model için yapılan sınırlamaların sayısı belli bir değerde tutularak tasarlanan modelin performansı artırılacaktır. Özetle, sunulacak olan bulanık model yaklaşımı; pratikte yaygın olarak kullanılmakta olan dielektrik taban malzemelerinin ve iletim hatlarının fiziksel boyutlarının karakteristik parametrelere olan etkilerini ortaya koyacaktır. Model parametrelerinin sonuç denklemleri içerisinde optimize edilmesi sayesinde düzlemsel iletim hatlarının karakteristik parametreleri kolayca bulunabilecek ve sonuçların doğruluğu teorik model ve/veya deneysel ölçüm sonuçlarıyla mukayese edilebilir düzeyde olacaktır.

Hazırlanacak olan bulanık model geometrik boyutlar, bağıl dielektrik sabiti gibi giriş parametreleri arasındaki ilişkileri net bir biçimde ortaya koyarak yeni düzlemsel yapıların tasarımında temel oluşturacaktır.

Mevcut çalışmada,

- Asimetrik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu (ACPW),
- İletken Destekli Asimetrik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu (CBACPW),
- Üst Kalkanlı Asimetrik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu (ACPWUS),
- İletken Destekli Üst Ekranlamalı Asimetrik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu (CBACPWUS),
- Kenar Kuplajlı Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu (ECCPW),
- İletken Destekli Kenar Kuplajlı Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu (CBECCPW),
- İki Yanlı Alt ve Üst Korunmalı Kuplajlı Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu (BCCPW),
- İki Yanlı Kuplajlı V şeklindeki İletken Destekli Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu (BCVCBCPW),

- İki Yanlı Mikro Şerit Hatlar Arası Yarık-Kuplajlı Yönlü Kuplörler (SCDCBDSML),
- Çok Katmanlı Kuplajlı İletim Hatları (MLCS),
- Alt ve Üst Korumalı Kuplajlı Şerit Hatlar (SCSL),
- İki Yanlı Dielektrik Destekli Kuplajlı Şerit Hatlar (BCSL),
- Asimetrik V-şekilli Mikro Kalkan Hattı (AVSML),
- Dikdörtgen Şekilli Mikro Kalkan Hattı (RSML),
- Yamuk Şekilli Mikro Kalkan Hattı (TSML),

gibi farklı geometrik boyutlardaki iletim hatları küme tahmini üzerine kurulu bulanık mantık modeliyle hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürde mevcut olan sonuçlarla karşılaştırılarak modellerin performansı değerlendirilmiştir.

2. BULANIK MANTIK MODELLEME

Mühendislik uygulamalarında incelenen sistemin en önemli özelliklerinin belirlenmesi ve en yaklaşık modellemenin yapılması istenir. Bulanık mantık yöntemleri de aynı amaçla kullanılmakta ve kolay çözüm sunan modeller elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu açıdan bulanık sistemler teorik yaklaşımlardan bağımsız bir çözüm yöntemini temsil etmektedir. Günümüzde uzmanlık gerektiren sistem çözümlerinde bulanık mantık modelleme sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun nedeni, bulanık modellemenin sistem özellikleri hakkında bilgi sahibi olunmasına gerek kalmadan probleme ilişkin gerekli parametreleri kullanmak suretiyle istenilen çıktıların elde edilmesine imkan tanınmasıdır.

Bu bölümde bulanık mantık modellemenin esaslarına değinilerek gerekli kavramlar kısaca açıklanmıştır. Nihayetinde tez kapsamındaki iletim hatlarının bulanık model kurulumunda kullanılan Çıkarımsal Bulanık Kümeleme (ÇBK) yöntemi tanıtılarak adım adım modelleme aşamaları gösterilmiştir.

2.1 Bulanık Sistemler

Bulanık küme teorisi ilk olarak Zadeh tarafından tanıtılmıştır (Zadeh 1965). Zadeh, bulanık küme teorisini belirsizliği matematiksel olarak ifade etmenin yolu olarak açıklamıştır. Klasik mantıkta kümeler bir elemanın bir kümeye ait olması ya da ait olmaması şeklinde net olarak ifade edilir. Zadeh'in tanıttığı bulanık küme teorisinde ise kümenin her bir elemanına "0" ile "1" arasında bir üyelik değeri atanmaktadır. "0" elemanın kümeye hiç ait olmadığı anlamına gelirken, "1" ise elemanın tamamen o kümeye ait olduğu anlamındadır. Bulanık mantık, sayısal verileri dilsel kurallar olarak yorumlar ve çıkardığı kuralları daha sonra sistemin çıkış değerlerini bulmak için bir tür sistem tanımlama olarak kullanır. Sayısal verilerden bulanık kümeler oluşturma prosedürü "bulanıklaştırma", çıkış bulanık kümelerinden bazı dil kurallarına dayalı olarak çıkış değerlerinin hesaplanması işlemi ise "durulaştırma" olarak adlandırılmaktadır (Miraftab ve Mansour 2002). Bu prosedürlere ilişkin detaylar (Zadeh 1965) ve (Wang ve Mendel) referanslarında verilmektedir.

Çoğu gerçek hayat kontrol ve ayarlama problemi için tasarım, değerlendirme, gerçekleştirme vb. ile ilgili tüm bilgiler matematiksel modellerden veya ölçümlerden elde edilen sayısal veriler ve uzman kişilerden elde edilen dilsel ifadeler şeklinde iki tipte sınıflandırılmaktadır. Güncel akıllı kontrol yaklaşımları, sayısal verileri kullanarak standart işleme yöntemlerini uzman sistemlerle birleştirir. Bulanık mantık teorisi de bu yaklaşımlardan biridir ve uzman bilgilerini kontrol ve ayarlama problemine dahil etmemizi sağlar (Miraftab ve Mansour 2002).

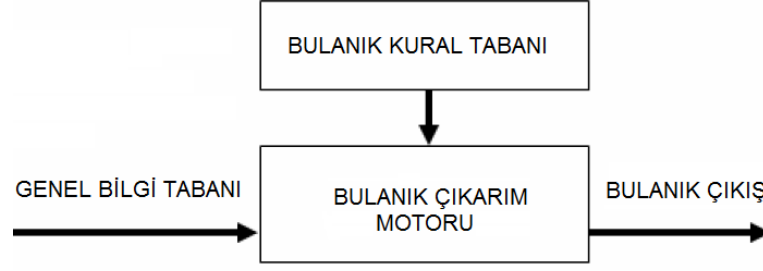
Genel olarak bulanık sistemler, bir giriş veri vektörünü doğrusal olmayan eşleme ile skaler bir çıkışa dönüştürmektedir. Eğer bir çıkış vektörü varsa, bulanık sistem bunu bağımsız çok girişli/tek çıkışlı sistemlerin bir koleksiyonu şeklinde ayırabilir. Dolayısıyla bulanık sistem bir fonksiyon belirleyici olarak tanımlanabilir (Miraftab ve Mansour 2002). Bulanık sistemlerde tüm sayısal ve sözel bilgiler çözüm algoritmasına dahil edilerek, sistemin kontrolü altında anlamlı çözümlere varılır. Bu tür sistemlerin en büyük faydası, uzman kişilerin de verdiği bilgileri işleyerek probleme ilişkin sözel bilgileri sayısal hale dönüştürmesidir (Şen 2001).

Bulanık sistemlere örnek olarak bir kişinin araba sürmeyi öğrenmesinde kullanılan dilsel ifadeler verilebilir. Sürücü adayına göstergedeki hız belli bir kilometreye varınca gaza, belli bir miktar bas demektense, bunun yerine;

'EĞER hız düşük İSE gaza fazla bas' veya

'EĞER hız yüksek İSE gaza az bas' şeklinde kurallar sözlü olarak aktarılabilir. Bu kurallardaki düşük, orta ve yüksek ifadeleri, sürücüler için belirli bir aralıktaki sayısal değerleri temsil etmektedir. Temsil edilen bu değerler topluluğu, o kelimeyi ifade eden küme olarak adlandırılır. Bulanık kümenin her elemanı aynı önem derecesine sahip değildir, ancak bazı küme değerleri, diğerlerine göre önceliklidir. 'EĞER İSE' kurallarında 'EĞER' ile 'İSE' ifadeleri arasında kalan kısımlar öncül ve 'İSE' ifadesinden sonra olan kısımlar soncul veya kural çıkarımı olarak adlandırılmaktadır.

Bulanık sistemler Şekil 2.1'de gösterildiği gibi birbiriyle bağlantılı dört birimden oluşmaktadır. Bu birimler birbiriyle ilişkili farklı görevlere sahip yapılarıdır.

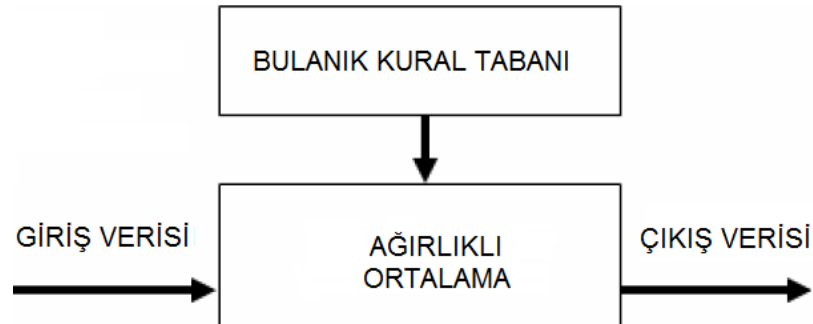


Şekil 2.1: Genel bulanık sistem.

Genel bulanık sistemin genel bilgi tabanı birimi girişteki sayısal veya sözel bilgileri temsil etmektedir. Bulanık kural tabanı birimi ise girişleri çıkışlara bağlayan ‘EĞER İSE’ şeklindeki kuralların tamamını içerir. Bulanık çıkarım motoru birimi her bir kuralın çıkarımlarını bir araya getirerek sistemin tek çıkış vermesini sağlayan işlemler topluluğunu kapsar. Bulanık çıkış birimi ise girişlerin bulanık kural tabanına bağlı olarak bulanık çıkarım motorunda işlenmesi sonucu elde edilen çıkışları temsil eder. Genel bulanık sistemde genel bilgi tabanı ve çıkış bulanık değere sahiptir.

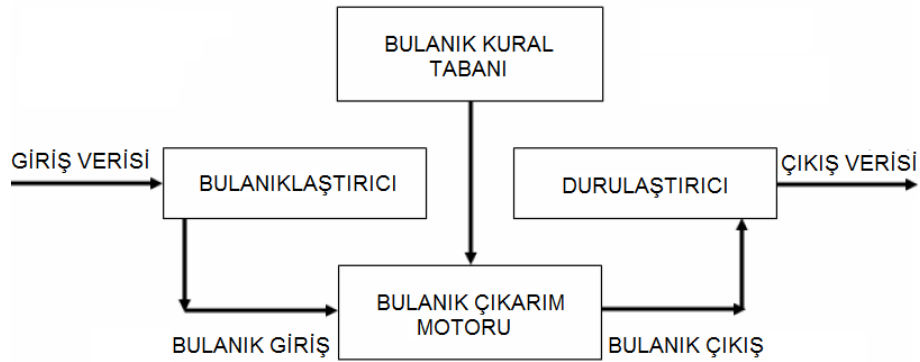
Genel bulanık sistemin eksikliklerinin önüne geçmek amacıyla Takagi, Sugeno (Takagi ve Sugeno 1985) ve Sugeno, Kank tarafından sunulan (Sugeno ve Kank 1988) TSK (Takagi-Sugeno-Kank) adı verilen bulanık çıkarım sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemde çıkışlar girişlerin bir fonksiyonu şeklindedir. Örneğin, 3 tane öncül değişken (x_1, x_2, x_3) bulunması durumunda çıkış değişkeni y aşağıdaki gibi bir kuralda

‘EĞER’ x_1 az ve x_2 orta ve x_3 çok ‘İSE’ çıkış $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3$ şeklinde elde edilir. Bu tip bir bulanık sistemde çıkışlar bulanık olmadığından Şekil 2.2’de gösterildiği gibi her bir kuralın öncül kısmından elde edilen üyelik dereceleri ağırlık olacak şekilde ağırlıklı ortalama birimi kullanılır.



Şekil 2.2: TSK bulanık sistemi.

Ancak, TSK bulanık sistemi bu haliyle sakıncalıdır. ‘İSE’ kısmından sonra matematiksel bir ilişki bulunması gerektiğinden, kuralların soncul kısımları sözel bilgileri modelleyememekte ve giriş ile çıkış değişkenleri arasında yazılabilecek tüm kurallar yazılamamaktadır. Bu sakıncaların önüne geçmek amacıyla Şekil 2.3’de gösterildiği gibi girdi ile çıktı birimlerinde sırasıyla bulanıklaştırma ve durulaştırma işlemleri gerçekleşir. Bu sistemde bulanıklaştırıcı birimi ile sayısal girişlerin bulanıklaştırılması sağlanmakta ve durulaştırıcı birim ile bulanık olan çıkışlar sayısal hale getirilmektedir. Böylece TSK bulanık sisteminde görülen tüm sakıncalar ortadan kaldırılır (Şen 2001).



Şekil 2.3: Bulanıklaştırma-Durulaştırma birimli bulanık sistem.

Bu tip bir bulanık sistemde doğrusal olmayan giriş değişkenleri, çıkış değişkenine dönüştürülerek, sistem davranışı tespit edilebilmektedir. Böylece, genel bilgi tabanı doğrusal olmayan dönüşümlere tabi tutularak, sistem kontrol altına alınabilir ve istenilen sonuçlara ulaşılabilir. Bu sistem aynı zamanda BÇS (Bulanık Çıkarım Sistemi) olarak adlandırılır.

2.2 Kümeleme Kavramı ve Yöntemleri

Veri kümeleme, büyük veri yığınlarındaki benzerlikleri bulma ve veriyi gruplara ayırmak için kullanılan bir yaklaşımdır. Bir grup içindeki benzerliğin gruplar arasındaki benzerlikten daha büyük olması için, veri kümesinin pek çok gruba ayrılması işlemidir. Bu grupları çıkarmak ve kategorize etmek için birçok yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler “veri kümeleme yöntemleri” olarak isimlendirilir. Kümeleme algoritmaları veriyi kategorize etmenin yanı sıra veri sıkıştırma ve model

kurulum işlemleri için de kullanılabilir. Veri grupları belirlenebilirse, bu gruplara bağlı olarak problemin çözümü için bir model kurulabilir (Yu 2005).

Veri kümeleme, makine öğrenimi, istatistik ve örüntü tanıma gibi birçok alanda sıklıkla kullanılan bir tekniktir. Kümeleme analizi sayesinde verilerin yüksek benzerlikte gruplandırılması gerçekleştirilir ve farklı verilerin ayrık kümelerde tutulmasıyla birbirinden ayrılan veri kümeleri sistem modellemede kullanılabilir (Demirli ve diğ. 2003). Kümeleme algoritmaları tipik olarak kullanıcının küme merkezlerinin sayısını ve başlangıç konumlarını önceden belirlemesini gerektirir. Küme merkezlerinin konumları, daha sonra küme merkezlerinin veri davranışı aralığını kapsayan bir dizi prototip veri noktasını temsil edebilecek şekilde uyarlanır (Chiu 1997). FCM (Bulanık C-Kümeleme) ve SOM (Kendisini Düzenleyen Haritalama) çözümlerinin doğruluğu çoğu doğrusal olmayan optimizasyon probleminde olduğu gibi, büyük oranda küme merkezi sayısı ve onların başlangıç konumları gibi başlangıç değerlerinin seçimine bağlıdır (Bezdek 1981, Kohonen 1990).

Yager ve Filev (Yager ve Filev 1994^b), küme merkezlerinin sayısını ve ilk konumunu tahmin etmek için “mountain” metodu olarak adlandırılan etkili bir algoritma önermiştir. Yöntemleri, veri uzayının kafeslenmesine ve gerçek veri noktalarına olan uzaklığa dayalı olarak her bir ağ noktası için potansiyel bir değerin hesaplanmasına dayanmaktadır. Yakınlarda birçok veri potansiyeline sahip ağ noktası ilk küme merkezi olarak seçilir. İlk küme merkezi seçildiğinde, tüm ağ noktalarının potansiyeli küme merkezine olan uzaklığa göre azaltılmaktadır. İlk küme merkezinin yakınındaki ağ noktalarının potansiyeli büyük ölçüde azaltılır. Bir sonraki küme merkezi geriye kalan en yüksek potansiyel değere sahip ağ noktasına yerleştirilir. Yeni küme merkezi edinme ve çevreleyen ağ noktalarının potansiyelini azaltma prosedürü, tüm ağ noktalarının potansiyeli bir eşğin altına düşene kadar tekrarlanır. Bu yöntem etkili olmasına rağmen, problemin boyutuyla birlikte hesaplama yoğunluğu katlanarak büyür (Chiu 1997).

(Chiu 1994), Yager ve Filev'in “mountain” metodunun genişletilmiş versiyonu olan ÇBK yöntemini önermiştir. Burada ağ noktası yerine her bir veri noktası küme merkezi olarak kabul edilir. Bu yöntem kullanıldığı takdirde değerlendirilecek etkin ağ noktalarının sayısı, problemin boyutundan bağımsız olarak veri noktalarının

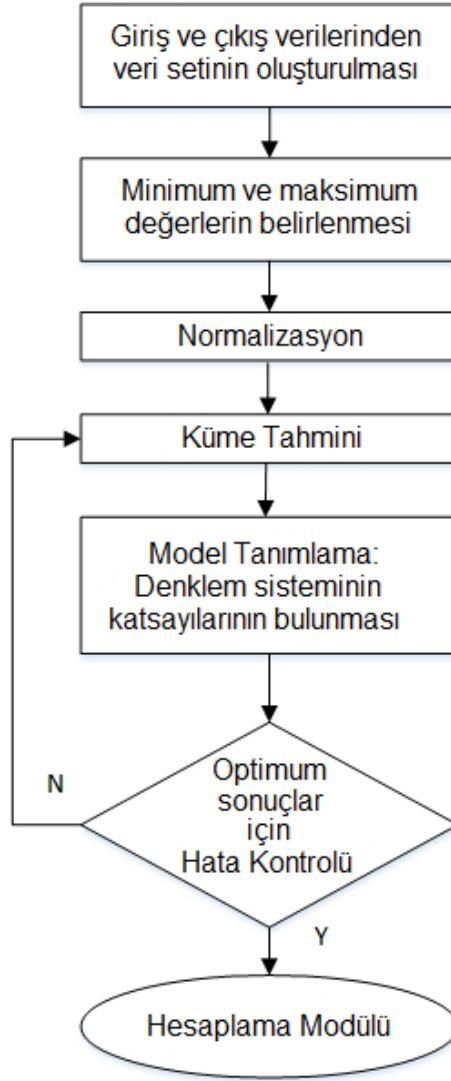
sayısına eşittir. Bu yöntemin bir diğer avantajı, doğruluk ve hesaplama karmaşıklığı arasındaki değiş tokuşun dikkate alınması gerektiği durumda ağ çözünürlüğü belirleme ihtiyacını ortadan kaldırmasıdır. ÇBK yöntemi aynı zamanda “mountain” metodundaki küme merkezlerini kabul etme ve reddetme kriterinin de genişletilmiş bir versiyonunu kullanmaktadır (Chiu 1997). Sonraki bölümde tez çalışması kapsamında kullanılan ÇBK yönteminin küme merkezi tahmini ve bulanık model tanımlama aşamaları açıklanacaktır.

2.3 Çıkarımsal Kümeleme Tabanlı Bulanık Mantık Modellemesi

Mevcut çalışmada düzlemsel iletim hatlarının karakteristik parametrelerini hesaplamak amacıyla ÇBK yöntemine dayalı bulanık mantık model kurulumları gerçekleştirilmiştir. Bulanık model kurulumu iki farklı adımdan oluşmaktadır. Öncelikle bulanık kuralları temsil eden küme merkezleri bulunmaktadır. Daha sonra bu kurallardan hareketle model tanımı yapılarak BÇS'nin optimize edilmesi ile yöntem sonlandırılmaktadır.

2.3.1 Küme Tahmini

Büyük veri kümelerindeki benzer veri grupları belirlenebilirse, bu gruplara dayalı olarak problemin çözümüne yönelik bir model oluşturulabilmektedir. ÇBK, bu benzer grupları otomatik olarak tanımlayarak bulanık kural ataması yapan bir yöntemdir. ÇBK kullanılarak, sistem davranışının basit ve net bir açıklaması elde edilir. ÇBK, veri grupları arasındaki mesafeyi göz önünde bulundurarak veri kümesini temsil eden en uygun küme merkezlerini belirler. ÇBK algoritmasının akış diyagramı Şekil 2.4'de verilmektedir.



Şekil 2.4: ÇBK akış diyagramı.

ÇBK uygulanmadan önce, KDT kullanılarak küme merkezlerini tanımlamak için ilgili düzlemsel iletim hattı yapısından giriş ve çıkış veri çiftleri düzenlenir. Kurulacak bulanık sistem için veri seti (2.1) eşitliğindeki gibi elde edilir:

$$\begin{aligned}
 & (x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \dots, x_p^{(1)}; y_1^{(1)}, y_2^{(1)}, \dots, y_q^{(1)}) \\
 & (x_1^{(2)}, x_2^{(2)}, \dots, x_p^{(2)}; y_1^{(2)}, y_2^{(2)}, \dots, y_q^{(2)}) \\
 & \dots \\
 & (x_1^{(n)}, x_2^{(n)}, \dots, x_p^{(n)}; y_1^{(n)}, y_2^{(n)}, \dots, y_q^{(n)})
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Burada p adet iletim hattına özgü parametre ve q adet karakteristik parametre ile n adet veri çiftine sahip bulanık bir sistem oluşturulmuştur. Düzlemsel iletim hattına ait bilgi içeren bu veri kümesinde her bir veri çifti $p + q$ değişkene sahip z_i vektörüyle

gösterilir. Bu vektörün ilk p adet kısmı giriş değişkenlerini ve son q adet kısmı çıkış değişkenlerini temsil etmektedir. Algoritma bu veri kümesinin (2.2) eşitliğindeki gibi normalize edilmesiyle başlar.

$$x_{ij} = \frac{z_{ij} - \min_i(z_{ij})}{\max_i(z_{ij}) - \min_i(z_{ij})} \quad (2.2)$$

X_i 'nin i . veri çifti için normalize değerleri tutan vektör olduğunu varsayalım. Bütün veri çiftleri arasındaki ölçekli mesafe (2.3) eşitliğindeki gibi bulunur.

$$d(X_i, X_l) = \left(\sum_{j=1}^m \frac{(x_{ij} - x_{lj})^2}{r_j^2} \right)^{1/2} \quad (2.3)$$

Burada r_j her bir değişkenin aralık etkisidir ve j . değişkenin yarıçapı olarak adlandırılır. Her bir veri noktası için başlangıç potansiyeli (2.4) eşitliğindeki gibi hesaplanır.

$$P^{(1)}(X_i) = \sum_{l=1}^n e^{-\alpha d(X_i, X_l)} \quad (2.4)$$

Bu formülde α (2.5) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$\alpha = \frac{4}{r_a^2} \quad (2.5)$$

Burada r_a pozitif bir sabittir. İlk küme merkezi başlangıç potansiyeli formülünde bulunan maksimum potansiyel değerine göre (2.6) eşitliğindeki gibi belirlenir.

$$P^{(1)*} = \max_i(P^{(1)}(X_i)) \quad (2.6)$$

İlk küme merkezi $X^{(1)*}$ dir. Maksimum başlangıç potansiyel değeri ile birlikte bir veri çiftidir. Yukarıdaki formülden (2.7) eşitliği elde edilebilir.

$$P^{(1)*} = P^{(1)}(X^{(1)*}) \quad (2.7)$$

Bir sonraki küme merkezini bulmamız için bir öncekinin etkisini elememiz gerekir. Genelde önceki küme merkezi, yüksek potansiyele sahip belli sayıda veri çiftiyle çevrilidir.

Bu etkiyi yok etmek düşüncesiyle kalan veri çiftleri için potansiyel formülü (2.8) eşitliğindeki gibi düzenlenir.

$$P^{(k)}(X_i) = P^{(k-1)}(X_i) - P^{(k-1)*} \cdot e^{-\beta d(X^{(k-1)*}, X_i)} \quad (2.8)$$

Bu formülde β (2.9) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$\beta = \frac{4}{r_b^2} \quad (2.9)$$

Burada r_b bir diğer sabittir. Birbirine çok yakın küme merkezleri elde etmekten kaçınmak için r_b değeri r_a 'dan büyük seçilir ve (2.10) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$r_b = \gamma r_a \quad (2.10)$$

Burada γ sıkıştırma katsayısıdır. Bulanık model tasarımındaki bir diğer parametredir. Son potansiyel formülüne göre elde edilen $X^{(k)*}$ k . küme merkezidir. Bu veri noktasındaki potansiyel ile birlikte bir veri çiftidir ve (2.11) eşitliğindeki gibi ifade edilir.

$$P^{(k)*} = P^{(k)}(X^{(k)*}) \quad (2.11)$$

Yeni küme merkezi belirleme ve potansiyelleri yenileme işlemi Yager ve Filev'in yaklaşımına göre aşağıdaki (2.12) eşitliğini sağlayıncaya kadar devam eder (Yager ve Filev 1994^b). Burada ε ufak bir sabittir.

$$P^{(k)*} < \varepsilon P^{(1)*} \quad (2.12)$$

ε sabitinin seçimi sonuçlara etki etmesi açısından önemlidir. Eğer ε değeri büyük seçilirse, az sayıda küme merkezi belirlenir. Küçük seçilmesi durumunda çok sayıda küme merkezi oluşturulur. Bu değer in seçiminde farklı sonuçlar doğabileceğinden ötürü, yeni bir kriter geliştirilmiştir (Chiu 1994):

- Eğer, $P^{(k)*} > \varepsilon P^{(1)*}$ ise $X^{(k)*}$ küme merkezi kabul edilir ve işleme devam edilir.

- Aksi takdirde eğer, $P^{(k)*} < \underline{\varepsilon} P^{(1)*}$ ise $X^{(k)*}$ yı reddet ve kümeleme işlemini bitir.
- Başka, $d_{\min} = X^{(k)*}$ ve bundan önceki tüm küme merkezleri arasındaki en kısa mesafe olmak üzere
- eğer $\frac{d_{\min}}{r_a} + \frac{P^{(k)*}}{P^{(1)*}} \geq 1$ ise $X^{(k)*}$ küme merkezi kabul edilir ve işleme devam edilir.
- aksi takdirde $X^{(k)*}$ küme merkezi olarak edilmez ve potansiyel değeri 0'a eşitlenir.
- En yüksek değerli diğer veri noktası yeni $X^{(k)*}$ olarak seçilir ve tekrar test edilir.
- Bitiş.

Yukarıdaki algoritma küme merkezlerini kabul etmek veya reddetmek için kriter olarak kullanılır. Formüllerde $\underline{\varepsilon}$, kabul edilecek potansiyel sınır değeridir. $\underline{\varepsilon}$, küme merkezi tayini için incelenen veri noktasının, kabul görmeyecek potansiyel sınır değeridir. Bu kriter aracılığıyla yeni küme merkezi elde etme işlemi sona erdirilir.

2.3.2 Model Tanımlama

Bulanık model tanımı, BÇS üzerine kuruludur. Bulanık sistem öncül ve soncul kısımlardan oluşmaktadır. EĞER-İSE mantıksal ilişkileri bulanık kuralların temelini oluşturur. Bulanık kuralların sonuçları artık bulanık kümeler değil; matematik fonksiyonlardır. Bu tip sistemlerin en çok kullanılanları lineer fonksiyon içeren kurallara sahiptir. Bu kurallar (2.13) eşitliğindeki gibi gösterilir.

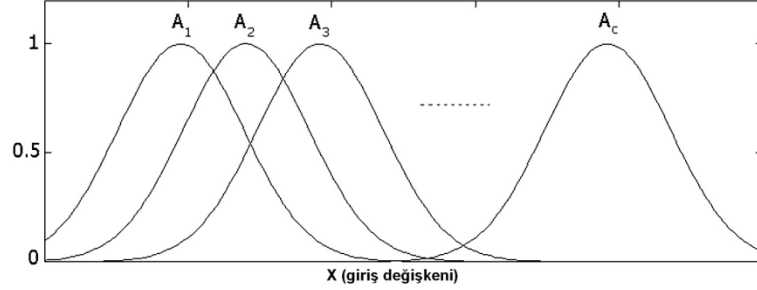
$$EĞER X_1 \in A_1 \& X_2 \in A_2 \& \dots İSE$$

$$Y_1 \in B_1 \& Y_2 \in B_2 \dots olur. \quad (2.13)$$

Burada X_j j. giriş değişkeni, Y_j ise j. çıkış değişkenidir. B_j (2.14) eşitliğindeki gibi ifade edilir.

$$B_j = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots \quad (2.14)$$

A_j giriş bulanık kümeleri Şekil 2.5’de gösterilen Gauss üyelik fonksiyonları ile tanımlanmaktadır.



Şekil 2.5: Bulanık girişler için Gauss üyelik fonksiyonları.

Her bir üyelik fonksiyonu (2.15) eşitliğindeki forma sahiptir.

$$\mu_{A_j}(x) = e^{-\left[\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{x}_j}{\sigma_j}\right)^2\right]} \quad (2.15)$$

Burada \bar{x}_j , A_j bulanık kümesinde üyelik fonksiyonunun merkezidir. σ_j Gauss fonksiyonunun standart sapmasıdır. Gauss fonksiyonlarının merkezi ve standart sapması, en uygun sistemi elde etmek için belirlenmesi gereken iki temel parametredir.

Bu tip sistemlerin çıktıları, ağırlık merkezi durulaştırılmasına benzer olarak her bir kural çıkışının ağırlıklı ortalaması alınarak (2.16) eşitliğindeki gibi hesaplanmaktadır.

$$y_j = \frac{\sum_{i=1}^c \mu_i y_{ij}}{\sum_{i=1}^c \mu_i} \quad (2.16)$$

Burada μ_i , her bir i . kuralda giriş ile çıkış arasındaki eşleştirme derecesidir. y_{ij} , i . kurala karşılık gelen çıkıştır. c ise kural sayısıdır. TSK tipi kurallar kullanan modeller karmaşık yapıdaki sistemleri az sayıda kuralla doğru bir şekilde ifade edebilmektedir. Böylece sistemin karmaşıklığı önemli ölçüde düşmektedir.

Bir bulanık sistemde kuralları belirlemenin en etkili yöntemlerinden bir önceki bölümde bahsedilen çıkarımsal kümelemedir. Kümelemenin amacı, büyük veri kümelerinden verinin doğal sınıflarını çıkararak sistem davranışının kısa, öz bir ifadesini elde etmektir. Kümeleme sonucu, kendiliğinden bulanık kurallar oluşmaktadır. Her bir küme merkezi, bir bulanık kuralı temsil etmektedir. (2.1) eşitliği ile ifade edilen formda kuralları belli olan TSK tipi bulanık bir sisteme sahip olduğumuzu düşünelim. ÇBK yönteminin uygulanmasıyla küme merkezi topluluğu elde edilmiştir ($X_1^{(k)*}, X_2^{(k)*}, \dots, X_c^{(k)*}$). Her bir küme merkezi ilgili formda k . bulanık kuralı ifade eder. Bu durumda çıkış (2.17a) ve (2.17b) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$EĞER \ x_1 \ YAKIN \ X_1^{(k)*} \ İSE \ VE$$

$$x_2 \ YAKIN \ X_2^{(k)*} \ İSE \ VE$$

...

$$x_p \ YAKIN \ X_p^{(k)*} \ İSE$$

$$y_1 = a_0^1 + a_1^1 x_1 + a_2^1 x_2 + \dots + a_p^1 x_p \quad (2.17)$$

$$y_q = a_0^q + a_1^q x_1 + a_2^q x_2 + \dots + a_p^q x_p$$

Burada “*YAKIN İSE*” terimi Gauss üyelik fonksiyonu ile yerine getirilmektedir. Daha önce bahsi edilen r_j aralık etkisi buradaki üyelik fonksiyonunun standart sapması σ_j ile orantılıdır. a_j^i parametreleri en küçük kareler yöntemi ile belirlenmektedir (Miraftab ve Mansour 2004). k . kural için x_i girişinin üyelik fonksiyonu (2.18) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$\mu_i = e^{-ad(x_i, X^{(k)*})} \quad (2.18)$$

Kural çıkışlarının ağırlıklı ortalaması (2.16) eşitliğindeki gibi alınarak çıkışlar hesaplanır. Şu ana dek küme merkezleri, üyelik fonksiyonlarının merkezleri olarak belirlenmiştir. Bulanık sistemin tasarımı r_j ve a_j^i parametrelerinin belirlenmesiyle sonlandırılacaktır. Bu amaçla, veri çiftleri iki gruba ayrıştırılır. İlk grup bulanık sistemi kurmak için, sonraki grup ise sistem fonksiyonlarının doğruluğunu teyit etmek için kullanılacaktır. İlk grup *eğitim veri çiftleri* ve son grup *kontrol veri çiftleri* olarak

adlandırılır. Eğitim veri çiftlerinin kullanılarak (2.18) ile ifade edilen denklemde çıkış fonksiyonu içine yerleştirilmesiyle a_j^i parametrelerinin bilinmeyen olarak yer aldığı bir lineer denklem sistemi elde edilir. a_j^i parametrelerinin en küçük kareler yöntemi kullanılarak çözülebilmesi için kümeleme parametrelerinin girilmesi gerekmektedir. Kümeleme parametrelerinin en uygun değerini bulmak için eğitim ve kontrol veri çiftlerinin hata değerleri karşılaştırılır (Miraftab ve Mansour 2004).

3. DÜZLEMSEL İLETİM HATLARININ BULANIK MODELLERİNİN KURULMASI

Şu ana kadar düzlemsel iletim hatlarının analizinde Konform Dönüşüm Tekniği (KDT) gibi quasi-statik yöntemler veya frekans bağımlı tam dalga analizleri kullanılmıştır. Ancak KDT ile yapılan analizlerde, yapının elektriksel parametrelerini veren kapalı formdaki ifadelerin bulunabilmesi için iletim hattı yapılarının düzlemsel dönüşümler ile paralel plakalı kondansatöre dönüştürülmesi ve birim uzunluk başına toplam kapasite değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu düzlemsel dönüşümlerin seviyesi oldukça zordur ve nihayetinde elde edilen kapalı form ifadeleri yaklaşık çözümler kullanılarak belirli bir hata oranıyla çözülebilen eliptik integraller içermektedir. Neticede uygulanan düzlemsel dönüşümlerin zor olması ve elde edilen ifadelerin belirli bir hata oranına sahip olması KDT'nin dezavantajlarıdır. Frekans bağımlı analizlerde ise, iletim hatlarının elektriksel parametrelerinin hesaplama süresinin göreceli uzun olması, sağlam bir teorik bilgi birikimi gerektirmesi ve pahalı paket programlara gereksinim duyulması gibi dezavantajlar vardır. Bu nedenle mevcut yöntemler kadar doğru ve hassas sonuç verebilen alternatif modellemelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu bölümde tez kapsamına giren düzlemsel iletim hatlarının bulanık mantık modellemesi gerçekleştirilerek her bir yapının çıkış karakteristik değerleri olan efektif dielektrik sabitleri ve karakteristik empedansları elde edilmiştir. Bulanık mantık modellemesi gerçekleştirilen her bir yapı için hata analizi yapılarak, giriş verilerine uygulanan küme merkezi belirleme kriterlerinin çıkış değerleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Nihayetinde bulanık modeller oluşturulurken düşük hata oranına sahip basit yapıda modeller elde edilmeye çalışılmıştır.

3.1 Konvansiyonel İletim Hatlarının Bulanık Modellemesi

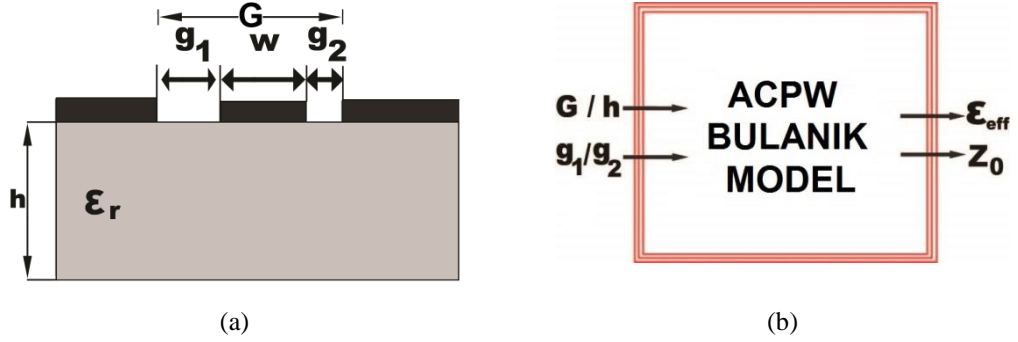
CPW yapısı ilk olarak C.P. Wen tarafından 1969 yılında tasarlandığında bir dielektrik tabaka ve üst yüzeyindeki iletkenlerden oluşuyordu (Wen 1969). Günümüzde konvansiyonel CPW olarak bilinen bu basit yapı, dielektrik tabaka yüzeyinde aynı düzlemde yer alan bir adet merkez iletken ve bu iletkenin belirli yarık mesafeyle ayrılan her iki yana yerleştirilen toprak düzlemlerinden oluşmaktadır. Merkez

iletkenin ve yarık mesafesinin uzunlukları ile dielektrik tabakanın kalınlığı ve geçirgenliği yapının ϵ_{eff} efektif dielektrik katsayısı ve Z_0 karakteristik empedansı çıkış değerleri ile α hat zayıflama değerini vermektedir. Eş düzlemsel dalga kılavuzlarının (CPW) artan kullanımı nedeniyle hibrit ve monolitik mikrodalga entegre devrelerin (MMIC), tasarımı için çeşitli eş düzlemsel tip iletim hatlarının quasi-TEM parametrelerinin daha detaylı incelenmesi gerekmektedir. Şönt ve seri bağlantıların kolay şekilde gerçekleştirilmesi, düşük radyasyona sahip olması, düşük dağılım göstermesi ve ince kırılğan alt tabakalara duyulan ihtiyacın ortadan kaldırılması gibi çeşitli avantajları nedeniyle düzlem simetrik eş düzlemsel dalga kılavuzlarının parametreleri pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Ghione ve Naldi 1987, Veyres ve Hanna 1980, Kitazawa ve Mitra 1985). Bununla birlikte, eş düzlemsel iletim hatları, alanları mikro şerit iletim hatlarından daha az sınırlı olduğundan üst ekranlama, iletken desteği ve yan toprak düzlemi kesilmesi gibi çevresel etkilere karşı hassastır. Literatürde öncelikle ana dielektrik alt katmanın üstünde ve altında boş alana sahip asimetrik eş düzlemsel dalga kılavuzları (ACPW) için analitik ifadeler sunulmuştur (Kitazawa ve Mitra 1985, Karpuz ve diğ. 1995). Ancak, GaAs katmanı ince ve kırılğan olduğundan, böyle bir hat yapısı MMIC uygulamaları için uygun bulunmamıştır. Bu nedenle, ACPW'nin hem mekanik dayanıklılığını hem de ortalama güç işleme kapasitesini artırmak amacıyla iletken desteği GaAs alt tabakasını doğrudan iletken bir zemin düzlemine monte etmek için bir çözüm olarak önerilmiş ve kullanılmıştır. Bununla birlikte, metalik bir muhafaza içine konulan iletken destekli konfigürasyon çevreye karşı koruma sağladığından, MMIC uygulamalarında üst ekranlama sıklıkla kullanılmaktadır. KDT, geometrik parametrelerin quasi-statik TEM parametreleri üzerindeki etkisini temsil eder ve bu yöntem kullanılarak türetilen quasi-statik TEM analitik formülleri, frekansa bağlı ifadelerle elde edilen sonuçlara sahip olmak için temel olarak gereklidir. Düzlemsel iletim hatlarında quasi-statik parametreler mikrodalga frekanslarında kullanılabilir ve bu parametrelerin doğruluğu, spektral alan yaklaşımı ve varyasyonel yöntem gibi frekansa bağlı yöntemlerin sonuçları ile karşılaştırılabilir düzeydedir. Bu kısımda temeli ACPW (Asimetrik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu) olan dört adet konvansiyonel iletim hattının bulanık modeli kurularak hata analizleri yapılmıştır (Karpuz ve Gorur 1999).

3.1.1 Asimetrik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu için Bulanık Model

Konvansiyonel düzlemsel iletim hatlarının elektriksel parametreleri için bulanık mantık modeli tasarlamak amacıyla CPW yapılarında önce yalın bir yapı tercih edilerek ilk olarak Şekil 3.1a’da kesit görünümü verilen ACPW yapısı ele alındı. Bu yapının quasi-statik parametreleri için analitik ifadeler daha önce KDT yöntemi kullanılarak elde edilmiştir (Karpuz ve Gorur 1999).

Bu yapı w genişliğine sahip merkez iletkeni ile her iki taraftan g_1 ve g_2 yarık mesafeleri ile ayrılmış üst toprak düzlemlerin, h kalınlığına ve ϵ_r bağlı geçirgenliğine sahip dielektrik tabakanın üst yüzeyinde konumlandırılmasıyla elde edilmiştir. İlgili iletim hattında asimetrik oran g_1/g_2 ve şekil oranı G/h tasarlanacak olan bulanık mantık modelimizin girişleri; efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} ve karakteristik empedans Z_0 bulanık mantık modelimizin çıkışları olarak alındı. Şekil 3.1b’de 2 girişli ve 2 çıkışlı çıkarımsal kümeleme tabanlı bulanık mantık modelimiz görülmektedir.

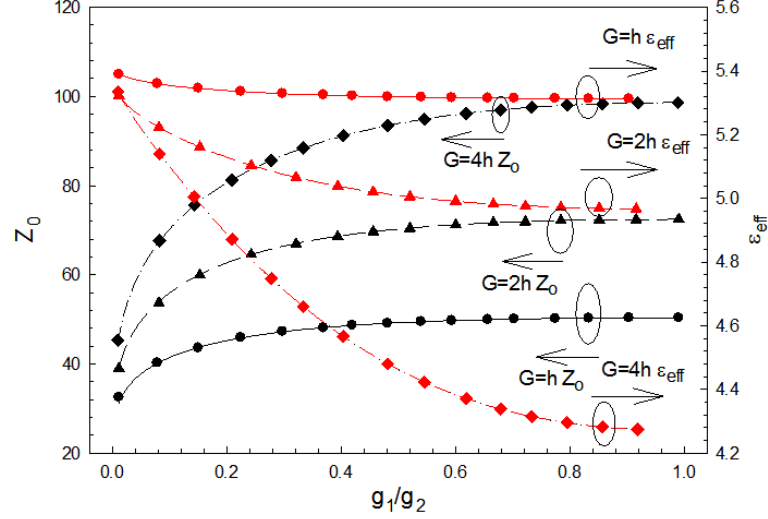


Şekil 3.1: ACPW a) Yapısı b) Önerilen bulanık model.

KDT analizinden bulanık modeli kurmak ve geçerliliğini teyit etmek amacıyla veri çiftleri üretilmiştir. Üretilen ilk veri çiftleri eğitim ve son veri çiftleri kontrol verisi olarak adlandırılır. ACPW yapısı bulanık modeli için 1600 adet eğitim verisi ve 1200 adet kontrol verisi kullanılmıştır. Modeli doğrulamak için kullanılan kontrol veri çiftleri eğitim veri çiftlerinden tamamen farklıdır. Hem eğitim hem de kontrol veri çiftleri için geometrik oranlar $0.01 \leq g_1/g_2 \leq 0.99$ ve $1 \leq G/h \leq 4$ aralığındadır.

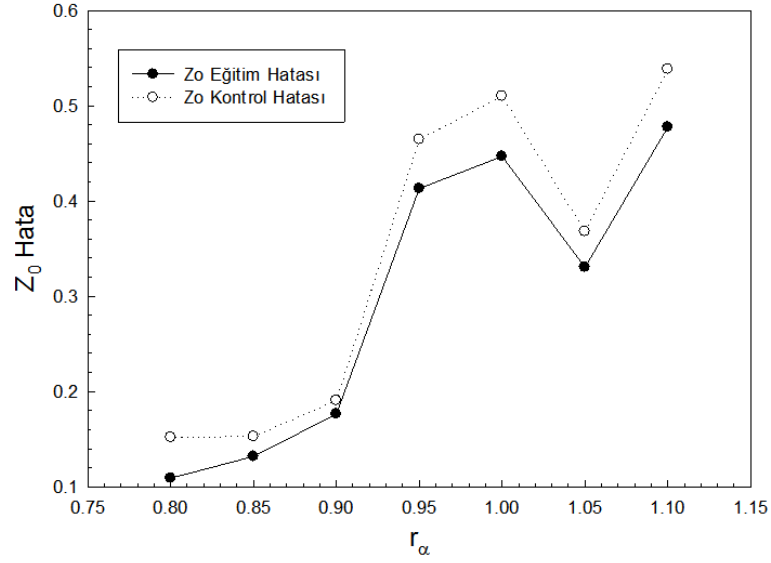
En düşük hata değerlerine denk gelen kümeleme kriterleri komşuluk yarıçapı r_a ve sıkıştırma katsayısı η belirlendikten sonra ACPW bulanık modelinin sonuçları literatürde yer alan KDT sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Karpuz ve Gorur 1999). Efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedans sonuçları Şekil 3.2’de gösterilmektedir. Sırasıyla siyah çizgiler ve siyah semboller ACPW yapısının karakteristik empedans Z_0 KDT ve bulanık model sonuçlarını; kırmızı çizgiler ve

kırmızı semboller ise efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} KDT ve bulanık model sonuçlarını göstermektedir. ACPW bulanık modelinin elektriksel parametreleri KDT yöntemi ile uyum içerisinde yüksek doğrulukta bulunduğu gözlenmiştir.



Şekil 3.2: ACPW yapısı etkin dielektrik sabiti ve karakteristik empedans sonuçları ($\epsilon_r=10$, $h=750\mu\text{m}$, $w=400\mu\text{m}$).

ACPW bulanık mantık modelini en uygun şekilde kurmak amacıyla hem eğitim hem de kontrol veri çiftleri için Ortalama Karesel Hataların Karekökü (RMSE) değerleri dikkate alınarak hata analizi yapılmıştır. İdeal bir model elde etmek için komşuluk yarıçapı r_α ve sıkıştırma katsayısı η kümeleme kriterleri test edilmiştir. Şekil 3.3’de bulanık model eğitim ve kontrol verisi için komşuluk yarıçapı r_α ’ya bağlı olarak karakteristik empedans hata değişimi gösterilmektedir. Eğitim ve kontrol veri çiftlerinin en düşük ortak hata değerleri en uygun sonuçları vermektedir. Optimum sonuçlara karşılık gelen kural sayısı ile birlikte komşuluk yarıçapı ve sıkıştırma faktörü değerleri Tablo 3.1’de gösterilmektedir. Optimum komşuluk yarıçapı r_α ’dan elde edilen eğitim ve kontrol verilerinin RMSE değerleri Tablo 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil 3.3: ACPW yapısı karakteristik empedans eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı

Tablo 3.1: ACPW modeli optimum parametre değerleri ve kural sayısı

Modeli Kurulan Yapı	r_α	η	Kural Sayısı
ACPW	0.8	1.4	31

Tablo 3.2: ACPW modeli optimum komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri

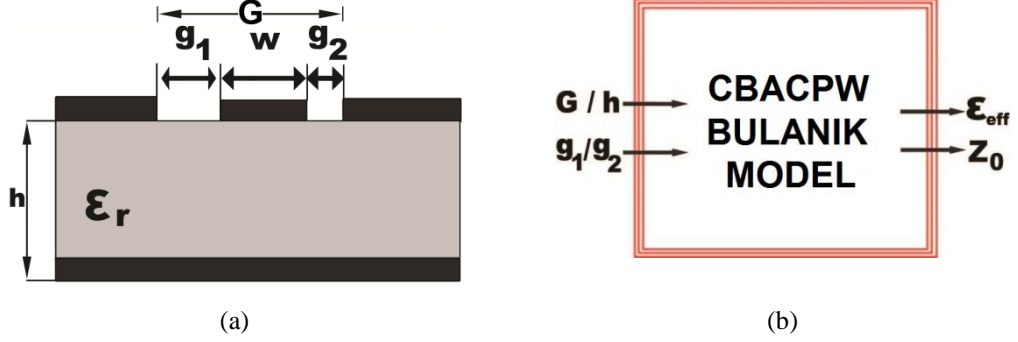
Modeli Kurulan Yapı	Eğitim RMSE		Kontrol RMSE	
	ϵ_{eff}	Z_o	ϵ_{eff}	Z_o
ACPW	5.09e-4	0.109	6.49e-4	0.152

3.1.2 İletken Destekli Asimetrik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu için Kurulan Bulanık Model

Bu bölümde bulanık mantık modeli tasarlamak amacıyla CBACPW (İletken Destekli Asimetrik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu) yapısı ele alındı. Şekil 3.4a'da kesit görünümü verilen bu yapının elektrik parametreleri için analitik ifadeler daha önce KDT yöntemi kullanılarak elde edilmiştir (Karpuz ve Gorur 1999).

Bu yapı bir önceki ACPW gibi w genişliğine sahip merkez iletkeni ile her iki taraftan g_1 ve g_2 yarık mesafeleri ile ayrılmış üst toprak düzlemlerine ve h kalınlığı ile ϵ_r bağlı geçirgenliğine sahip dielektrik tabakaya sahiptir. Eklenen iletken destek sayesinde CBACPW, karışık eş düzlemsel ve mikro şerit devrelerin kolayca

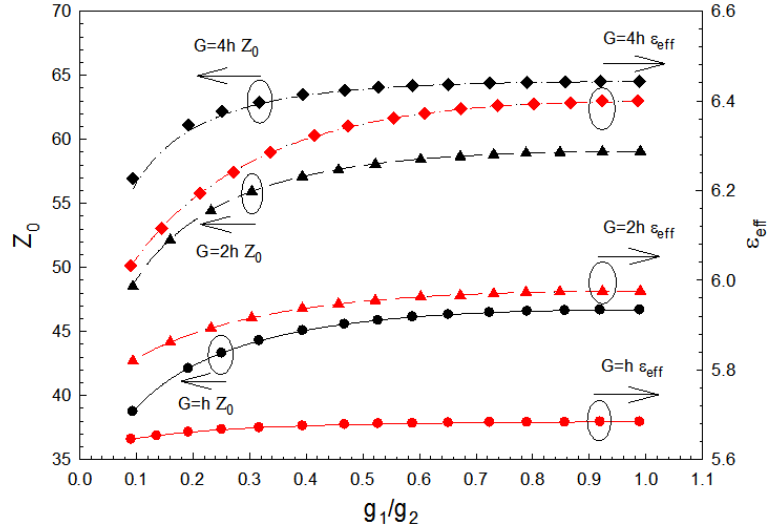
uygulanmasına olanak tanır. Bu iletim hattında da asimetrik oran g_1/g_2 ve şekil oranı G/h tasarlanacak olan bulanık mantık modelimizin girişleri; ϵ_{eff} ve Z_o bulanık mantık modelimizin çıkışları olarak alındı. Şekil 3.4b’de 2 girişli ve 2 çıkışlı çıkarımsal kümeleme tabanlı bulanık mantık modelimiz görülmektedir.



Şekil 3.4: CBACPW a) Yapısı b) Önerilen bulanık model.

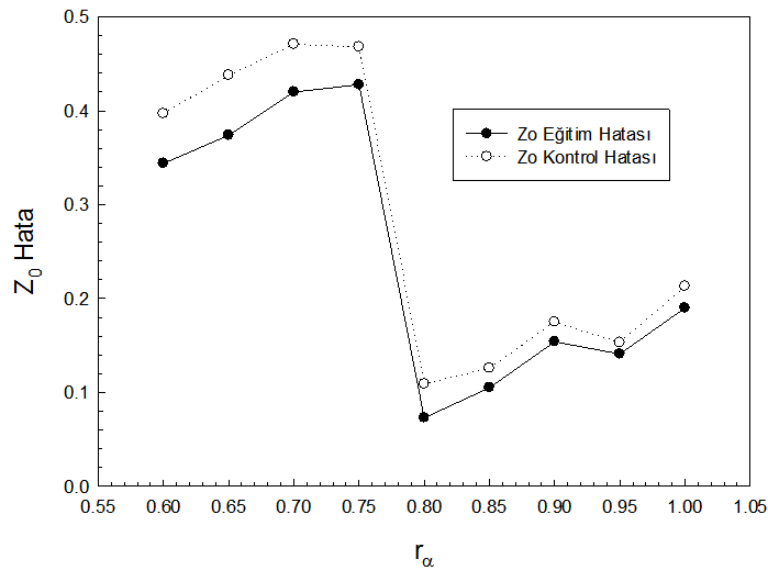
KDT analizinden CBACPW yapısı bulanık modeli kurmak için 1600 adet eğitim verisi ve geçerliliğini teyit etmek amacıyla 1200 adet kontrol verisi kullanılmıştır. Modeli kurmak için kullanılan eğitim veri çiftleri ve modeli doğrulamak için kullanılan kontrol veri çiftleri birbirinden tamamen farklıdır. Eğitim ve kontrol veri çiftleri için geometrik oranlar $0.01 \leq g_1/g_2 \leq 0.99$ ve $1 \leq G/h \leq 4$ aralığındadır.

En düşük hata değerlerini sağlayan kümeleme kriterleri komşuluk yarıçapı r_α ve sıkıştırma katsayısı η belirlendikten sonra CBACPW bulanık modelinin sonuçları literatürde yer alan KDT sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Karpuz ve Gorur 1999). Efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedans sonuçları Şekil 3.5’de gösterilmektedir. Sırasıyla siyah çizgiler ve siyah semboller CBACPW yapısının karakteristik empedans Z_o KDT ve bulanık model sonuçlarını; kırmızı çizgiler ve kırmızı semboller ise efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} KDT ve bulanık model sonuçlarını göstermektedir. CBACPW bulanık modelinin elektriksel parametreleri KDT yöntemi ile uyum içerisinde bulunduğu gözlenmiştir.



Şekil 3.5: CBACPW etkin dielektrik sabiti ve karakteristik empedans sonuçları ($\epsilon_r=10$, $h=750\mu\text{m}$, $w=400\mu\text{m}$).

CBACPW bulanık mantık modelini en uygun şekilde elde etmek için komşuluk yarıçapı r_α ve sıkıştırma katsayısı η kümeleme kriterleri test edilmiştir. Şekil 3.6'da bulanık model eğitim ve kontrol verisi için komşuluk yarıçapı r_α 'ya bağlı olarak karakteristik empedans hata değişimi gösterilmektedir. Eğitim ve kontrol veri çiftlerinin en düşük ortak hata değerleri en uygun sonuçları vermektedir. Optimum sonuçlara karşılık gelen kural sayısı ile birlikte komşuluk yarıçapı ve sıkıştırma faktörü değerleri Tablo 3.3'de gösterilmektedir. Optimum komşuluk yarıçapı r_α 'dan elde edilen eğitim ve kontrol verilerinin RMSE değerleri Tablo 3.4'de gösterilmektedir.



Şekil 3.6: CBACPW yapısı karakteristik empedans eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı

Tablo 3.3: CBACPW modeli optimum parametre değerleri ve kural sayısı

Modeli Kurulan Yapı	r_α	η	Kural Sayısı
CBACPW	0.8	1.35	34

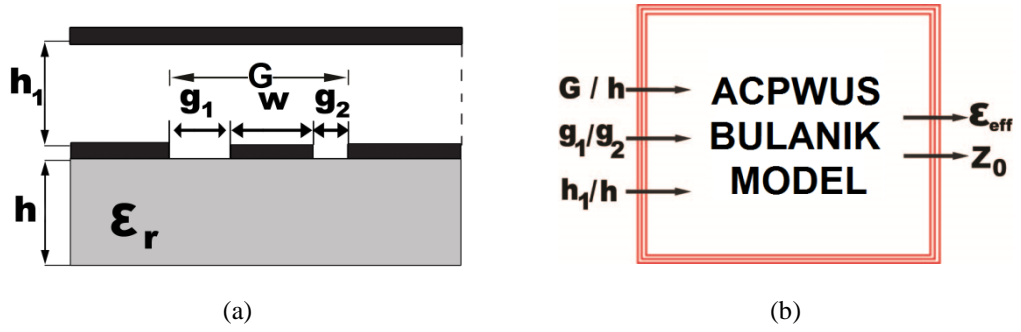
Tablo 3.4: CBACPW modeli optimum komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri

Modeli Kurulan Yapı	Eğitim RMSE		Kontrol RMSE	
	ϵ_{eff}	Z_o	ϵ_{eff}	Z_o
CBACPW	9.61e-4	0.073	1.22e-3	0.109

3.1.3 Üst Kalkanlı Asimetrik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu için Kurulan Bulanık Model

Bu bölümde bulanık mantık modeli tasarlamak amacıyla ACPWUS (Üst Kalkanlı Asimetrik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu) yapısı ele alındı. Şekil 3.7a'da kesit görünümü verilen bu yapının elektrik parametreleri için analitik ifadeler daha önce KDT yöntemi kullanılarak elde edilmiştir (Karpuz ve Gorur 1999).

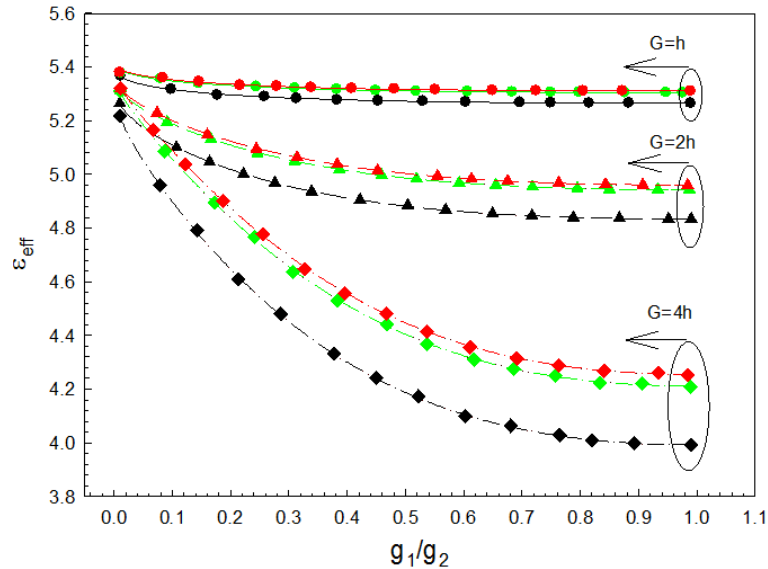
Bu yapı ACPW ve CBACPW yapısı gibi w genişliğine sahip merkez iletkeni ile her iki taraftan g_1 ve g_2 yarık mesafeleri ile ayrılmış üst toprak düzlemlerine ve h kalınlığı ile ϵ_r bağlı geçirgenliğine sahip dielektrik tabakaya sahiptir. Merkez iletken ile üst toprak düzlemlerin h_1 mesafesi kadar üzerine bir üst kalkan yerleştirilmiştir. Üst ekranlama sayesinde g_1/g_2 asimetri oranına göre empedans davranışını etkilemeden iletim hattının empedans seviyesi düşürülmektedir. Bu iletim hattında asimetrik oran g_1/g_2 ve şekil oranı G/h girişlerine ilave olarak yükseklik oranı h_1/h tasarlanacak olan bulanık mantık modelimizin girişleri olarak alınmıştır. Yine ϵ_{eff} ve Z_o bulanık mantık modelimizin çıkışları olarak değerlendirilmiştir. Şekil 3.7b'de 3 girişli ve 2 çıkışlı çıkarımsal kümeleme tabanlı bulanık mantık modelimiz görülmektedir.

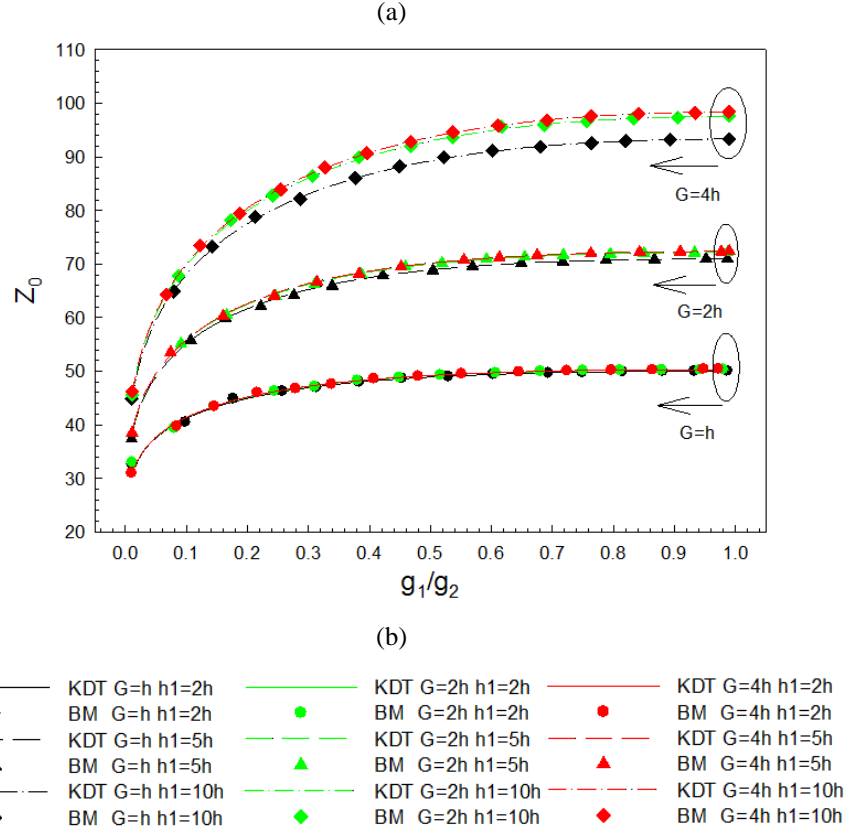


Şekil 3.7: ACPWUS a) Yapısı b) Önerilen bulanık model.

KDT analizinden ACPWUS yapısı bulanık modeli kurmak için 3300 adet eğitim verisi ve geçerliliğini teyit etmek amacıyla 3000 adet kontrol verisi kullanılmıştır. Modeli kurmak için kullanılan eğitim veri çiftleri ve modeli doğrulamak için kullanılan kontrol veri çiftleri birbirinden tamamen farklıdır. Eğitim ve kontrol veri çiftleri için geometrik oranlar $1 \leq h_1/h \leq 10$, $0.01 \leq g_1/g_2 \leq 0.99$ ve $1 \leq G/h \leq 4$ aralığındadır.

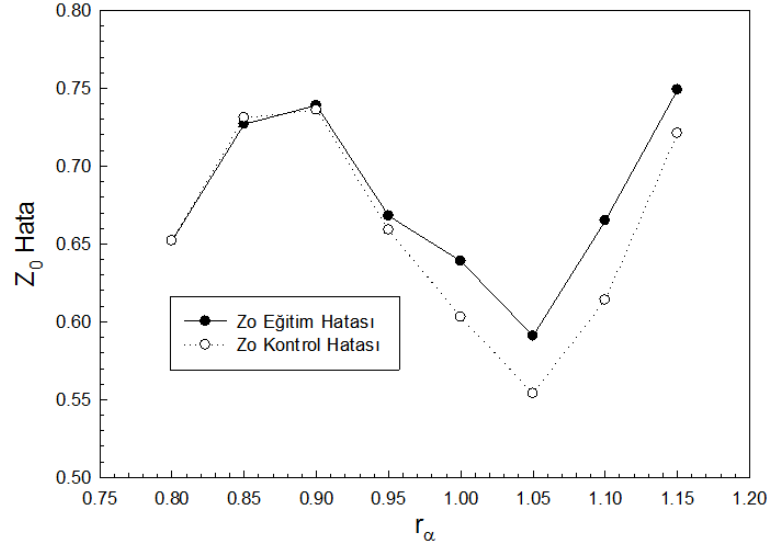
En düşük hata değerlerini sağlayan kümeleme kriterleri komşuluk yarıçapı r_α ve sıkıştırma katsayısı η belirlendikten sonra ACPWUS bulanık modelinin sonuçları literatürde yer alan KDT sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Karpuz ve Gorur 1999). Efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedans sonuçları sırasıyla Şekil 3.8’de gösterilmektedir. Sırasıyla çizgiler ve semboller ACPWUS yapısı için efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} ile karakteristik empedans Z_0 çıkışlarının KDT ve bulanık model sonuçlarını göstermektedir. ACPWUS bulanık modelinin efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedans çıkışlarını KDT yöntemi sonuçları ile uyum içerisinde bulduğu gözlenmiştir.





Şekil 3.8: ACPWUS a) Efektif dielektrik sabiti sonuçları b) Karakteristik empedans sonuçları ($\epsilon_r=10$, $h=750\mu\text{m}$, $w=400\mu\text{m}$).

ACPWUS bulanık mantık modelini en uygun şekilde elde etmek için komşuluk yarıçapı r_α ve sıkıştırma katsayısı η kümeleme kriterleri test edilmiştir. Şekil 3.9'da bulanık model eğitim ve kontrol verisi için komşuluk yarıçapı r_α 'ya bağlı olarak karakteristik empedans hata değişimi gösterilmektedir. Eğitim ve kontrol veri çiftlerinin en düşük ortak hata değerleri en uygun sonuçları vermektedir. Optimum sonuçlara karşılık gelen kural sayısı ile birlikte komşuluk yarıçapı ve sıkıştırma faktörü değerleri Tablo 3.5'de gösterilmektedir. Optimum komşuluk yarıçapı r_α 'dan elde edilen eğitim ve kontrol verilerinin RMSE değerleri Tablo 3.6'da gösterilmektedir.



Şekil 3.9: ACPWUS yapısı karakteristik empedans eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı.

Tablo 3.5: ACPWUS modeli optimum parametre değerleri ve kural sayısı

Modeli Kurulan Yapı	r_α	η	Kural Sayısı
ACPWUS	1.05	1.35	36

Tablo 3.6: ACPWUS modeli optimum komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri

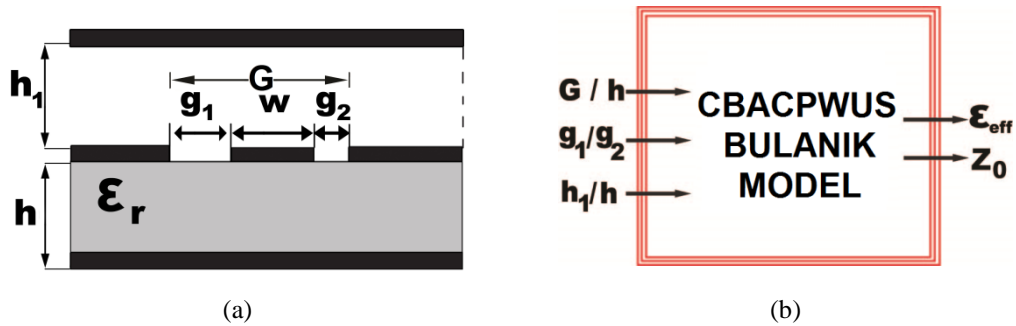
Modeli Kurulan Yapı	Eğitim RMSE		Kontrol RMSE	
	ϵ_{eff}	Z_o	ϵ_{eff}	Z_o
ACPWUS	4.74e-3	0.591	4.86e-3	0.554

3.1.4 İletken Destekli Üst Ekranlamalı Asimetrik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu için Kurulan Bulanık Model

Bu bölümde bulanık mantık modeli tasarlamak amacıyla CBACPWUS (İletken Destekli Üst Ekranlamalı Asimetrik Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu) yapısı ele alındı. Şekil 3.10a'da kesit görünümü verilen bu yapının elektrik parametreleri için analitik ifadeler daha önce KDT yöntemi kullanılarak elde edilmiştir (Karpuz ve Gorur 1999).

Bu yapı w genişliğine sahip merkez iletkeni ile her iki taraftan g_1 ve g_2 yarık mesafeleri ile ayrılmış üst toprak düzlemlerine ve h kalınlığı ile ϵ_r bağlı geçirgenliğine sahip dielektrik tabakaya sahip ACPWUS yapısına iletken destek eklenmesiyle elde

edilmiştir. Yine merkez iletken ile üst toprak düzlemlerin h_1 mesafesi kadar üzerine bir üst kalkan yerleştirilmiştir. Bu haliyle CBACPWUS yapısı MMIC uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir. Bu iletim hattında asimetrik oran g_1/g_2 , şekil oranı G/h ve yükseklik oranı h_1/h tasarlanacak olan bulanık mantık modelimizin girişleri olarak alınmıştır. Yine ϵ_{eff} ve Z_0 bulanık mantık modelimizin çıkışları olarak değerlendirilmiştir. Şekil 3.10b’de 3 girişli ve 2 çıkışlı çıkarımsal kümeleme tabanlı bulanık mantık modelimiz görülmektedir.



Şekil 3.10: CBACPWUS a) Yapısı b) Önerilen bulanık model.

CBACPWUS konfigürasyonu için KDT dönüşüm yöntemiyle birim uzunluk başına kapasitansın analitik ifadesi bulunurken hali hazırda CBACPW ve ACPWUS yapıları için uygulanan dönüşümler kullanılabilir. ACPWUS yapısının üst bölgesini ve CBACPW yapısının alt bölgesini dikdörtgen bir bölgeye eşleyebiliriz. Yuvalardaki hava-dielektrik arayüzleri manyetik duvarlar olarak modellenirse, CBACPWUS’nin birim uzunluğu başına toplam kapasitansı, üst yarım düzlem ve alt yarım düzlemin kapasitansının toplamına eşit olur. Her yarım düzlemin kapasitansı, dielektrik alt tabakanın çıkarılmasından sonraki hava kapasitansından ve dielektrik sabiti olduğu varsayılan dielektrik alt tabakanın kapasitansından oluşur ($\epsilon_r - 1$). Böylece CBACPWUS’nin birim uzunluğu başına elde edilen toplam kapasitansı (3.1) eşitliğindeki gibi ifade edilebilir.

$$C_t = \epsilon_0 \frac{K(k_2)}{K(k_2')} + \epsilon_r \frac{K(k_1)}{K(k_1')} \quad (3.1)$$

Burada k_1 modülü (3.2) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$k_1 = \sqrt{\frac{w'(w' + g_1' + g_2')}{(w' + g_1')(w' + g_2')}} \quad (3.2)$$

k_1' modülü (3.3) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$k_1' = \sqrt{1 - k_1^2} \quad (3.3)$$

k_1 modülü ara eşitlikler (3.4) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} w' &= e^{-w\pi/2h} (e^{w\pi/h} - 1) \\ g_1' &= e^{-(w+2g_1)\pi/2h} (e^{g_1\pi/h} - 1) \\ g_2' &= e^{-(w+2g_2)\pi/2h} (e^{g_2\pi/h} - 1) \end{aligned} \quad (3.4)$$

Toplam kapasitans formülü k_2 modülü (3.5) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$k_2 = \sqrt{\frac{w''(w'' + g_1'' + g_2'')}{(w'' + g_1'')(w'' + g_2'')}} \quad (3.5)$$

k_2' modülü (3.6) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$k_2' = \sqrt{1 - k_2^2} \quad (3.6)$$

k_2 modülü ara eşitlikler (3.7) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} w'' &= e^{-w\pi/2h_1} (e^{w\pi/h_1} - 1) \\ g_1'' &= e^{-(w+2g_1)\pi/2h_1} (e^{g_1\pi/h_1} - 1) \\ g_2'' &= e^{-(w+2g_2)\pi/2h_1} (e^{g_2\pi/h_1} - 1) \end{aligned} \quad (3.7)$$

Efektif dielektrik sabiti ε_{eff} (3.8) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$\varepsilon_{eff} = 1 + q(\varepsilon_r - 1) \quad (3.8)$$

Burada dolgu faktörü q (3.9) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$q = \frac{K(k_1)/K(k_1')}{K(k_1)/K(k_1') + K(k_2)/K(k_2')} \quad (3.9)$$

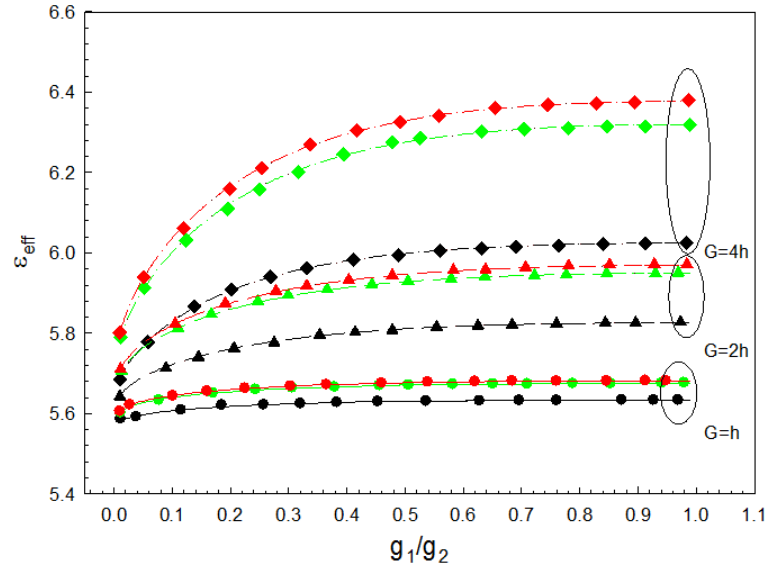
Karakteristik empedans Z_o (3.10) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$Z_o = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \frac{1}{K(k_1)/K(k_1') + K(k_2)/K(k_2')} \quad (3.10)$$

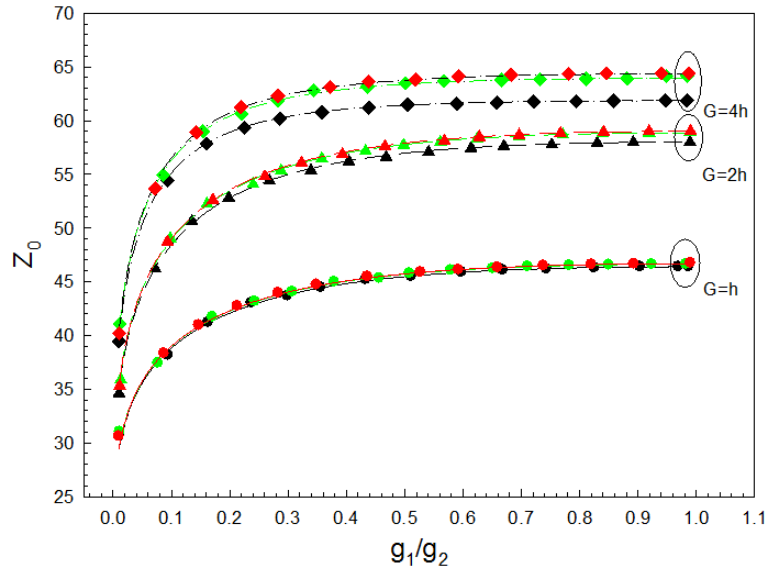
KDT analizinden CBACPWUS yapısı bulanık modeli kurmak için 3300 adet eğitim verisi ve geçerliliğini teyit etmek amacıyla 3000 adet kontrol verisi kullanılmıştır. Modeli kurmak için kullanılan eğitim veri çiftleri ve modeli doğrulamak için kullanılan kontrol veri çiftleri birbirinden tamamen farklıdır. Eğitim ve kontrol veri çiftleri için geometrik oranlar $1 \leq h_1/h \leq 10$, $0.01 \leq g_1/g_2 \leq 0.99$ ve $1 \leq G/h \leq 4$ aralığındadır.

En düşük hata değerlerini sağlayan kümeleme kriterleri komşuluk yarıçapı r_α ve sıkıştırma katsayısı η belirlendikten sonra CBACPWUS bulanık modelinin sonuçları literatürde yer alan KDT sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Karpuz ve Gorur 1999). Efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedans sonuçları sırasıyla Şekil 3.11'de gösterilmektedir. Sırasıyla çizgiler ve semboller CBACPWUS yapısı için efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} ile karakteristik empedans Z_o çıkışlarının KDT ve bulanık model sonuçlarını göstermektedir. CBACPWUS bulanık modelinin efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedans çıkışlarını KDT yöntemi sonuçları ile uyum içerisinde bulduğu gözlenmiştir.

CBACPWUS bulanık mantık modelini en uygun şekilde elde etmek için komşuluk yarıçapı r_α ve sıkıştırma katsayısı η kümeleme kriterleri test edilmiştir. Şekil 3.12'de bulanık model eğitim ve kontrol verisi için komşuluk yarıçapı r_α 'ya bağlı olarak karakteristik empedans hata değişimi gösterilmektedir. Eğitim ve kontrol veri çiftlerinin en düşük ortak hata değerleri en uygun sonuçları vermektedir. Optimum sonuçlara karşılık gelen kural sayısı ile birlikte komşuluk yarıçapı ve sıkıştırma faktörü değerleri Tablo 3.7'de gösterilmektedir. Optimum komşuluk yarıçapı r_α 'dan elde edilen eğitim ve kontrol verilerinin RMSE değerleri Tablo 3.8'de gösterilmektedir.



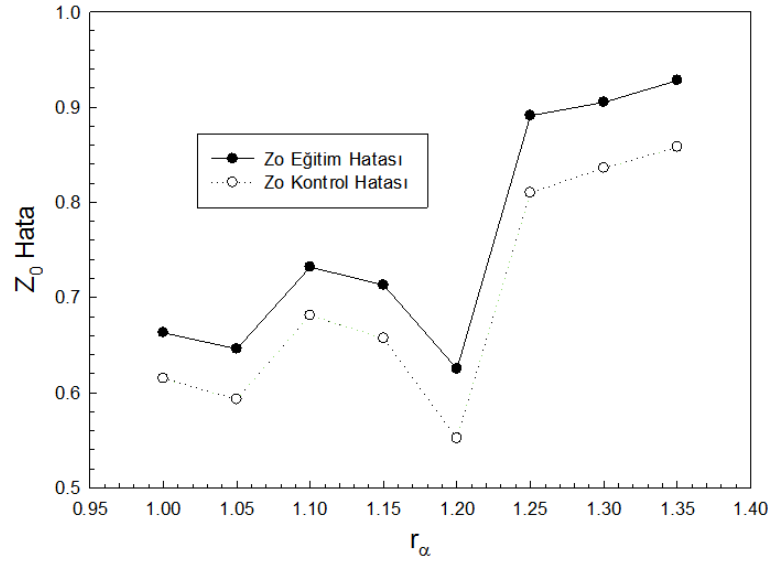
(a)



(b)

—	KDT G=h h1=2h	—	KDT G=2h h1=2h	—	KDT G=4h h1=2h
●	BM G=h h1=2h	●	BM G=2h h1=2h	●	BM G=4h h1=2h
---	KDT G=h h1=5h	---	KDT G=2h h1=5h	---	KDT G=4h h1=5h
▲	BM G=h h1=5h	▲	BM G=2h h1=5h	▲	BM G=4h h1=5h
----	KDT G=h h1=10h	----	KDT G=2h h1=10h	----	KDT G=4h h1=10h
◆	BM G=h h1=10h	◆	BM G=2h h1=10h	◆	BM G=4h h1=10h

Şekil 3.11: CBACPWUS a) Efektif dielektrik sabiti sonuçları b) Karakteristik empedans sonuçları ($\epsilon_r=10$, $h=750\mu\text{m}$, $w=400\mu\text{m}$).



Şekil 3.12: CBACPWUS yapısı karakteristik empedans eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı.

Tablo 3.7: CBACPWUS modeli optimum parametre değerleri ve kural sayısı

Modeli Kurulan Yapı	r_α	η	Kural Sayısı
CBACPWUS	1.2	1.35	25

Tablo 3.8: CBACPWUS modeli optimum komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri

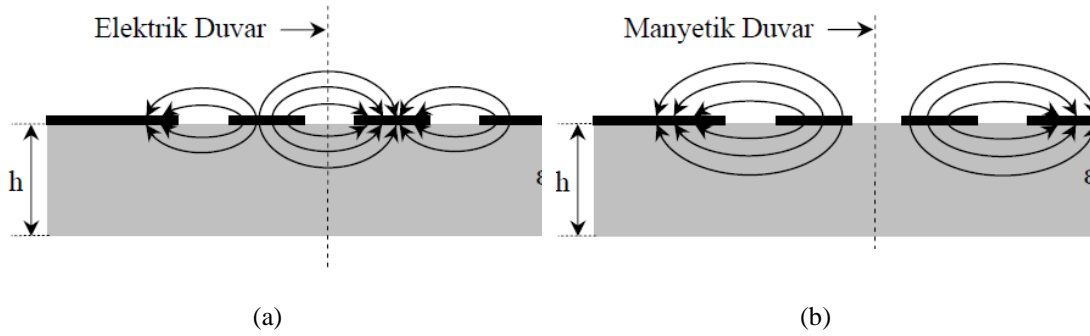
Modeli Kurulan Yapı	Eğitim RMSE		Kontrol RMSE	
	ϵ_{eff}	Z_o	ϵ_{eff}	Z_o
CBACPWUS	7.33e-3	0.625	6.79e-3	0.552

3.2 Kuplajlı İletim Hatlarının Bulanık Modellemesi

Tek mod ve çift mod olmak üzere iki ana mod, kuplajlı iletim hatları tarafından desteklenmektedir. İletkenlerin, Şekil 3.13’de görüldüğü gibi çift mod için bir manyetik duvar ve tek mod için bir elektrik duvar ile yalıtıldığı varsayılmaktadır. Bununla birlikte çift mod iletim aynı işaretli ve tek mod iletim ters işaretli kaynak beslemesinde gerçekleşmektedir.

Bu bölümde farklı geometrik boyutlardaki kuplajlı iletim hatlarının karakteristik parametreleri küme tahmini üzerine kurulu bulanık mantık modeliyle

hesaplanmıştır. Kuplajlı iletim hatlarında tek mod ve çift mod farklı durumları ifade ettiğinden her bir mod için farklı model tasarlanmıştır.

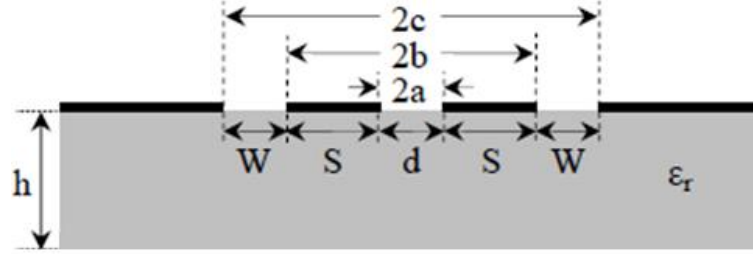


Şekil 3.13: Kenar kuplajlı eş düzlemsel dalga kılavuzu elektrik alan dağılımı a) Tek mod b) Çift mod.

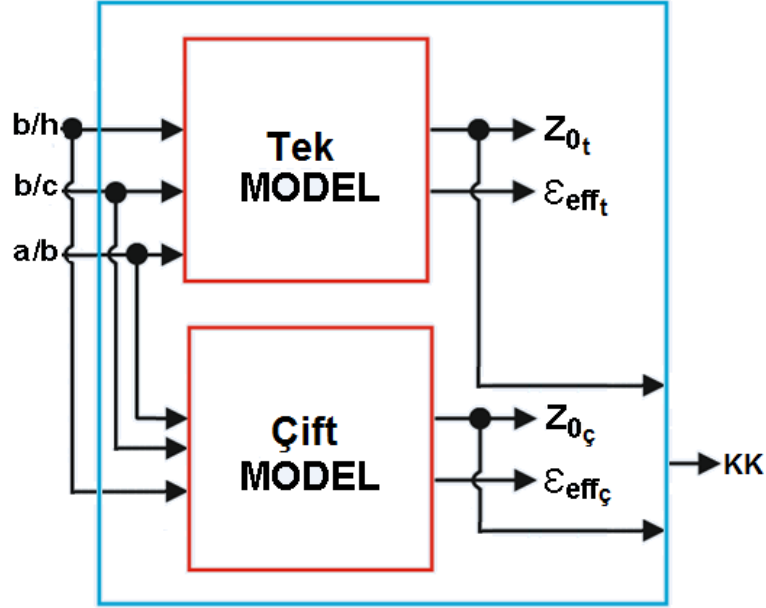
3.2.1 Kenar Kuplajlı Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu için Kurulan Bulanık Model

Bu bölümde bulanık mantık modeli tasarlamak amacıyla ECCPW (Kenar Kuplajlı Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu) yapısı ele alındı. Şekil 3.14a'da kesit görünümü verilen bu yapının karakteristik parametreleri için analitik ifadeler daha önce KDT yöntemi kullanılarak elde edilmiştir (Hanna ve Thebault 1984^b).

Bu kuplajlı iletim hattında merkez iletkenler bağıl dielektrik sabiti ϵ_r ve kalınlığı h olan malzeme üzerine yerleştirilmiştir. Merkez iletkenlerin genişlikleri S ile temsil edilir; bu iletkenler arasındaki yarı genişliği $d=2a$ ile ifade edilir ve merkez iletkenler ile üst toprak düzlemleri arasındaki mesafeler W ile gösterilir. Tek mod ve çift mod iki ayrı durumu temsil ettiğinden, her mod için farklı modeller tasarlanmıştır. Bu nedenle ECCPW yapısı iki ayrı bulanık modele sahiptir. Tasarlanan modeller, Şekil 3.14b'de gösterildiği gibi üç girişe ve iki çıkışa sahiptir. Girişler olarak b/h , b/c ile a/b geometrik oranları ve bulanık modellerimizin çıktıları olarak efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} ile karakteristik empedans Z_o alınmıştır. İlgili iletim hattı için Şekil 3.14b'de gösterilen mimari kullanılarak bulanık modellerin geçerliliğini kontrol etmek amacıyla her bir moddan elde edilen empedanslar ayrıca değerlendirilerek iletim hattının kuplaj katsayıları (KK) hesaplanmaktadır.



(a)



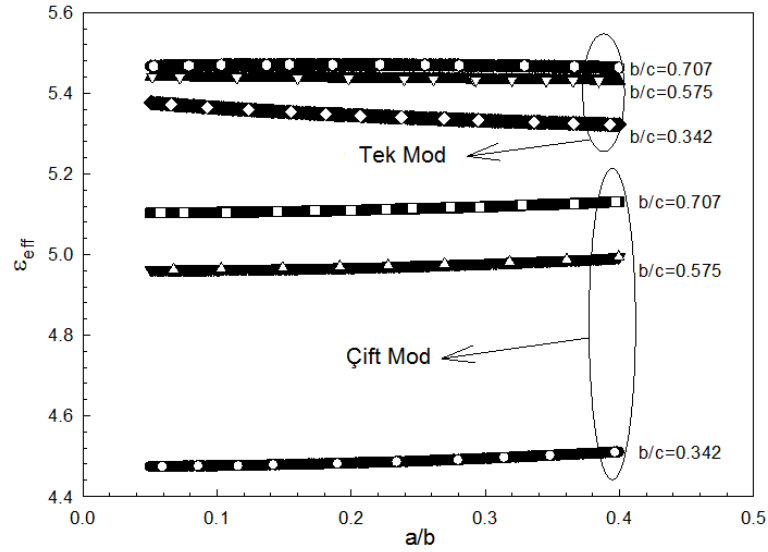
(b)

Şekil 3.14: ECCPW a) Yapısı b) Önerilen bulanık model mimarisi.

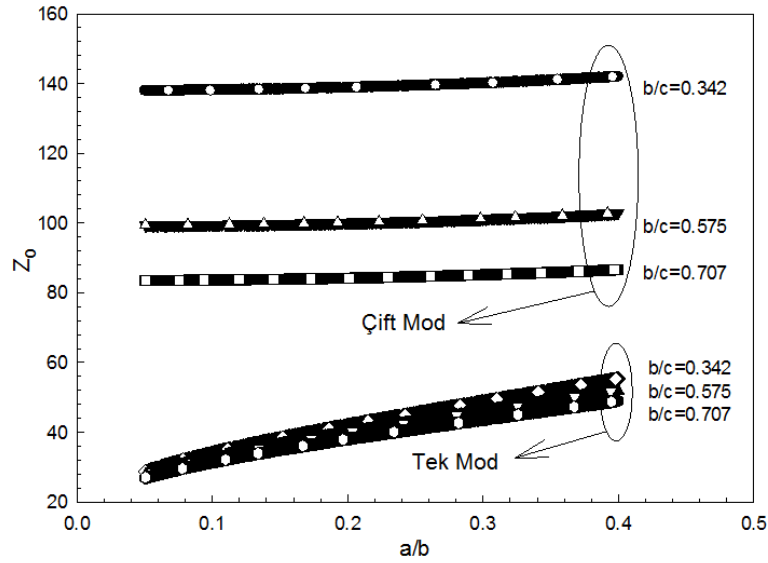
KDT analizinden ECCPW kuplajlı iletim hattı tek ve çift mod için bulanık modelleri kurmak amacıyla 2000 adet eğitim verisi ve geçerliliğini teyit etmek amacıyla 1600 adet kontrol verisi kullanılmıştır. Modelleri kurmak için kullanılan eğitim veri çiftleri ve modelleri doğrulamak için kullanılan kontrol veri çiftleri birbirinden tamamen farklıdır. Her iki mod için model kurulumunda karakteristik empedans Z_o belli bir oranda çıkış olarak modellenmeye dahil edilmiştir. Eğitim ve kontrol veri çiftleri için geometrik oranlar $0.05 \leq a/b \leq 0.5$, $0.2 \leq b/c \leq 0.9$ ve $0.1 \leq b/h \leq 2$ aralığındadır.

En düşük hata değerlerini sağlayan kümeleme kriterleri komşuluk yarıçapı r_a ve sıkıştırma katsayısı η belirlendikten sonra ECCPW yapısı tek ve çift mod için bulanık modellerin sonuçları literatürde yer alan KDT sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Hanna ve Thebault 1984^b). Efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedans

sonuçları sırasıyla Şekil 3.15’de gösterilmektedir. Sırasıyla siyah çizgiler ve beyaz semboller ECCPW yapısı tek ve çift mod için efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} ile karakteristik empedans Z_o çıkışlarının KDT ve bulanık model sonuçlarını göstermektedir. Tek ve çift mod için tasarlanan bulanık modellerin karakteristik parametre çıkışlarını KDT yöntemi sonuçları ile uyum içerisinde bulduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, her bir moddan elde edilen empedanslar kullanılarak Şekil 3.16’da gösterildiği gibi kuplaj katsayıları hesaplanmıştır. Yine sırasıyla siyah çizgiler ve beyaz semboller KDT ve bulanık model sonuçlarını ifade etmektedir. Kuplaj katsayısı sonuçları her bir mod için ayrıca bulanık modellerin yüksek doğrulukta sonuç elde ettiğini göstermektedir.



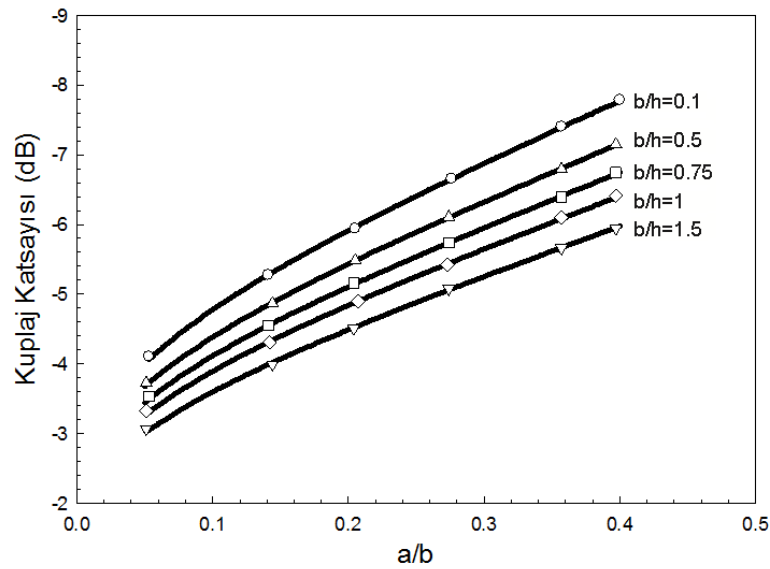
(a)



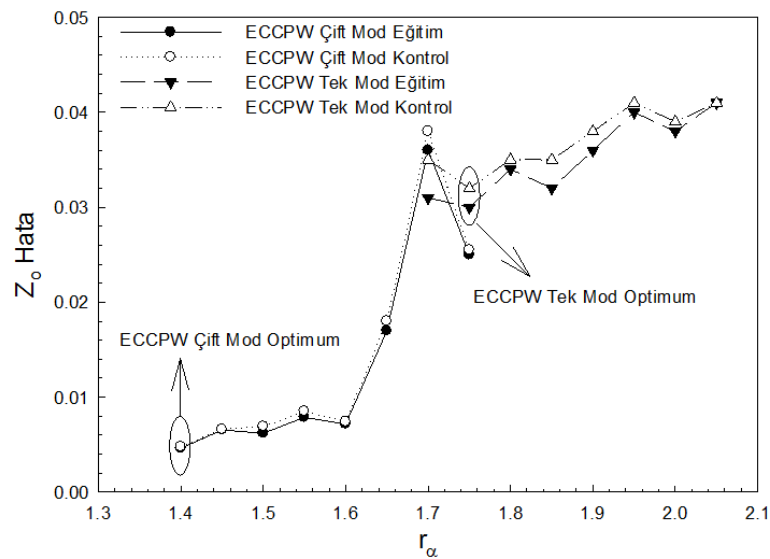
(b)

Şekil 3.15: ECCPW yapısı tek ve çift mod için a) Efektif dielektrik sabiti sonuçları b) Karakteristik empedans sonuçları ($\epsilon_r=9.9$, $b/h=0.5$).

ECCPW yapısı tek ve çift mod için bulanık mantık modelini en uygun şekilde elde etmek için komşuluk yarıçapı r_a ve sıkıştırma katsayısı η kümeleme kriterleri test edilmiştir. Şekil 3.17’de bulanık model eğitim ve kontrol verisi için komşuluk yarıçapı r_a ’ya bağlı olarak karakteristik empedans hata değişimi gösterilmektedir. Eğitim ve kontrol veri çiftlerinin en düşük ortak hata değerleri en uygun sonuçları vermektedir. Optimum sonuçlara karşılık gelen kural sayısı ile birlikte komşuluk yarıçapı ve sıkıştırma faktörü değerleri Tablo 3.9’da gösterilmektedir. Optimum komşuluk yarıçapı r_a ’dan elde edilen eğitim ve kontrol verilerinin RMSE değerleri Tablo 3.10’da gösterilmektedir.



Şekil 3.16: ECCPW yapısı tek ve çift mod için kuplaj katsayısı sonuçları ($\epsilon_r=9.9$, $b/c=0.342$).



Şekil 3.17: ECCPW yapısı tek ve çift mod için karakteristik empedans eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı.

Tablo 3.9: ECCPW yapısı tek ve çift mod için optimum parametre değerleri ve kural sayısı

Model Tipi	r_α	η	Kural Sayısı
ECCPW (Tek Mod)	1.75	1	16
ECCPW (Çift Mod)	1.4	1	35

Tablo 3.10: ECCPW yapısı tek ve çift mod için optimum komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri

Model Tipi	Eğitim RMSE		Kontrol RMSE	
	ϵ_{eff}	Z_o	ϵ_{eff}	Z_o
ECCPW (Tek Mod)	8.37e-3	0.030	14.93e-3	0.032
ECCPW (Çift Mod)	1.8e-3	0.046	1.95e-3	0.048

3.2.2 İletken Destekli Kenar Kuplajlı Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu için Kurulan Bulanık Model

Bu bölümde bulanık mantık modeli tasarlamak amacıyla CBECCPW (İletken Destekli Kenar Kuplajlı Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu) yapısı ele alındı. Şekil 3.18a'da kesit görünümü verilen bu yapının karakteristik parametreleri için analitik ifadeler daha önce KDT yöntemi kullanılarak elde edilmiştir (Hanna 1985).

Bu yapıda ECCPW kuplajlı iletim hattında olduğu gibi merkez iletkenler bağıl dielektrik sabiti ϵ_r ve kalınlığı h olan malzeme üzerine yerleştirilmiştir. Merkez iletkenlerin genişlikleri yine S ile temsil edilir; bu iletkenler arasındaki yarı genişliği bir önceki yapıda olduğu gibi $d=2a$ mesafesinde olup merkez iletkenler ile üst toprak düzlemleri arasındaki mesafeler yine W ile gösterilmektedir. ECCPW iletim hattına iletken destek eklenmesiyle elde edilen bu yapı istenmeyen güç kayıplarını önlemektedir. CBECCPW yapısında iletken destek sayesinde mekanik mukavemet ve ısı emme özellikleri iyileştirilmiştir. Bu yapıda da tek mod ve çift mod iki ayrı durumu temsil ettiğinden, her mod için farklı modeller tasarlanmıştır. Tasarlanan modeller, Şekil 3.18b'de gösterildiği gibi iki giriş ve iki çıkışa sahiptir. Girişler olarak b/h ile a/b geometrik oranları ve bulanık modellerimizin çıktılarını olarak efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} ile karakteristik empedans Z_o alınmıştır. İlgili iletim hattı için Şekil 3.18b'de

gösterilen mimari kullanılarak bulanık modellerin doğruluğunu test etmek amacıyla her bir moddan elde edilen empedanslar ayrıca değerlendirilerek iletim hattının kuplaj katsayıları (KK) hesaplanmaktadır.

CBECCPW konfigürasyonu için KDT dönüşüm yöntemiyle tek ve çift mod karakteristik empedanslar hesaplanırken sırasıyla tek ve çift mod için birim uzunluk başına efektif kapasitanslar elde edilmeye çalışılır. Her bir mod için birim uzunluk başına toplam kuplaj kapasitansı iletim hattının yarı serbest uzay bölgesindeki kapasitesi ile dielektrik dolgulu ve iletken destekle sınırlandırılan diğer yarı bölgedeki kapasitenin toplamına eşittir. Serbest uzay bölgesindeki kapasite C_o' ve dielektrik dolgulu bölgedeki kapasite C_o'' olmak üzere her bir mod için toplam kapasite (3.11) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$C_{o(t,\varphi)} = C_{o(t,\varphi)'} + C_{o(t,\varphi)''} \quad (3.11)$$

Tek mod için serbest uzay bölgesindeki kapasite (3.12) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$C_{o(tek)'} = \varepsilon_0 [K(\beta_1) / K'(\beta_1)] \quad (3.12)$$

Çift mod için serbest uzay bölgesindeki kapasite (3.13) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$C_{o(\text{çift})'} = \varepsilon_0 [K(\beta_1 k_1) / K'(\beta_1 k_1)] \quad (3.13)$$

Burada ara parametreler (3.14) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \sqrt{[(1-y^2)/(1-k_1^2 y^2)]} \\ k_1 &= \frac{d+2S}{d+2S+2W} = \frac{b}{c} \\ k_1 &= \frac{d+2S}{d+2S+2W} = \frac{b}{c} \end{aligned} \quad (3.14)$$

Burada $K(k)$ birinci dereceden tam eliptik integral olup (3.15) eşitliğindeki formüller bu integral için geçerlidir.

$$\begin{aligned} K'(k) &= K(k') \\ k' &= \sqrt{1-k^2} \end{aligned} \quad (3.15)$$

Tek mod için dielektrik dolgulu bölgedeki kapasite $C_{o(tek)}$ hesabı için KDT yöntemi uygulanırken merkez iletkenler arasındaki yarık genişliğinin ortasıyla alttaki iletken desteğinin ortası arasında bir elektrik duvar olduğu varsayılır. Dolayısıyla, tek mod için efektif dielektrik sabiti $\epsilon_{eff(tek)}$ ve karakteristik empedans $Z_{o(tek)}$ analitik kapalı form ifadeleri (3.16) ve (3.17) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$\epsilon_{eff(tek)} = \frac{[2\epsilon_r \frac{K(k_0)}{K'(k_0)} + \frac{K(\beta_1)}{K'(\beta_1)}]}{[2 \frac{K(k_0)}{K'(k_0)} + \frac{K(\beta_1)}{K'(\beta_1)}]} \quad (3.16)$$

$$Z_{o(tek)} = \frac{120\pi}{\{\sqrt{\epsilon_{eff(tek)}} [2 \frac{K(k_0)}{K'(k_0)} + \frac{K(\beta_1)}{K'(\beta_1)}]\}} \quad (3.17)$$

Burada k_0 modülü (3.18) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$k_0 = \lambda \frac{-(\lambda^2 - t_c^2)^{\frac{1}{2}} + (\lambda^2 - t_B^2)^{\frac{1}{2}}}{t_B(\lambda^2 - t_c^2)^{\frac{1}{2}} + t_c(\lambda^2 - t_B^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (3.18)$$

Burada ara parametreler (3.19) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{1}{2} \sinh^2 \left[\frac{\pi}{2h} \left(\frac{d}{2} + S + W \right) \right] \\ t_c &= \sinh^2 \left[\frac{\pi}{2h} \left(\frac{d}{2} + S \right) \right] - \lambda \\ t_B &= \sinh^2 \left(\frac{\pi d}{4h} \right) - \lambda \end{aligned} \quad (3.19)$$

Benzer şekilde çift mod için dielektrik dolgulu bölgedeki kapasite $C_{o(\text{çift})}$ hesabı için KDT yöntemi uygulanırken merkez iletkenler arasındaki yarık genişliğinin ortasıyla alttaki iletken desteğinin ortası arasında bir manyetik duvar olduğu varsayılır. Dolayısıyla, çift mod için efektif dielektrik sabiti $\epsilon_{\text{eff}(\text{çift})}$ ve karakteristik empedans $Z_{o(\text{çift})}$ analitik kapalı form ifadeleri (3.20) ve (3.21) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$\epsilon_{\text{eff}(\text{çift})} = \frac{[2\epsilon_r \frac{K(k_e)}{K'(k_e)} + \frac{K(\beta_1 k_1)}{K'(\beta_1 k_1)}]}{[2 \frac{K(k_e)}{K'(k_e)} + \frac{K(\beta_1 k_1)}{K'(\beta_1 k_1)}]} \quad (3.20)$$

$$Z_{o(\text{çift})} = \frac{120\pi}{\{\sqrt{\epsilon_{\text{eff}(\text{çift})}} [2 \frac{K(k_e)}{K'(k_e)} + \frac{K(\beta_1 k_1)}{K'(\beta_1 k_1)}]\}} \quad (3.21)$$

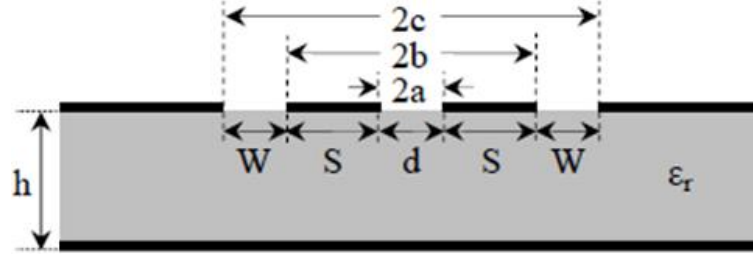
Burada k_e modülü (3.22) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$k_e = \lambda' \frac{-(\lambda'^2 - t_C'^2)^{\frac{1}{2}} + (\lambda'^2 - t_B'^2)^{\frac{1}{2}}}{t_B'(\lambda'^2 - t_C'^2)^{\frac{1}{2}} + t_C'(\lambda'^2 - t_B'^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (3.22)$$

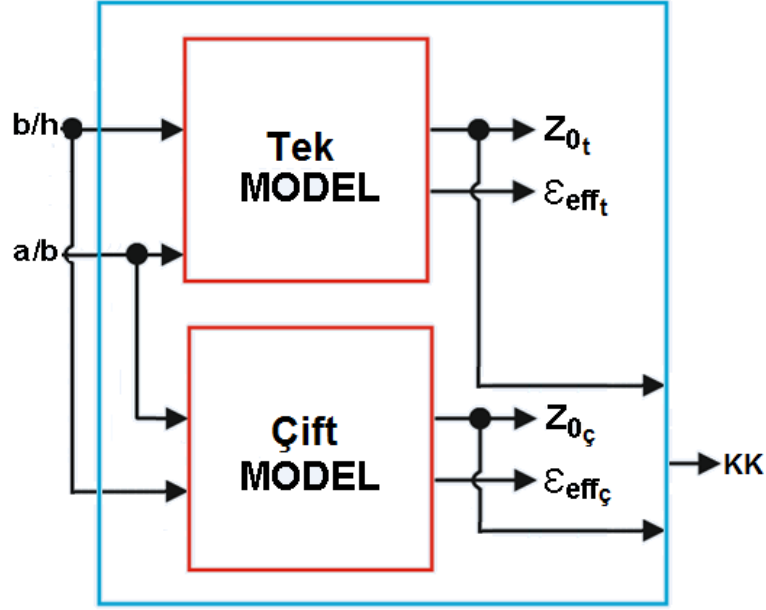
Burada ara parametreler (3.23) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} \lambda' &= \frac{1}{2} \cosh^2 \left[\frac{\pi}{2h} \left(\frac{d}{2} + S + W \right) \right] \\ t_C' &= \sinh^2 \left[\frac{\pi}{2h} \left(\frac{d}{2} + S \right) \right] - \lambda' + 1 \\ t_B' &= \sinh^2 \left(\frac{\pi d}{4h} \right) - \lambda' + 1 \end{aligned} \quad (3.23)$$

Eş düzlemsel dalga kılavuzu davranışını garanti etmek ve CBECCPW tasarımını alt tabaka kalınlığından bağımsız hale getirmek için $d + 2S + 2W \leq h$ eşitliği sağlanmalıdır. Bu sınırın ötesinde, yukarıdaki kapalı form ifadeleri kullanılmalıdır.



(a)



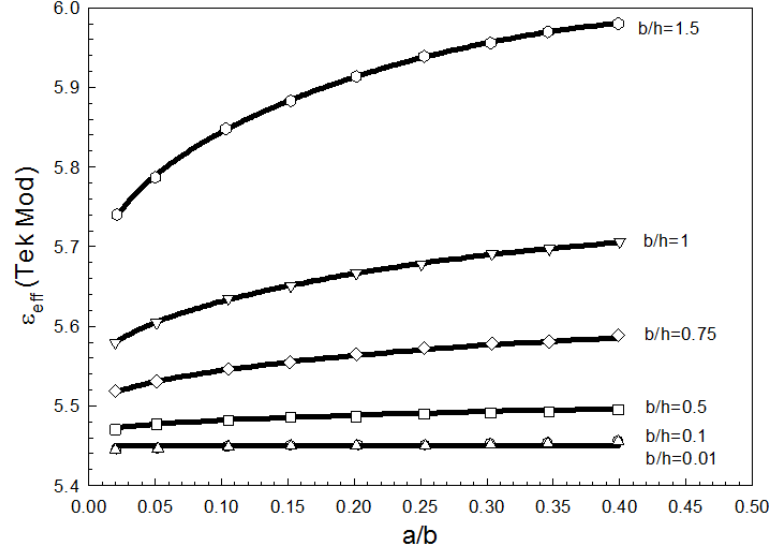
(b)

Şekil 3.18: CBECCPW a) Yapısı b) Önerilen bulanık model mimarisi.

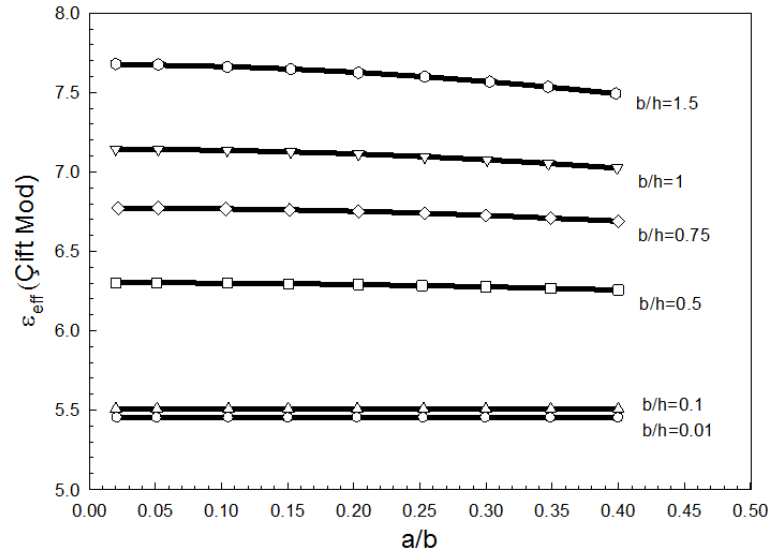
KDT analizinden CBECCPW kuplajlı iletim hattı tek ve çift mod için bulanık modelleri oluşturmak amacıyla 1280 adet eğitim verisi ve geçerliliğini tasdik etmek amacıyla 1000 adet kontrol verisi kullanılmıştır. Modelleri tesis etmek için kullanılan eğitim veri çiftleri ve modelleri doğrulamak için kullanılan kontrol veri çiftleri birbirinden tamamen farklıdır. Her iki mod için model kurulumunda karakteristik empedans Z_0 belli bir oranda çıkış olarak modellemeye dahil edilmiştir. Eğitim ve kontrol veri çiftleri için geometrik oranlar $0.01 \leq a/b \leq 0.5$ ve $0.01 \leq b/h \leq 2$ aralığındadır.

En düşük hata değerlerini sağlayan kümeleme kriterleri komşuluk yarıçapı r_a ve sıkıştırma katsayısı η belirlendikten sonra CBECCPW yapısı tek ve çift mod için bulanık modellerin sonuçları literatürde yer alan KDT sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Hanna 1985). Efektif dielektrik sabiti sonuçları Şekil 3.19'da gösterilirken karakteristik empedans çıkışları ise Şekil 3.20'de temsil edilmektedir. Sırasıyla siyah çizgiler ve beyaz semboller CBECCPW yapısı tek ve çift mod için efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} ile karakteristik empedans Z_0 çıkışlarının KDT ve bulanık model çıkışlarını

göstermektedir. Tek ve çift mod için tesis edilen bulanık modellerin karakteristik parametre çıkışlarını KDT yöntemi sonuçları ile uyum içerisinde bulduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, her bir moddan elde edilen empedanslar değerlendirilerek Şekil 3.21’de gösterildiği gibi kuplaj katsayıları hesaplanmıştır. Yine sırasıyla siyah çizgiler ve beyaz semboller KDT ve bulanık model sonuçlarını ifade etmektedir. Kuplaj katsayısı sonuçları her bir mod için ayrıca bulanık modellerin yüksek doğrulukta sonuç elde ettiğini göstermektedir.



(a)

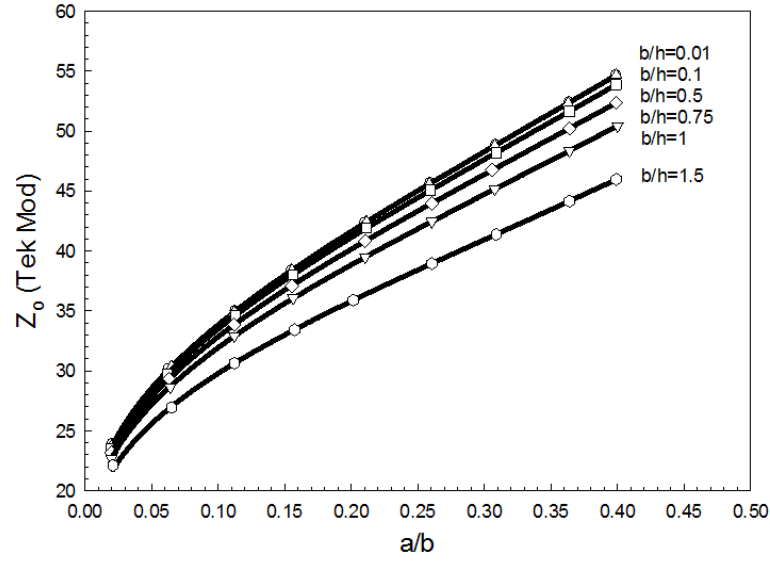


(b)

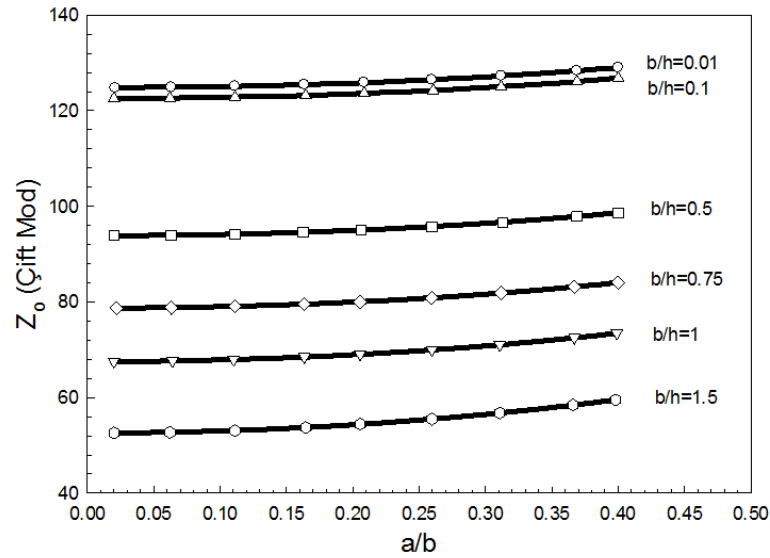
Şekil 3.19: CBECCPW yapısı efektif dielektrik sabiti sonuçları a) Tek mod b) Çift mod ($\epsilon_r=9.9$, $b/c=0.342$).

CBECCPW yapısı tek ve çift mod için bulanık mantık modelini en uygun şekilde elde etmek için komşuluk yarıçapı r_a ve sıkıştırma katsayısı η kümeleme ölçütleri denenmiştir. Şekil 3.22’de bulanık model eğitim ve kontrol verisi için

komşuluk yarıçapı r_a 'ya bağlı olarak karakteristik empedans hata değişimi gösterilmektedir. Eğitim ve kontrol veri çiftlerinin en düşük ortak hata değerleri en uygun sonuçları vermektedir. Optimum sonuçlara karşılık gelen kural sayısı ile birlikte komşuluk yarıçapı ve sıkıştırma faktörü değerleri Tablo 3.11'de gösterilmektedir. Optimum komşuluk yarıçapı r_a 'dan elde edilen eğitim ve kontrol verilerinin RMSE değerleri Tablo 3.12'de gösterilmektedir.

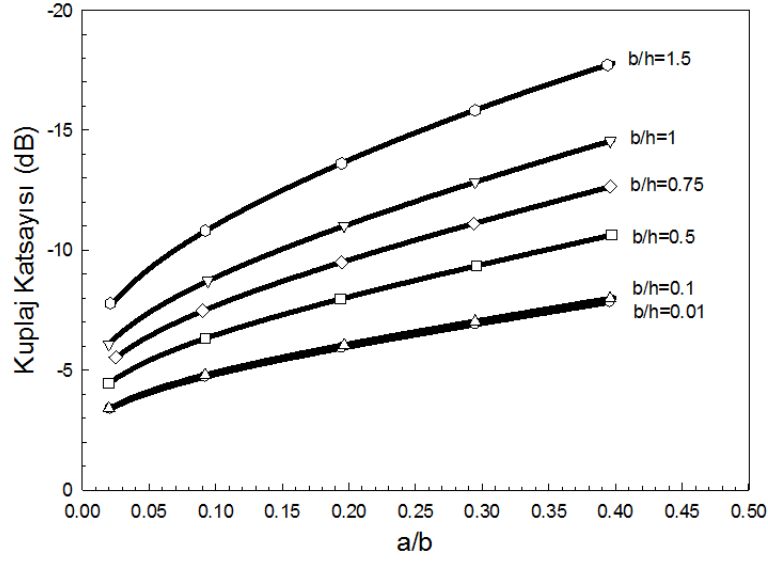


(a)

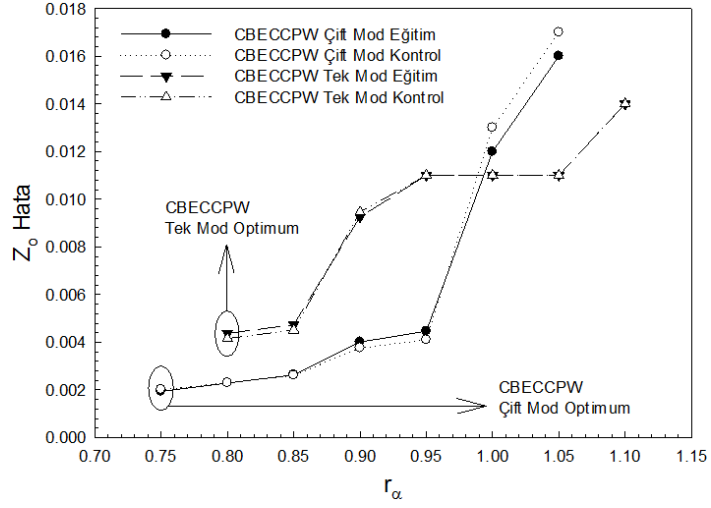


(b)

Şekil 3.20: CBECCPW yapısı karakteristik empedans sonuçları a) Tek mod b) Çift mod ($\epsilon_r=9.9$, $b/c=0.342$).



Şekil 3.21: CBECCPW yapısı tek ve çift mod için kuplaj katsayısı sonuçları ($\epsilon_r=9.9$, $b/c=0.342$).



Şekil 3.22: CBECCPW yapısı tek ve çift mod karakteristik empedans eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı.

Tablo 3.11: CBECCPW yapısı tek ve çift mod için optimum parametre değerleri ve kural sayısı

Model Tipi	r_α	η	Kural Sayısı
CBECCPW (Tek Mod)	0.8	1.45	33
CBECCPW (Çift Mod)	0.75	1.45	31

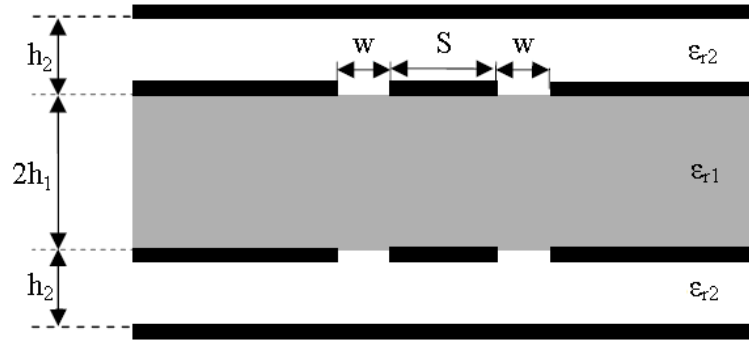
Tablo 3.12: CBECCPW yapısı tek ve çift mod için optimum komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri

Model Tipi	Eğitim RMSE		Kontrol RMSE	
	ϵ_{eff}	Z_0	ϵ_{eff}	Z_0
CBECCPW (Tek Mod)	4.3e-4	4.37e-3	4.49e-4	4.15e-3
CBECCPW (Çift Mod)	7.65e-4	1.94e-3	6.7e-4	2.01e-3

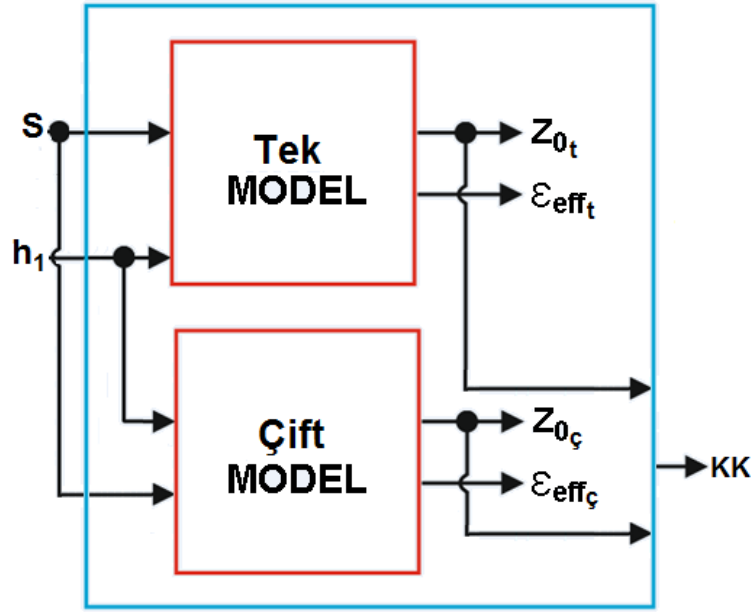
3.2.2 İki Yanlı Alt ve Üst Korumalı Kuplajlı Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu için Kurulan Bulanık Model

Bu bölümde bulanık mantık modeli tasarlamak amacıyla BCCPW (İki Yanlı Alt ve Üst Korumalı Kuplajlı Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu) yapısı ele alındı. Şekil 3.23a'da kesit görünümü verilen bu yapının karakteristik parametreleri için analitik ifadeler daha önce KDT yöntemi kullanılarak elde edilmiştir (Bedair ve Wolff 1989).

Bu yapıda bağıl dielektrik sabiti ϵ_{r1} ve $2h_1$ kalınlığındaki malzemenin her iki tarafına merkez iletkenler simetrik olarak yerleştirilmiştir. Mikrodalga entegre devrelerde (MIC) orta kısımda yer alan merkez iletkenlerin ve toprak düzlemlerin h_2 mesafesi kadar altına ve üstüne bağlantı kolaylığı amacıyla iletken korumalar ilave edilmiştir. Alt ve üst korumalar ile merkez iletkenler arası dolgu malzemesi olarak bağıl dielektrik sabiti ϵ_{r2} olan bir diğer dielektrik malzeme kullanılmıştır. Alt ve üst korumalı bu yapılar, sıkı ve gevşek bağlantı ile çift ve tek modlu faz hızları arasında büyük bir orana sahip olabilir. Büyük mod hız oranları olan BCCPW'ler bant geçiren filtre uygulamalarında başarılı bir şekilde kullanılmıştır (Nguyen 1992). Ek olarak, sıkı bağlantı özelliği, çeşitli ışın demetleri oluşturan kalıp dizi antenlerin tasarımında kullanılan yönlü kuplörler için oldukça uygundur (Funada ve diğ. 1996). BCCPW yapısında da tek mod ve çift mod iki ayrı durumu temsil ettiğinden, her mod için farklı modeller tasarlanmıştır. Tasarlanan modeller, Şekil 3.23b'de gösterildiği gibi iki giriş ve iki çıkışa sahiptir. Girişler olarak merkez iletken genişliği S ile yarı malzeme kalınlığı h_1 ve bulanık modellerimizin çıktılarını olarak efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} ile karakteristik empedans Z_o alınmıştır. İlgili iletim hattı için Şekil 3.23b'de gösterilen mimari kullanılarak bulanık modellerin doğruluğunu test etmek amacıyla her bir moddan elde edilen empedanslar ayrıca değerlendirilerek iletim hattının kuplaj katsayıları (KK) elde edilmekte ve teyit işlemi gerçekleştirilmektedir.



(a)



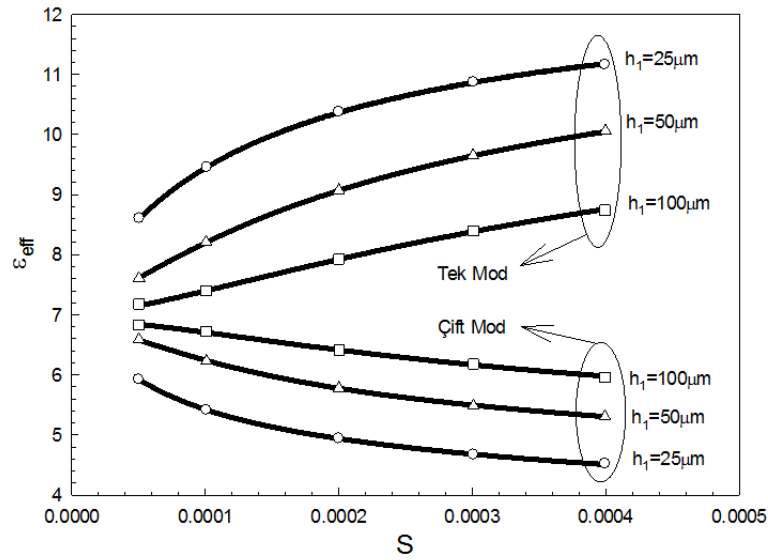
(b)

Şekil 3.23: BCCPW a) Yapısı b) Önerilen bulanık model mimarisi.

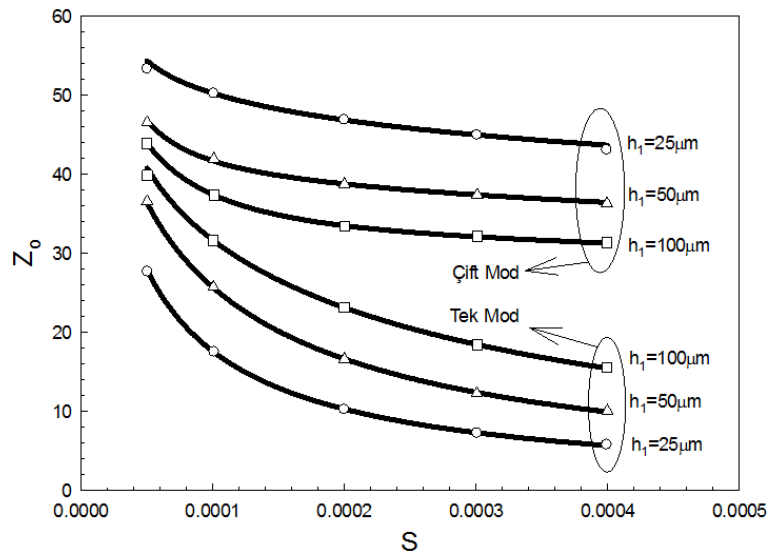
KDT analizinden BCCPW kuplajlı iletim hattı tek ve çift mod için bulanık modelleri kurmak amacıyla 2000 adet eğitim verisi ve geçerliliğini doğrulamak amacıyla 1600 adet kontrol verisi kullanılmıştır. Modelleri tesis etmek için kullanılan eğitim veri çiftleri ve modelleri teyit etmek için kullanılan kontrol veri çiftleri birbirinden tamamen farklıdır. Eğitim ve kontrol veri çiftleri için giriş parametreleri $0.00005 \leq S \leq 0.0004$ ve $0.000025 \leq h_1 \leq 0.0001$ metre aralığındadır.

En düşük hata değerlerini sağlayan kümeleme ölçütleri komşuluk yarıçapı r_a ve sıkıştırma katsayısı η belirlendikten sonra BCCPW yapısı tek ve çift mod için bulanık modellerin sonuçları literatürde yer alan KDT sonuçlarıyla mukayese edilmiştir (Bedair ve Wolff 1989). Efektif dielektrik sabiti sonuçları Şekil 3.24a'da gösterilirken karakteristik empedans çıkışları ise Şekil 3.24b'de ifade edilmektedir.

Sırasıyla siyah çizgiler ve beyaz semboller BCCPW yapısı tek ve çift mod için efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} ile karakteristik empedans Z_0 çıkışlarının KDT ve bulanık model çıkışlarını göstermektedir. Tek ve çift mod için kurulan bulanık modellerin karakteristik parametre çıkışlarını KDT yöntemi sonuçları ile uyum içerisinde bulunduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, her bir moddan elde edilen empedanslar değerlendirilerek Şekil 3.25’de gösterildiği gibi kuplaj katsayıları elde edilmiştir. Yine sırasıyla siyah çizgiler ve beyaz semboller KDT ve bulanık model sonuçlarını temsil etmektedir. Kuplaj katsayısı sonuçları her bir mod için ayrıca bulanık modellerin yüksek doğrulukta sonuç elde ettiğini göstermektedir.

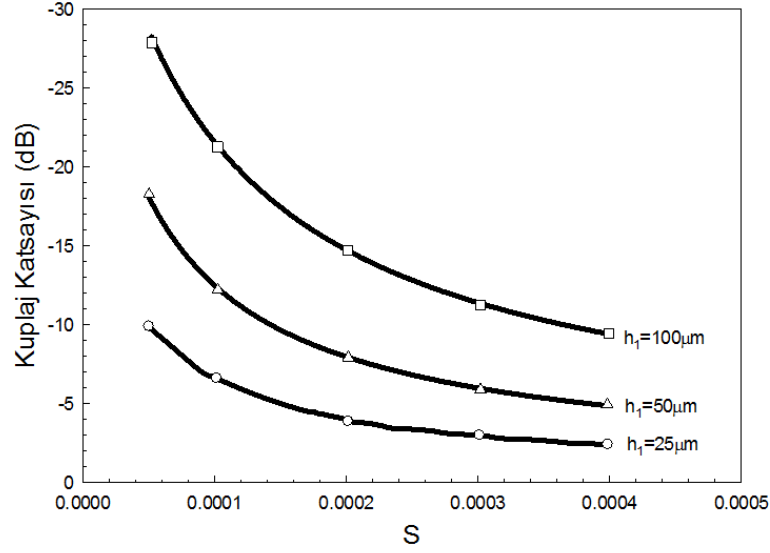


(a)



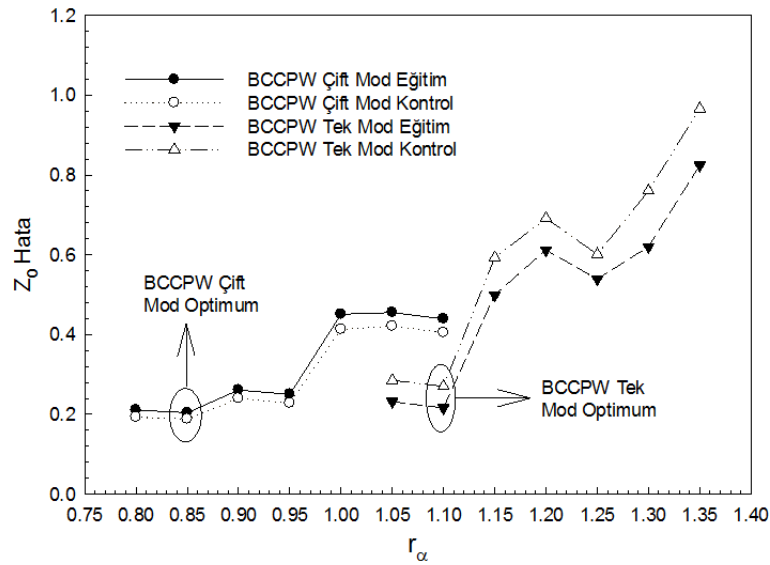
(b)

Şekil 3.24: BCCPW yapısı tek ve çift mod için a) Efektif dielektrik sabiti sonuçları b) Karakteristik empedans sonuçları ($w=20 \mu\text{m}$, $h_2=1000 \mu\text{m}$, $\epsilon_{r2}=1$, $\epsilon_{r1}=12.9$).



Şekil 3.25: BCCPW yapısı tek ve çift mod için kuplaj katsayısı sonuçları ($w=20 \mu\text{m}$, $h_2=1000 \mu\text{m}$, $\epsilon_{r2}=1$, $\epsilon_{r1}=12.9$).

BCCPW yapısı tek ve çift mod için bulanık mantık modelini en uygun şekilde elde etmek için komşuluk yarıçapı r_α ve sıkıştırma katsayısı η kümeleme ölçütleri test edilmiştir. Şekil 3.26'da bulanık model eğitim ve kontrol verisi için komşuluk yarıçapı r_α 'ya bağlı olarak karakteristik empedans hata değişimi gösterilmektedir. Eğitim ve kontrol veri çiftlerinin en düşük ortak hata değerleri en uygun sonuçları vermektedir. Optimum sonuçlara karşılık gelen kural sayısı ile birlikte komşuluk yarıçapı ve sıkıştırma faktörü değerleri Tablo 3.13'de verilmektedir. Optimum komşuluk yarıçapı r_α 'dan elde edilen eğitim ve kontrol verilerinin RMSE değerleri Tablo 3.14'de gösterilmektedir.



Şekil 3.26: BCCPW yapısı tek ve çift mod karakteristik empedans eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı.

Tablo 3.13: BCCPW yapısı tek ve çift mod için optimum parametre değerleri ve kural sayısı

Model Tipi	r_a	η	Kural Sayısı
BCCPW (Tek Mod)	1.1	1	35
BCCPW (Çift Mod)	0.85	1.3	33

Tablo 3.14: BCCPW yapısı tek ve çift mod için optimum komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri

Model Tipi	Eğitim RMSE		Kontrol RMSE	
	ϵ_{eff}	Z_o	ϵ_{eff}	Z_o
BCCPW (Tek Mod)	14.3e-3	0.2164	22.4e-3	0.27
BCCPW (Çift Mod)	12.8e-3	0.2039	14.6e-3	0.1882

3.2.3 İki Yanlı Kuplajlı V şeklindeki İletken Destekli Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu için Kurulan Bulanık Model

Bu bölümde bulanık mantık modeli tasarlamak amacıyla BCVCBCPW (İki Yanlı Kuplajlı V şeklindeki İletken Destekli Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu) yapısı ele alındı. Şekil 3.27a’da kesit görünümü verilen bu yapının karakteristik parametreleri için analitik ifadeler daha önce KDT yöntemi kullanılarak elde edilmiştir (Karpuz ve diğ. 2000).

Bu yapıda ϵ_{r2} bağıl dielektrik sabiti ve $2h_2$ kalınlığına sahip dielektrik tabakanın her iki tarafında karşılıklı konumlandırılmış iki adet iki yanlı kuplajlı şerit bulunmaktadır. Bu iletim hattı, paralel olarak yerleştirilmiş iki adet aralarında D boşluğu bulunan iki toprak düzlem ile onların arasında yer alan w uzunluğuna sahip merkez iletken oluşmaktadır. Yine bu yapıda, bağıl geçirgenliği ϵ_{r1} olan h_1 kalınlığına sahip dielektrik malzemeler karşılıklı olarak yerleştirilmiştir. Bu şekilde bir kuplajlı tasarımda, deliklere ihtiyaç duyulmadan yan zemin düzlemlerinin alt zemin düzlemlerine irtibatı yapılabilir. Böyle bir yapı, minyatür filtre uygulamalarında oldukça kullanışlı olabilir (Karpuz ve diğ. 2000). BCVCBCPW yapısında da tek mod ve çift mod iki ayrı durumu temsil ettiğinden, her mod için farklı modeller

tasarlanmıştır. Tasarlanan modeller, Şekil 3.27b’de gösterildiği gibi dört giriş ve iki çıkışa sahiptir. Girişler olarak a/b ve h_1/h_2 geometrik oranları ile dielektrik malzeme bağıl geçirgenliği ϵ_{r1} ve parlama açısı β alınmıştır. Yine efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} ve karakteristik empedans Z_o model çıkışları olarak alınmıştır. İlgili iletim hattı için Şekil 3.27b’de gösterilen mimari kullanılarak bulanık modellerin doğruluğunu teyit etmek amacıyla her bir moddan elde edilen empedanslar ayrıca değerlendirilerek iletim hattının kuplaj katsayıları (KK) elde edilmekte ve doğrulama işlemi gerçekleştirilmektedir.

Bu yapının KDT analizi yapılırken tüm iletkenlerin sonsuz incelikte ve mükemmel iletken olduğu varsayılmıştır. Ayrıca dielektrik sınırlar, içlerinde mükemmel manyetik duvarlar varmış gibi ele alınabilir. KDT analizi için yapının simetrik doğası nedeniyle, kesitin sadece yarısı dikkate alınabilir. Böylece aradaki ϵ_{r2} bağıl dielektrik sabiti ve $2h_2$ kalınlığına sahip dielektrik tabakanın tam ortasını simetri hattı olarak düşünürsek tek mod durumunda elektrik duvar ve çift mod durumunda manyetik duvar davranışı gösterecektir.

Tek mod durumunda simetri hattı elektrik duvarı olarak düşünüldüğünde bu durumda toplam kapasitans bağıl geçirgenliği ϵ_{r1} olan h_1 kalınlığındaki dielektrik tabakanın kapasitesi ile ϵ_{r2} bağıl dielektrik sabiti ve $2h_2$ kalınlığına sahip aradaki dielektrik tabakanın yarı bölgesindeki kapasitenin toplamına eşit olacaktır. Böylece birim uzunluk başına toplam kapasitans, (Cheng ve Robertson 1995^a, Cheng ve Robertson 1995^b, Ghione ve Naldi 1987) kaynaklarında gösterilen konform dönüşümleri esas alınarak (3.24) eşitliğindeki gibi elde edilebilir.

$$C_t = C_{t1} + C_{t2} = 2\epsilon_0 \left[\epsilon_{r1} \frac{K(k_{t1})}{K(k'_{t1})} + \epsilon_{r2} \frac{K(k_{t2})}{K(k'_{t2})} \right] \quad (3.24)$$

Burada $K(k)$ birinci dereceden tam eliptik integral olup k ve k' modülleri iletim hattının geometrik parametrelerinin fonksiyonu cinsinden (3.25) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$k_{t1} = \frac{t_a}{t_b}, \quad k'_{t1} = \sqrt{1 - k_{t1}^2} \quad (3.25)$$

$$k_{r2} = \frac{\tanh(\pi a / 2h_2)}{\tanh(\pi b / 2h_2)}, \quad k_{r2}' = \sqrt{(1 - k_{r2}^2)}$$

t_a ile t_b ara parametreleri (Cheng ve Robertson 1995^a) kaynağında verilen simetrik durum dikkate alınıp (3a)-(3d) eşitlikleri göz önüne alınarak ve (Cheng ve Robertson 1995^a) kaynağındaki analitik yöntem kullanılarak bulunmaktadır. Çift mod durumunda simetri hattı manyetik duvarı olarak düşünüldüğünde birim uzunluk başına toplam kapasitans tek mod toplam kapasitansın elde edilmesine benzer şekilde bulunacaktır. Dolayısıyla, birim uzunluk başına çift mod kapasitansı (3.26) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$C_\zeta = C_{\zeta 1} + C_{\zeta 2} = 2\varepsilon_0 \left[\varepsilon_{r1} \frac{K(k_{\zeta 1})}{K(k'_{\zeta 1})} + \varepsilon_{r2} \frac{K(k_{\zeta 2})}{K(k'_{\zeta 2})} \right] \quad (3.26)$$

Burada k ve k' modülleri (3.27) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$k_{\zeta 1} = k_{t1}$$

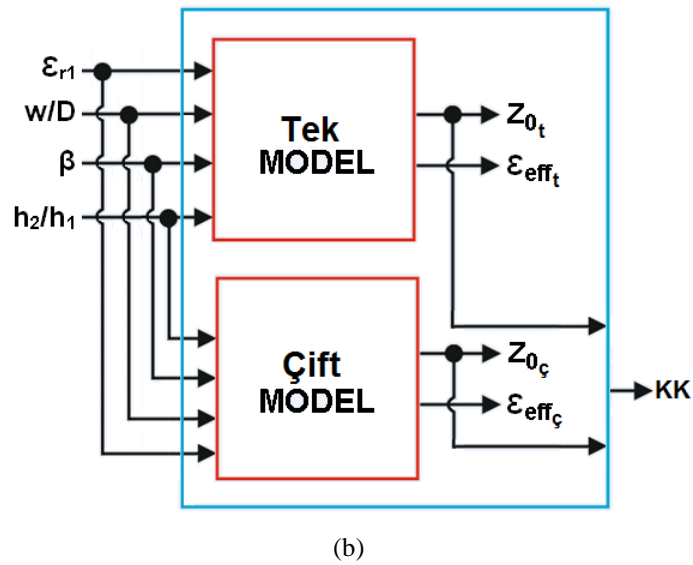
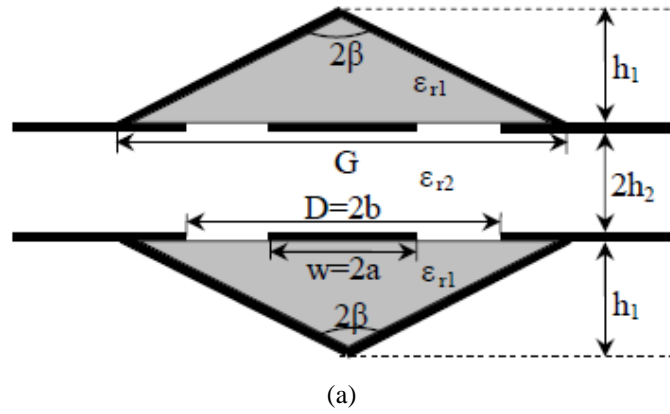
$$k_{\zeta 2} = \frac{\sinh(\pi a / 2h_2)}{\sinh(\pi b / 2h_2)}, \quad k_{\zeta 2}' = \sqrt{(1 - k_{\zeta 2}^2)} \quad (3.27)$$

Böylece, BCVCBCPW yapısı için mod empedansları $Z_{o(t,\zeta)}$ ve kuplaj katsayısı C (3.28) ve (3.29) eşitliğindeki gibi elde edilir.

$$Z_{o(t,\zeta)} = \frac{1}{c \sqrt{(C_{(t,\zeta)}(\varepsilon_r)) (C_{(t,\zeta)}(1))}} \quad (3.28)$$

$$C = \left[\frac{Z_{o(\zeta)} - Z_{o(t)}}{Z_{o(\zeta)} + Z_{o(t)}} \right] \quad (3.29)$$

Burada $C_{(t,\zeta)}(\varepsilon_r)$ iletim hattının tam kapasitesi, $C_{(t,\zeta)}(1)$ dielektrik malzeme serbest uzayla yer değiştirdiğinde iletim hattının tam kapasitesi ve C ışığın serbest uzaydaki hızıdır.

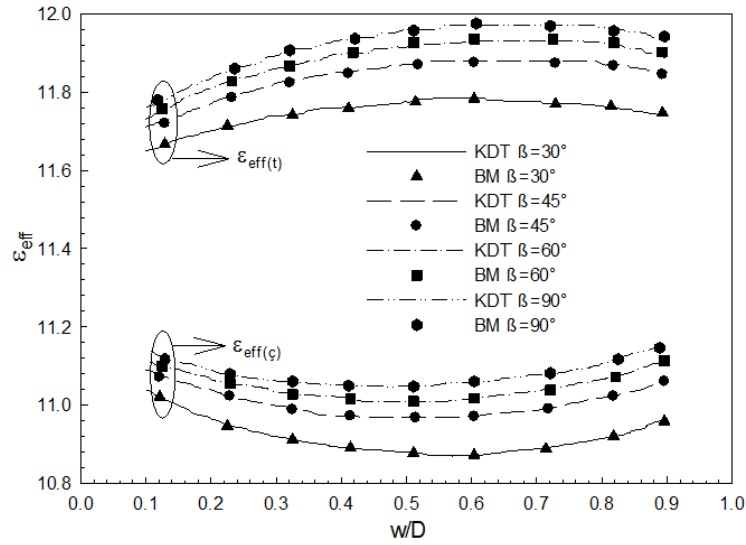


Şekil 3.27: BCVCBCPW a) Yapısı b) Önerilen bulanık model mimarisi.

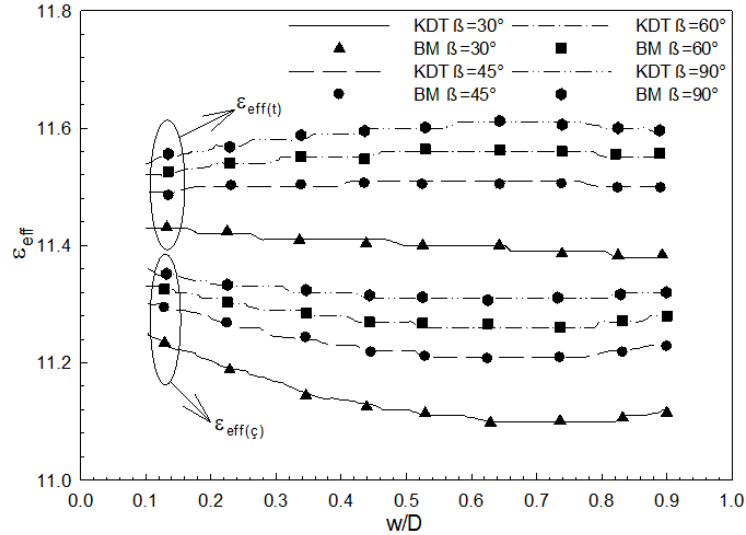
KDT analizinden BCVCBCPW kuplajlı iletim hattı tek ve çift mod için bulanık modelleri kurmak amacıyla 2000 adet eğitim verisi ve geçerliliğini teyit etmek amacıyla 1600 adet kontrol verisi kullanılmıştır. Modelleri kurmak için kullanılan eğitim veri çiftleri ve modelleri doğrulamak için kullanılan kontrol veri çiftleri birbirinden tamamen farklıdır. Eğitim ve kontrol veri çiftleri için giriş parametreleri $30^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$, $1 \leq \epsilon_{r1} \leq 10$, $0.1 \leq h_2/h_1 \leq 0.5$ ve $0.1 \leq w/D \leq 0.9$ aralığında belirlenmiştir.

En düşük hata değerlerini sağlayan kümeleme kriterleri komşuluk yarıçapı r_α ve sıkıştırma katsayısı η tayin edildikten sonra BCVCBCPW yapısı tek ve çift mod için bulanık modellerin çıkışları literatürde yer alan KDT sonuçlarıyla mukayese edilmiştir (Karpuz ve diğ. 2000). Efektif dielektrik sabiti sonuçları Şekil 3.28'de gösterilirken karakteristik empedans çıkışları ise Şekil 3.29'da temsil edilmektedir. Sırasıyla çizgiler ve semboller BCVCBCPW yapısı tek ve çift mod için efektif

dielektrik sabiti ϵ_{eff} ile karakteristik empedans Z_o çıkışlarının KDT ve bulanık model çıkışlarını göstermektedir. Tek ve çift mod için tesis edilen bulanık modellerin karakteristik parametre çıkışlarını KDT yöntemi sonuçları ile uyum içerisinde bulduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, her bir moddan bulunan empedanslar değerlendirilerek Şekil 3.30'da gösterildiği gibi kuplaj katsayıları elde edilmiştir. Sırasıyla çizgiler ve semboller KDT ve bulanık model sonuçlarını ifade etmektedir. Kuplaj katsayısı sonuçları her bir mod için ayrıca bulanık modellerin yüksek doğrulukta sonuç bulunduğunu göstermektedir. Bulanık model sonuçları BM ile ifade edilmiştir.



(a)

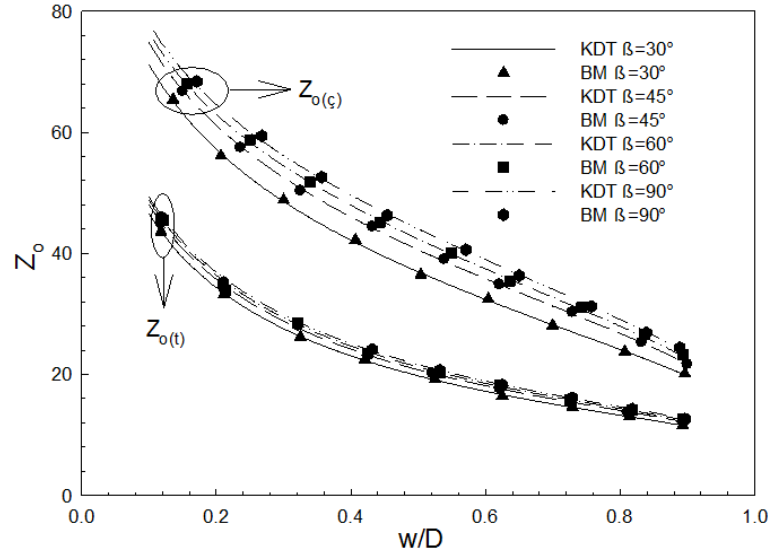


(b)

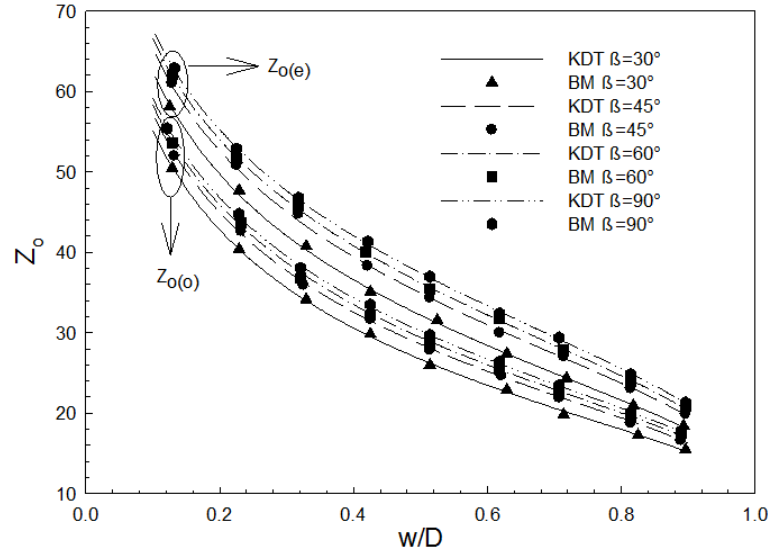
Şekil 3.28: BCVCBCPW yapısı efektif dielektrik sabiti tek ve çift mod sonuçları a) $h_2/h_1=0.2$ b) $h_2/h_1=0.5$ ($\epsilon_{r1}=10$, $\epsilon_{r2}=12.9$, $D/h_1=1$, $D=500 \mu m$, Parlama açısı $\beta=30^\circ-90^\circ$).

BCVCBCPW yapısı tek ve çift mod için bulanık mantık modelini en uygun şekilde elde etmek için komşuluk yarıçapı r_a ve sıkıştırma katsayısı η kümeleme

ölçütleri denenmiştir. Şekil 3.31’de bulanık model eğitim ve kontrol verisi için komşuluk yarıçapı r_a ’ya bağlı olarak karakteristik empedans hata değişimi gösterilmektedir. Eğitim ve kontrol veri çiftlerinin en düşük ortak hata değerleri en uygun sonuçları vermektedir. Optimum sonuçlara karşılık gelen kural sayısı ile birlikte komşuluk yarıçapı ve sıkıştırma faktörü değerleri Tablo 3.15’de gösterilmektedir. Optimum komşuluk yarıçapı r_a ’dan elde edilen eğitim ve kontrol verilerinin RMSE değerleri Tablo 3.16’da gösterilmektedir.

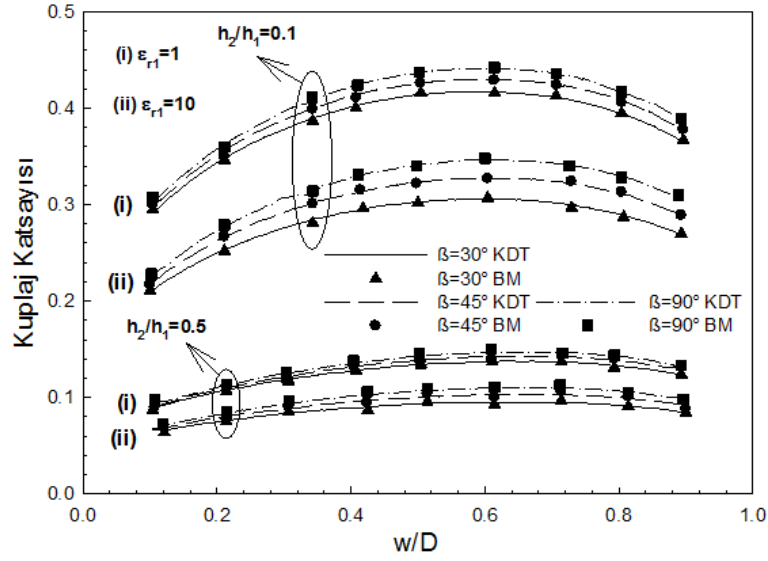


(a)

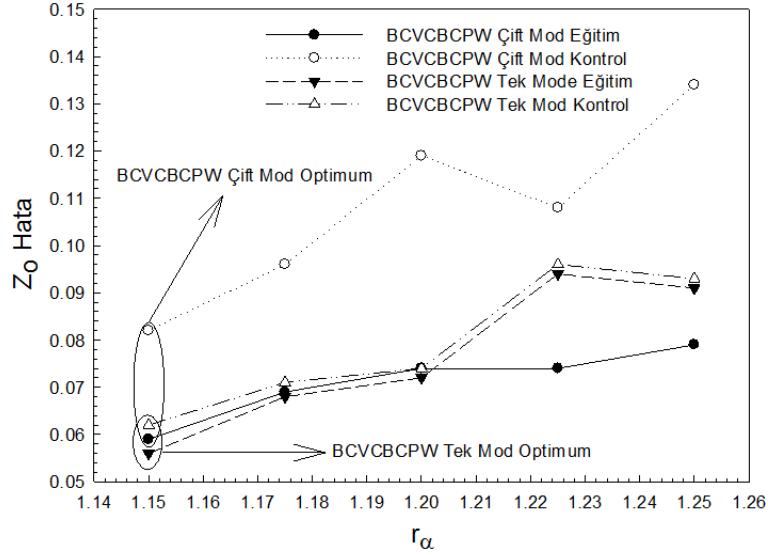


(b)

Şekil 3.29: BCVCBCPW yapısı karakteristik empedans tek ve çift mod sonuçları a) $h_2/h_1=0.2$ b) $h_2/h_1=0.5$ ($\epsilon_{r1}=10$, $\epsilon_{r2}=12.9$, $D/h_1=1$, $D=500 \mu\text{m}$, Parlama açısı $\beta=30^\circ - 90^\circ$).



Şekil 3.30: BCVCBCPW yapısı tek ve çift mod için kuplaj katsayısı sonuçları ($\epsilon_{r1}=1 - 10$, $\epsilon_{r2}=12.9$, $h_2/h_1=0.2 - 0.5$, $D/h_1=1$, $D=500 \mu\text{m}$, Parlama açısı $\beta=30^\circ - 90^\circ$).



Şekil 3.31: BCVCBCPW yapısı tek ve çift mod karakteristik empedans eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı.

Tablo 3.15: BCVCBCPW yapısı tek ve çift mod için optimum parametre değerleri ve kural sayısı

Model Tipi	r_α	η	Kural Sayısı
BCVCBCPW (Tek Mod)	1.15	1.4	32
BCVCBCPW (Çift Mod)	1.15	1.4	33

Tablo 3.16: BCVCBCPW yapısı tek ve çift mod için optimum komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri

Model Tipi	Eğitim RMSE		Kontrol RMSE	
	ϵ_{eff}	Z_0	ϵ_{eff}	Z_0
BCVCBCPW (Tek Mod)	4.33e-3	0.056	4.65e-3	0.062
BCVCBCPW (Çift Mod)	3.88e-3	0.059	9.43e-3	0.082

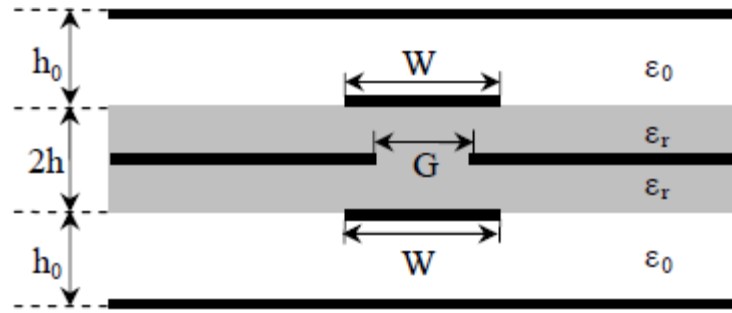
3.2.5 İki Yanlı Mikro Şerit Hatlar Arası Yarık-Kuplajlı Yönlü Kuplörler için Kurulan Bulanık Model

Bu bölümde bulanık mantık modeli tasarlamak amacıyla SCDCBDSML (İki Yanlı Mikro Şerit Hatlar Arası Yarık-Kuplajlı Yönlü Kuplörler) yapısı ele alındı. Şekil 3.32a’da kesit görünümü verilen bu yapının karakteristik parametreleri için analitik ifadeler daha önce KDT yöntemi ve Tam Dalga Analizi kullanılarak elde edilmiştir (Wong ve diğ. 1991).

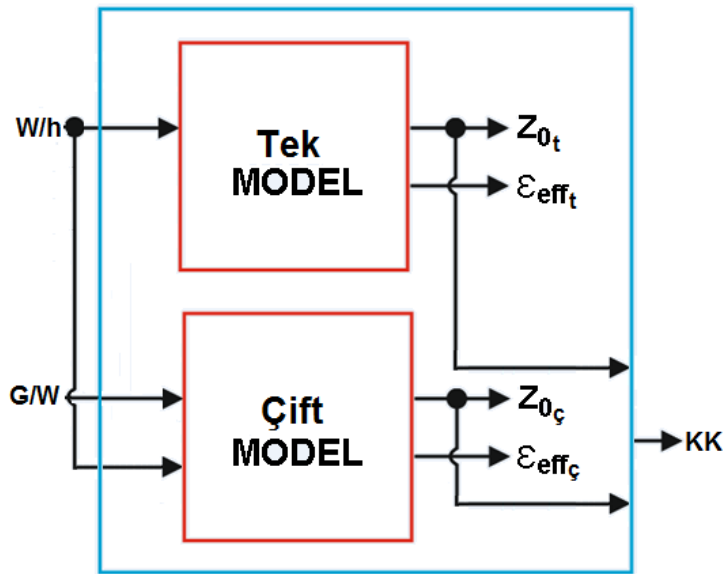
Bu yapıda karşılıklı konumlandırılan merkez iletkenlerin genişliği W ile toprak düzlemleri arası yarık uzunluğu ise G ile ifade edilmektedir. Bağlı dielektrik sabiti ϵ_r olan $2h$ kalınlığındaki ara malzemenin alt ve üst kısımlarında bu merkez iletkenler simetrik olarak yer almaktadır. İletim hattında bağlantıyı kolaylaştırmak için merkez iletkenlerin h_0 uzaklığı kadar altında ve üstünde iletken korumalar konumlandırılmıştır. Alt ve üst korumalar ile merkez iletkenler arası hava ile kaplanmıştır. Ortak toprak düzleminde dikdörtgen bir yarık ile kuplajı yapılan iki mikro şerit hattı arasındaki yarık-kuplajlı yönlü kuplör ilk olarak sonlu elemanlar yöntemiyle analizi yapılmıştır (Tanaka ve diğ. 1989). Bu kuplör, çoklu bağlantı noktasına sahip yükselteçlerin ve ışın oluşturan ağların tasarımında kullanılabilir. Bu tip kuplörlerden mikro şerit çaprazlama kullanımına ihtiyaç duyulmadan düzlemsel çoklu bağlantılı yönlü kuplörlerin yapımında faydalanılabilir. SCDCBDSML yapısı, hem sıkı hem de gevşek kuplaj değerlerinin elde edilmesini sağlar. SCDCBDSML yapısında da tek mod ve çift mod iki ayrı durumu temsil ettiğinden, her mod için farklı modeller tasarlanmıştır. Ortak toprak düzlemindeki yarık, korumalı mikro şerit hattına benzer şekilde kuplörün tek mod özelliklerini etkilememektedir. Bu sebeple SCDCBDSML yapısının tek mod bulanık modeli tek giriş – tek çıkış olacak şekilde

tasarlanmıştır. Tasarlanan modeller, Şekil 3.32b’de gösterildiği gibi iki çıkışa sahiptir. Yine efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} ve karakteristik empedans Z_o modellerin çıkışları olarak alınmıştır. Girişler olarak çift mod için G/W ile W/h ve tek mod için W/h geometrik oranları alınmıştır. İlgili iletim hattı için Şekil 3.32b’de gösterilen mimari kullanılarak bulanık modellerin doğruluğunu teyit etmek amacıyla her bir moddan elde edilen empedanslar ayrıca değerlendirilerek iletim hattının kuplaj katsayıları (KK) elde edilmekte ve doğrulama işlemi gerçekleştirilmektedir.

KDT analizinden SCDCBDSML kuplajlı iletim hattı tek ve çift mod için bulanık modelleri kurmak amacıyla sırasıyla 500 ile 2000 adet eğitim verisi ve geçerliliğini teyit etmek için 400 ile 1600 adet kontrol verisi kullanılmıştır. Modelleri kurmak için kullanılan eğitim veri çiftleri ve modelleri teyit etmek için kullanılan kontrol veri çiftleri birbirinden tamamen farklıdır. Eğitim ve kontrol veri çiftleri için giriş parametreleri $0.5 \leq G/W \leq 1.5$ ve $2 \leq W/h \leq 15$ aralığında belirlenmiştir.



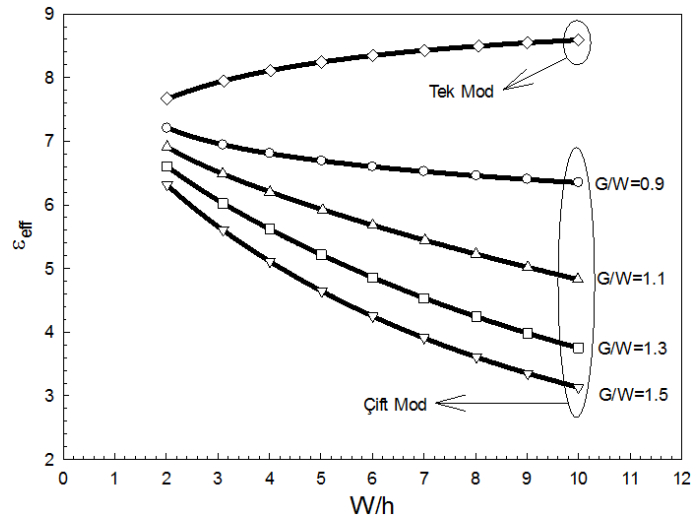
(a)



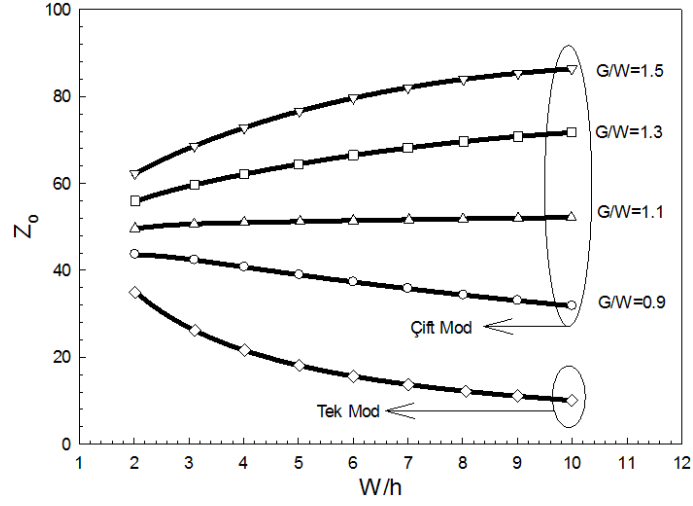
(b)

Şekil 3.32: SCDCBDSML a) Yapısı b) Önerilen bulanık model mimarisi.

En düşük hata değerlerini sağlayan kümeleme ölçütleri komşuluk yarıçapı r_a ve sıkıştırma katsayısı η belirlendikten sonra SCDCBDSML yapısı tek ve çift mod için bulanık modellerin çıkışları literatürde yer alan KDT sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Wong ve diğ. 1991). Efektif dielektrik sabiti sonuçları Şekil 3.33a'da gösterilirken karakteristik empedans çıkışları ise Şekil 3.33b'de ifade edilmektedir. Sırasıyla siyah çizgiler ve beyaz semboller SCDCBDSML yapısı tek ve çift mod için efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} ile karakteristik empedans Z_o çıkış parametrelerinin KDT ve bulanık model çıkışlarını göstermektedir. Tek ve çift mod için kurulan bulanık modellerin karakteristik parametre çıkışlarını KDT yöntemi sonuçları ile uyum içerisinde bulduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, her bir moddan bulunan empedanslar değerlendirilerek Şekil 3.34'de gösterildiği gibi kuplaj katsayıları elde edilmiştir. Sırasıyla siyah çizgiler ve beyaz semboller KDT ve bulanık model sonuçlarını temsil etmektedir. Kuplaj katsayısı sonuçları her bir mod için ayrıca bulanık modellerin yüksek doğrulukta çıkış elde ettiğini göstermektedir.



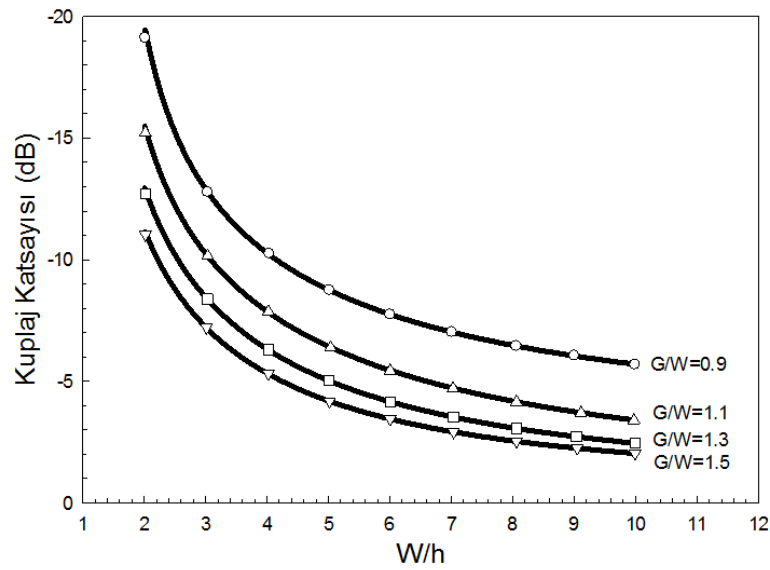
(a)



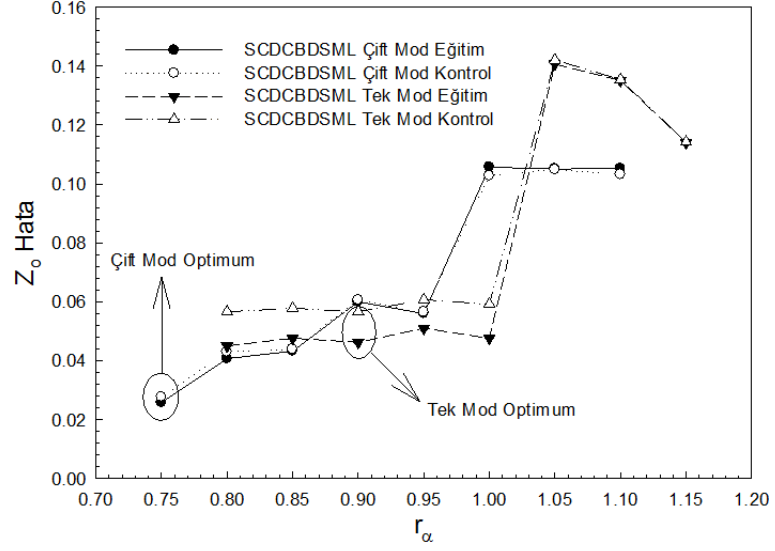
(b)

Şekil 3.33: SCDCBDSML yapısı tek ve çift mod için a) Efektif dielektrik sabiti sonuçları b) Karakteristik empedans sonuçları ($\epsilon_r=9.9$, $h_0/h=10$).

SCDCBDSML yapısı tek ve çift mod için bulanık mantık modelini en uygun şekilde elde etmek için komşuluk yarıçapı r_a ve sıkıştırma katsayısı η kümeleme ölçütleri denenmiştir. Şekil 3.35’de bulanık model eğitim ve kontrol verisi için komşuluk yarıçapı r_a ’ya bağlı olarak karakteristik empedans hata değişimi gösterilmektedir. Eğitim ve kontrol veri çiftlerinin en düşük ortak hata değerleri en uygun sonuçları vermektedir. Optimum sonuçlara karşılık gelen kural sayısı ile birlikte komşuluk yarıçapı ve sıkıştırma faktörü değerleri Tablo 3.17’de ifade edilmektedir. Optimum komşuluk yarıçapı r_a ’dan elde edilen eğitim ve kontrol verilerinin RMSE değerleri Tablo 3.18’de gösterilmektedir.



Şekil 3.34: SCDCBDSML yapısı tek ve çift mod için kuplaj katsayısı sonuçları ($\epsilon_r=9.9$, $h_0/h=10$).



Şekil 3.35: SCDCBDSML yapısı tek ve çift mod karakteristik empedans çıkışları eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı

Tablo 3.17: SCDCBDSML yapısı tek ve çift mod için en uygun parametre değerleri ve kural sayısı

Model Tipi	r_α	η	Kural Sayısı
SCDCBDSML (Tek Mod)	0.9	1.45	9
SCDCBDSML (Çift Mod)	0.75	1.45	34

Tablo 3.18: SCDCBDSML yapısı tek ve çift mod için en uygun komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri

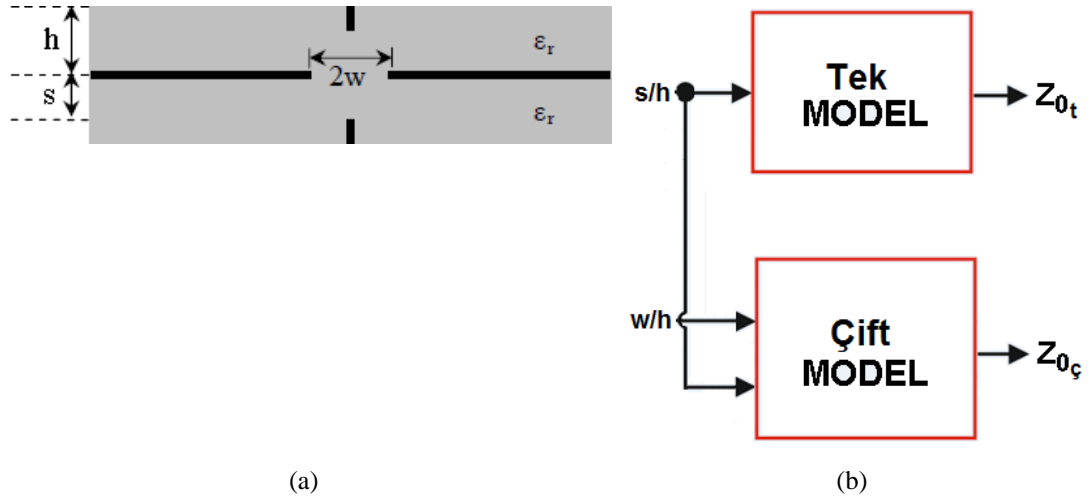
Model Tipi	Eğitim RMSE		Kontrol RMSE	
	ϵ_{eff}	Z_o	ϵ_{eff}	Z_o
SCDCBDSML (Tek Mod)	1.23e-3	0.046	11.83e-3	0.057
SCDCBDSML (Çift Mod)	2.51e-3	0.026	2.64e-3	0.028

3.2.6 Çok Katmanlı Kuplajlı İletim Hatları için Bulanık Model

Bu bölümde bulanık mantık modeli tasarlamak amacıyla MLCS (Çok Katmanlı Kuplajlı İletim Hatları) yapısı ele alındı. Şekil 3.36a'da kesit görünümü verilen bu yapının karakteristik parametreleri için analitik ifadeler daha önce KDT yöntemi kullanılarak elde edilmiştir (Gillick ve Robertson 1993^a).

Bu iletim hattında $2h$ kalınlığında ve ϵ_r bağıl dielektrik sabitine sahip malzemenin kuplajlı hatlar arasındaki uzaklığı $2s$ ile merkez toprak düzlemler arası

yarık mesafesi ise $2w$ ile ifade edilmektedir. İletken kenarlarında azaltılmış akım yoğunluğu sunan bu yeni çok katmanlı homojen kuplaj yapısı özellikle eş düzlemsel dalga kılavuzları, yarık hatları ve mikro şerit iletim hatları ile entegrasyon için oldukça uygundur. Şekil 3.36a’da gösterildiği gibi, toprak düzlemlerine dik iletim hatlarına sahip olunması durumunda iletken kenarlarındaki akım yoğunluğu eş düzlemsel tip yapılarla kıyasla azaltılabilir (Gillick ve Robertson 1993^b). İki iletken yüzey boyunca elektrik alan dağılımı, belirli bir iletken aralığı için dik oldukları takdirde aynı düzlem içinde buldukları duruma göre daha düzgün olmaktadır. Bu tip kuplörlerin üretimi, yeni geliştirilen çok katmanlı MMIC teknolojileri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Islak aşındırma, reaktif iyon aşındırma veya çoklu dielektrik katmanların plazma aşındırması işlemlerinin kombinasyonu kanal şeklinde bir oyuk oluşturmak için kullanılabilir ve bu sayede dikey şerit iletkenler elde edilebilir. MLCS yapısında da tek mod ve çift mod iki ayrı durumu temsil ettiğinden, her mod için farklı modeller tasarlanmıştır. Merkez toprak yarıklarının tek mod karakteristik empedans üzerinde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Bu sebeple MLCS yapısının tek mod bulanık modeli tek giriş – tek çıkış olacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarlanan modeller, Şekil 3.36b’de gösterildiği gibi tek çıkışa sahiptir. Karakteristik empedans Z_0 modellerin çıkışları olarak alınmıştır. Girişler olarak çift mod için w/h ile s/h ve tek mod için s/h geometrik oranları alınmıştır.



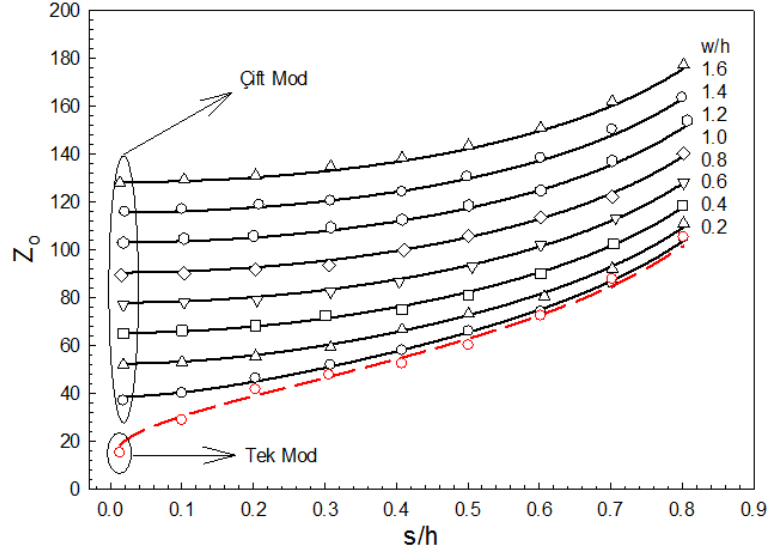
Şekil 3.36: MLCS a) Yapısı b) Önerilen bulanık modeller.

KDT analizinden MLCS kuplajlı iletim hattı tek ve çift mod için bulanık modelleri kurmak amacıyla sırasıyla 250 ile 2000 adet eğitim verisi ve geçerliliğini teyit etmek için 145 ile 1160 adet kontrol verisi kullanılmıştır. Modelleri tesis etmek için kullanılan eğitim veri çiftleri ve modelleri doğrulamak için kullanılan kontrol veri

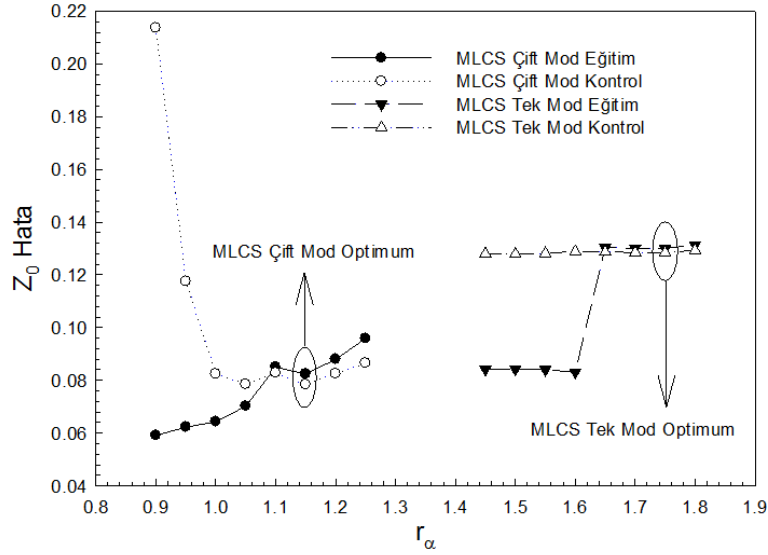
çiftleri birbirinden tamamen farklıdır. Her iki mod için model kurulumunda karakteristik empedans Z_o belli bir oranda çıkış olarak modellemeye dahil edilmiştir. Eğitim ve kontrol veri çiftleri için giriş parametreleri $0.2 \leq w/h \leq 2$ ve $0.01 \leq s/h \leq 0.99$ aralığında belirlenmiştir.

En düşük hata değerlerini sağlayan kümeleme kriterleri komşuluk yarıçapı r_a ve sıkıştırma katsayısı η tayin edildikten sonra MLCS kuplajlı iletim hattı tek ve çift mod için bulanık modellerin çıkışları literatürde yer alan KDT sonuçlarıyla mukayese edilmiştir (Gillick ve Robertson 1993^a). Karakteristik empedans çıkışları Şekil 3.37’de temsil edilmektedir. Sırasıyla siyah çizgiler ve beyaz semboller MLCS yapısı çift mod için karakteristik empedans Z_o çıkışlarının KDT ve bulanık model çıkışlarını göstermektedir. Kırmızı çizgiler ve beyaz semboller ise tek mod için karakteristik empedans Z_o çıkışlarının KDT ve bulanık model çıkışlarını temsil etmektedir. Tek ve çift mod için tesis edilen bulanık modellerin karakteristik parametre çıkışlarını KDT yöntemi sonuçları ile uyum içerisinde bulduğu gözlenmiştir.

MLCS kuplajlı iletim hattı tek ve çift mod için bulanık mantık modelini en uygun şekilde elde etmek için komşuluk yarıçapı r_a ve sıkıştırma katsayısı η kümeleme ölçütleri denenmiştir. Şekil 3.38’de bulanık model eğitim ve kontrol verisi için komşuluk yarıçapı r_a ’ya bağlı olarak karakteristik empedans hata değişimi gösterilmektedir. Eğitim ve kontrol veri çiftlerinin en düşük ortak hata değerleri en uygun sonuçları vermektedir. Optimum sonuçlara karşılık gelen kural sayısı ile birlikte komşuluk yarıçapı ve sıkıştırma faktörü değerleri Tablo 3.19’da ifade edilmektedir. Optimum komşuluk yarıçapı r_a ’dan elde edilen eğitim ve kontrol verilerinin RMSE değerleri Tablo 3.20’de gösterilmektedir.



Şekil 3.37: MLCS kuplajlı iletim hattı tek ve çift mod için karakteristik empedans sonuçları ($\epsilon_r=9$).



Şekil 3.38: MLCS kuplajlı iletim hattı tek ve çift mod karakteristik empedans çıkışları eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı.

Tablo 3.19: MLCS kuplajlı iletim hattı tek ve çift mod için en uygun parametre değerleri ve kural sayısı

Model Tipi	r_α	η	Kural Sayısı
MLCS (Tek Mod)	1.75	1.5	2
MLCS (Çift Mod)	1.15	1.3	14

Tablo 3.20: MLCS kuplajlı iletim hattı tek ve çift mod için en uygun komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri

Model Tipi	Z_o Eğitim	Z_o Kontrol
MLCS (Tek Mod)	0.13	0.128
MLCS (Çift Mod)	82.4e-3	78.4e-3

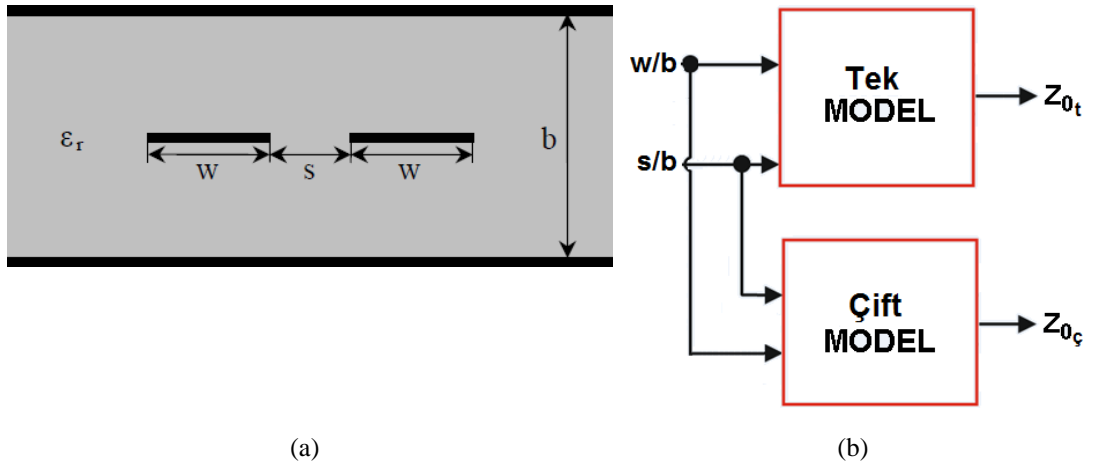
3.2.7 Alt ve Üst Korumalı Kuplajlı Şerit Hatlar için Bulanık Model

Bu bölümde bulanık mantık modeli tasarlamak amacıyla SCSL (Alt ve Üst Korumalı Kuplajlı Şerit Hatlar) yapısı ele alındı. Şekil 3.39a'da kesit görünümü verilen bu yapının karakteristik parametreleri için analitik ifadeler daha önce KDT yöntemi kullanılarak elde edilmiştir (Cohn 1955).

Bu kuplajlı şerit hattında arasında ϵ_r bağıl dielektrik sabitine sahip malzeme bulunan alt ve üst korumalar arası mesafe b ile kuplaj gerçekleştiren merkez iletkenlerin genişliği w ile ve merkez iletkenler arası yarık mesafesi ise s ile ifade edilmektedir. Bu şerit hattın her iki mod analizinden elde edilen karakteristik empedans ve faz hızı değerleri, yönlü kuplörlerin, kuplajlı hat filtrelerinin ve paralel şerit hatları arasındaki bağlantıyı kullanan diğer bileşenlerin tasarımı için gerekli bilgiyi vermektedir. Bu tip kuplajlı şerit hat üretimleri, yönlü kuplör, bant geçiren filtre, gecikme hattı ve tekliden dengeliye şerit hat dönüştürücü gibi pek çok uygulamada kullanılmaktadır. SCSL yapısında da tek mod ve çift mod iki ayrı durumu temsil ettiğinden, her mod için farklı modeller tasarlanmıştır. Tasarlanan modeller, Şekil 3.39b'de gösterildiği gibi tek çıkışa sahiptir. Karakteristik empedans Z_o modellerin çıkışları olarak alınmıştır. Girişler olarak tek ve çift mod için s/b ile w/b geometrik oranları alınmıştır.

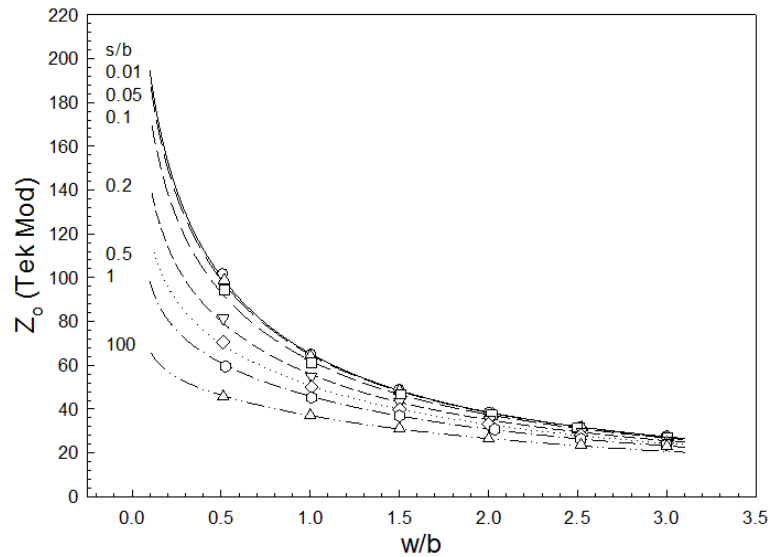
KDT analizinden SCSL kuplajlı şerit hattı tek ve çift mod için bulanık modelleri kurmak amacıyla 2000 adet eğitim verisi ve geçerliliğini teyit etmek için 1576 adet kontrol verisi kullanılmıştır. Modelleri tesis etmek için kullanılan eğitim veri çiftleri ve modelleri doğrulamak için kullanılan kontrol veri çiftleri birbirinden tamamen farklıdır. Her iki mod için model kurulumunda karakteristik empedans Z_o

belli bir oranda çıkış olarak modellemeye dahil edilmiştir. Eğitim ve kontrol veri çiftleri için giriş parametreleri $0.1 \leq w/b \leq 3$ ve $0.01 \leq s/b \leq 100$ aralığında belirlenmiştir.

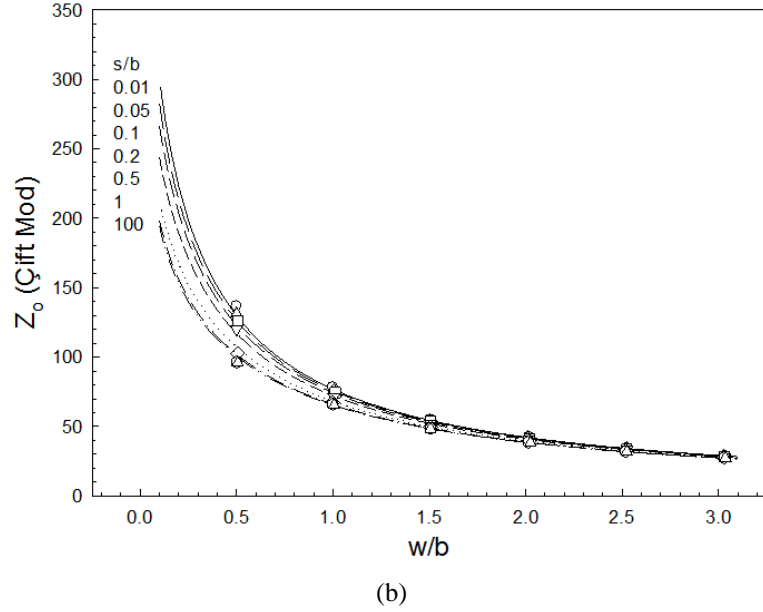


Şekil 3.39: SCSL a) Yapısı b) Önerilen bulanık modeller.

En düşük hata değerlerini sağlayan kümeleme ölçütleri komşuluk yarıçapı r_a ve sıkıştırma katsayısı η tayin edildikten sonra SCSL kuplajlı şerit hattı tek ve çift mod için bulanık modellerin çıkışları literatürde yer alan KDT sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Cohn 1955). Karakteristik empedans çıkışları Şekil 3.40'da temsil edilmektedir. Sırasıyla siyah çizgiler ve beyaz semboller SCSL kuplajlı şerit hattı tek ve çift mod için karakteristik empedans Z_o çıkışlarının KDT ve bulanık model çıkışlarını göstermektedir. Tek ve çift mod için kurulan bulanık modellerin karakteristik parametre çıkışlarını KDT yöntemi sonuçları ile uyum içerisinde bulduğu gözlenmiştir.

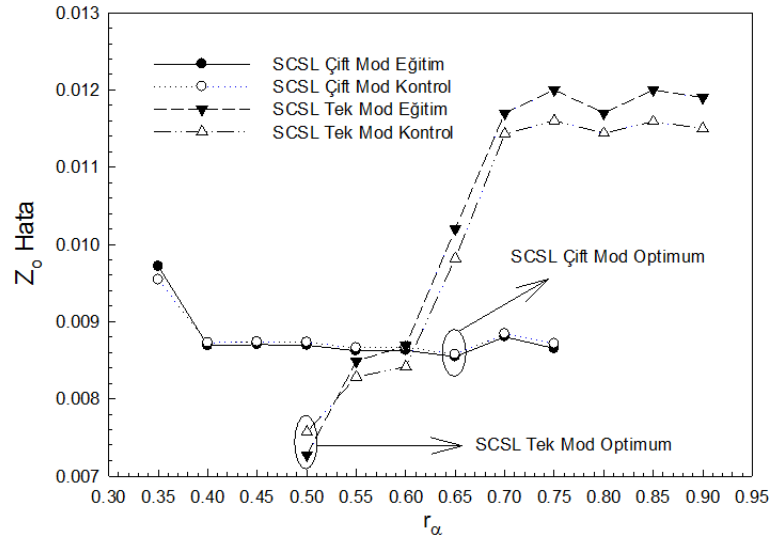


(a)



Şekil 3.40: SCSL kuplajlı şerit hattı karakteristik empedans sonuçları a) Tek mod b) Çift mod ($\epsilon_{r1}=1$).

SCSL kuplajlı şerit hattı tek ve çift mod için bulanık mantık modelini en uygun şekilde elde etmek için komşuluk yarıçapı r_a ve sıkıştırma katsayısı η kümeleme ölçütleri denenmiştir. Şekil 3.41’de bulanık model eğitim ve kontrol verisi için komşuluk yarıçapı r_a ’ya bağlı olarak karakteristik empedans hata değişimi gösterilmektedir. Eğitim ve kontrol veri çiftlerinin en düşük ortak hata değeri en uygun sonuçları vermektedir. Optimum sonuçlara karşılık gelen kural sayısı birlikte komşuluk yarıçapı ve sıkıştırma faktörü değerleri Tablo 3.21’de ifade edilmektedir. Optimum komşuluk yarıçapı r_a ’dan elde edilen eğitim ve kontrol verilerinin RMSE değerleri Tablo 3.22’de gösterilmektedir.



Şekil 3.41: SCSL kuplajlı şerit hattı tek ve çift mod karakteristik empedans çıkışları eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı.

Tablo 3.21: SCSL kuplajlı şerit hattı tek ve çift mod için en uygun parametre değerleri ve kural sayısı

Model Tipi	r_α	η	Kural Sayısı
SCSL (Tek Mod)	0.5	1.3	34
SCSL (Çift Mod)	0.65	1.4	11

Tablo 3.22: SCSL kuplajlı iletim hattı tek ve çift mod için en uygun komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri

Model Tipi	Z_o Eğitim	Z_o Kontrol
SCSL (Tek Mod)	7.27e-3	7.57e-3
SCSL (Çift Mod)	8.54e-3	8.57e-3

3.2.8 İki Yanlı Dielektrik Destekli Kuplajlı Şerit Hatlar için Kurulan Bulanık Model

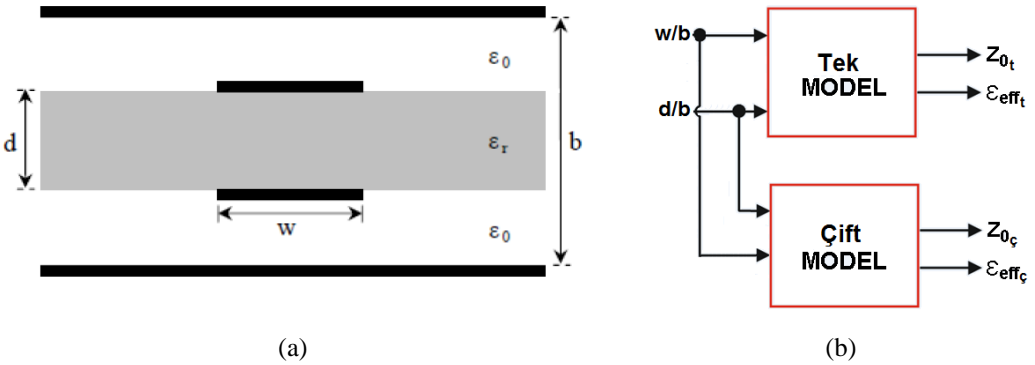
Bu bölümde bulanık mantık modeli tasarlamak amacıyla BCSL (İki Yanlı Dielektrik Destekli Kuplajlı Şerit Hatlar) yapısı ele alındı. Şekil 3.42a'da kesit görünümü verilen bu yapının karakteristik parametreleri için analitik ifadeler daha önce KDT yöntemi kullanılarak elde edilmiştir (Cohn 1960).

Asılı durumda alt tabakası bulunan şerit benzeri bu iletim hattının düşük zayıflatma ve büyük üretim toleransı gibi çekici özellikleri bulunmaktadır. Asılı alt tabakaya sahip bu yapı, karıştırıcılar, osilatörler, çoklayıcılar, kuplörler ve filtreler gibi pek çok mikrodalga aktif ve pasif devrelerinde kullanılmaktadır. Kuplajlı hat yapıları, mikrodalga devreleri oluşturmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak kenar kuplajlı hat yapıları şerit hatlar arasındaki boşluğun gerçekleştirilmesi çok zor olduğu için sıkı birleştirme (3 dB) açısından uygun değildir. İki yanlı kuplajlı şerit hatları, özellikle sıkı bağlantının gerekli olduğu devrelerde kullanışlıdır. Bununla birlikte iki yanlı asılı alt tabaka, mikrodalga ve milimetre dalga devreleri için düşük zayıflatmanın yanı sıra sıkı bağlantı için oldukça uygundur (Cohn 1960).

Literatürde iki yanlı kuplajlı hat yapısının analizi için bir dizi sayısal yaklaşım yayınlanmıştır. Ancak bu yaklaşımların tümü yoğun analitik iş yükü ve karmaşık

matematiksel programlama gerektirir (Yamashita ve Atsuki 1970, Bhal ve Bhartia 1980, Kammler 1968). Asılı durumda alt tabakası bulunan bu tip iki yanlı kuplajlı şerit hatları için bir dizi analiz ve sentez denklemi (Bhartia ve Pramanick 1988) ve (Shu ve diğ. 1987) tarafından sunulmuştur ancak yapısal parametreler sınırlı bir aralıkta kullanılabilir. Başka bir çalışmada eğri uydurma ile kapalı form ifadeleri geliştirilmiş ve böylece iki yanlı dielektrik destekli kuplajlı şerit hat için bir diğer analitik yöntem sunulmuştur (Kumar 2004).

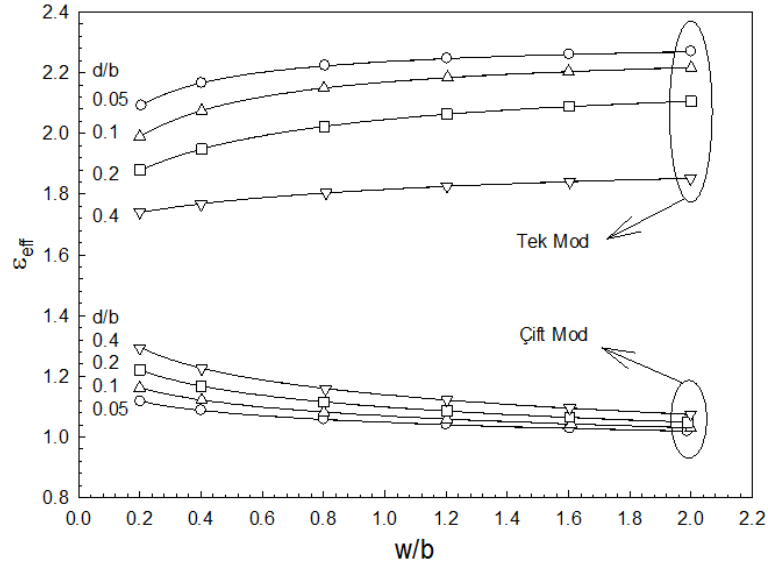
İki yanlı dielektrik destekli kuplajlı şerit hat yapısında ϵ_r bağıl dielektrik sabitine sahip d kalınlığındaki malzemenin alt ve üst kısmına simetrik olarak w genişliğindeki merkez iletkenler konumlandırılmıştır. Yine dielektrik malzemenin altına ve üstüne yerleştirilen aralarında b mesafesi bulunan toprak düzlemler sayesinde diğer devre elemanlarına kolayca bağlanmaktadır. BCSL yapısında da tek mod ve çift mod iki ayrı durumu temsil ettiğinden, her mod için farklı modeller tasarlanmıştır. Tasarlanan modeller, Şekil 3.42b’de gösterildiği gibi iki girişe ve iki çıkışa sahiptir. Girişler olarak w/b ile d/b geometrik oranları ve bulanık modellerimizin çıktıkları olarak efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} ile karakteristik empedans Z_o alınmıştır.



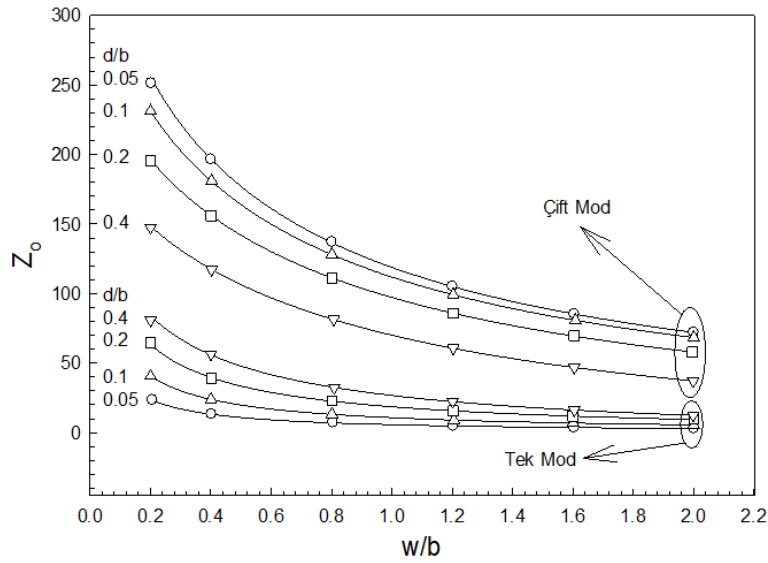
Şekil 3.42: BCSL a) Yapısı b) Önerilen bulanık modeller

Analiz yönteminden BCSL yapısı tek ve çift mod için bulanık modelleri kurmak amacıyla 2000 adet eğitim verisi ve geçerliliğini teyit etmek için 1600 adet kontrol verisi kullanılmıştır (Bhartia ve Pramanick 1988). Modelleri tesis etmek için kullanılan eğitim veri çiftleri ve modelleri doğrulamak için kullanılan kontrol veri çiftleri birbirinden tamamen farklıdır. Her iki mod için model kurulduğunda karakteristik empedans Z_o belli bir oranda çıkış olarak modellemeye dahil edilmiştir. Eğitim ve kontrol veri çiftleri için giriş parametreleri $0.2 \leq w/b \leq 2$ ve $0.05 \leq d/b \leq 0.5$ aralığında belirlenmiştir.

En düşük hata değerlerini sağlayan kümeleme ölçütleri komşuluk yarıçapı r_a ve sıkıştırma katsayısı η belirlendikten sonra BCSL yapısı tek ve çift mod için bulanık modellerin sonuçları literatürde yer alan analiz sonuçlarıyla mukayese edilmiştir (Bhartia ve Pramanick 1988). Efektif dielektrik sabiti sonuçları Şekil 3.43a'da gösterilirken karakteristik empedans çıkışları ise Şekil 3.43b'de ifade edilmektedir. Sırasıyla siyah çizgiler ve beyaz semboller BCSL yapısı tek ve çift mod için efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} ile karakteristik empedans Z_o çıkışlarının analiz ve bulanık model çıkışlarını göstermektedir. Tek ve çift mod için kurulan bulanık modellerin karakteristik parametre çıkışlarını analiz yöntemi sonuçları ile uyum içerisinde bulduğu gözlenmiştir.



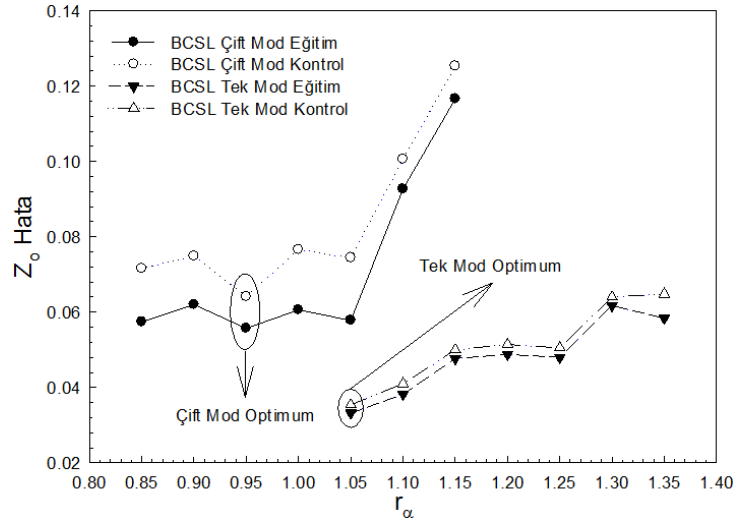
(a)



(b)

Şekil 3.43: BCSL yapısı tek ve çift mod için a) Efektif dielektrik sabiti sonuçları b) Karakteristik empedans sonuçları ($\epsilon_r=2.32$).

BCSL yapısı tek ve çift mod için bulanık mantık modelini en uygun şekilde elde etmek için komşuluk yarıçapı r_α ve sıkıştırma katsayısı η kümeleme ölçütleri denenmiştir. Şekil 3.44’de bulanık model eğitim ve kontrol verisi için komşuluk yarıçapı r_α ’ya bağlı olarak karakteristik empedans hata değişimi gösterilmektedir. Eğitim ve kontrol veri çiftlerinin en düşük ortak hata değerleri en uygun sonuçları vermektedir. Optimum sonuçlara karşılık gelen kural sayısı ile birlikte komşuluk yarıçapı ve sıkıştırma faktörü değerleri Tablo 3.23’de ifade edilmektedir. Optimum komşuluk yarıçapı r_α ’dan elde edilen eğitim ve kontrol verilerinin RMSE değerleri Tablo 3.24’de gösterilmektedir.



Şekil 3.44: BCSL yapısı tek ve çift mod karakteristik empedans eğitim ve kontrol hata değerleri dağılımı.

Tablo 3.23: BCSL yapısı tek ve çift mod için en uygun parametre değerleri ve kural sayısı

Model Tipi	r_α	η	Kural Sayısı
BCSL (Tek Mod)	1.05	1	36
BCSL (Çift Mod)	0.95	1.35	24

Tablo 3.24: BCSL yapısı tek ve çift mod için en uygun komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri

Model Tipi	Eğitim RMSE		Kontrol RMSE	
	ϵ_{eff}	Z_o	ϵ_{eff}	Z_o
BCSL (Tek Mod)	5.47e-4	33.2e-3	8.2e-3	37.4e-3
BCSL (Çift Mod)	7.31e-4	55.7e-3	3.47e-3	72.1e-3

3.3 Mikro Kalkan Hatlarının Bulanık Modellemesi

Şimdiye kadar, mikro şerit ve eş düzlemsel hatların tasarımını kolaylaştırması nedeniyle mikro kalkan hatları popüler bir çalışma konusu haline gelmiştir. Diğer iletim hatları ile karşılaştırıldığında, mikro kalkan hattının avantajları, geçiş deliklerine ihtiyaç duyulmaması ve zemin kompanzasyonu için hava köprülerinin kullanılmasıdır. Mikro kalkan hatları ayrıca düşük radyasyon kaybı, azaltılmış elektromanyetik girişim ve geniş bir empedans aralığına sahip olma gibi iyi özelliklere sahiptir (Cheng ve Robertson 1995^b).

Mevcut mikro şerit yapıların modern mikrodalga devrelerinde sıklıkla kullanılmasına rağmen, bu geleneksel olmayan konfigürasyonlar MIC ve MMIC devreleri için sunulmuş ve araştırılmıştır (Dib ve Katehi 1992, Schutt-Aine 1992, Yuan ve diğ. 1994, Kiang 1998, Gorur ve diğ. 2000, Yan ve Pramanick 2001, Lu ve Leonard 2004, Lu ve Persson 2005, Ashesh ve diğ. 2005, Karpuz ve diğ. 2000). Bu çalışmaların ilkinde mikro kalkan hattı, konvansiyonel iletim hatlarına göre özellikleri vurgulanarak analitik olarak incelenmiştir (Dib ve Katehi 1992). Bir sonraki çalışmada, V-şekilli iletim hatlarının statik analizi moment yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve mikro şerit hattı ile karşılaştırıldığında, bu konfigürasyonun karakteristik empedansı azalttığı ve V iletim hatları için daha yüksek etkin geçirgenlik sağladığı gösterilmiştir (Schutt-Aine 1992). V, eliptik ve dairesel şekilli mikro kalkan eş düzlemsel dalga kılavuzları için karakteristik empedans ifadeleri KDT yöntemi kullanılarak üretilmiş ve farklı şekilli mikro kalkan duvarlarının karakteristik empedansları üzerindeki etkileri sayısal olarak ifade edilmiştir (Yuan ve diğ. 1994). Başka bir çalışmada, asimetrik V şeklindeki mikro kalkan hattının yarı-TEM karakteristik parametrelerini değerlendirmek için kolay ve açık formüller sunulmuştur (Cheng ve Robertson 1995^a). Bir diğer çalışmada, yamuk, dairesel ve V şeklindeki mikro kalkan hatlarının kapasitansını hesaplamak için yansıma matrislerini içeren potansiyel eşleştirme yöntemi kullanılmıştır (Kiang 1998). Bununla birlikte, bazı V-şekilli eş düzlemsel dalga kılavuzlarının karakteristik empedans özellikleri KDT yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Karpuz ve diğ. 2000, Gorur ve diğ. 2000). Başka bir çalışmada, anizotropik bir ortamda genelleştirilmiş V ve W-şekilli ekranlı mikro şerit hatların ayrıntılı sonlu eleman analizi yapılmış; bunun dışında çıkış karakteristik parametreleri olan efektif dielektrik sabitinin ve karakteristik empedansın kapsamlı

yarı statik özellikleri ile birlikte hatların iletken kayıpları gösterilmiştir (Yan ve Pramanick 2001). Buna ilaveten, V şeklindeki mikro kalkan iletim hattındaki alan desenleri, kenar tabanlı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır (Lu ve Leonard 2004). Son çalışmaya ek olarak, bu tip bir mikro kalkan hattının kesme özellikleri yine kenar tabanlı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir (Lu ve Persson 2005). Bu alandaki bir diğer çalışmada, alt tabaka destekli hava dolgulu V-oluklu kuplajlı mikro kalkan hattının hem çift hem de tek mod için karakteristik empedansları ve efektif dielektrik sabitleri, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır (Ashesh ve diğ. 2005).

Bu bölümde, asimetrik V-şekilli, dikdörtgen tip ve yamuk tipi mikro kalkan hatlarının quasi-statik parametrelerini hesaplamak için ÇBK tabanlı bulanık mantık modelleri uygulanmıştır. KDT yöntemi kullanılarak her bir modelin geometrik oranlar veya açığa bağlı giriş parametreleri ile çıkış karakteristik parametreleri olan efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} veya karakteristik empedans Z_o için veri seti oluşturulmuştur. Daha sonra bu veri setleri ile ÇBK kullanılarak bulanık modeller oluşturulmuştur. Son olarak mikro kalkan hatları için hazırlanan modellerin geçerliliği, model sonuçlarının quasi-statik yaklaşım sonuçlarıyla karşılaştırılması neticesinde doğrulanmıştır.

3.3.1 Asimetrik V-şekilli Mikro Kalkan Hattı için Bulanık Model

Mikro kalkan hatlarının elektriksel parametreleri için bulanık mantık modeli tasarlamak amacıyla öncelikle Şekil 3.45a'da kesit görünümü verilen AVSML (Asimetrik V-şekilli Mikro Kalkan Hattı) yapısı ele alındı. Bu yapıda toprak düzlemi, dielektrikle kaplı bölgede bir ikizkenar üçgenin eşit kenarlarını oluşturmak için V şeklinde bükülmektedir. İki toprak düzlemi ve onların arasında a genişliğindeki merkez iletken, bağıl geçirgenliği ϵ_r olan dielektrik malzeme üzerinde konumlandırılmıştır. Merkez iletken ile toprak düzlemler arasındaki yarı genişlikleri d_1 ve d_2 şeklinde farklı değerli olduğu için asimetrik bir yapı ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, hattın birim uzunluğu başına toplam kapasite, dielektrikle kaplı alt bölge ve havayla kaplı üst bölgenin kapasitesinin toplamı olarak kabul edilebilir. Tasarımda tüm metalik iletkenlerin sonsuz derecede ince ve tamamen iletken olduğu ve de toprak düzlemlerinin sonsuz olarak kabul edilebilecek kadar uzun olduğu varsayılmaktadır.

İlgili yapı, üçgen bölgenin her bir köşesinden hareket ettirilerek uzatılması durumunda farklı düzlemsel yapılara dönüştürülebilir. Pratik hat boyutları için çok iyi sonuçlar veren bu yapı, daha önce KDT ve tekrarlamalı sayısal yöntemler kullanılarak analiz edilmiştir (Cheng ve Robertson 1995^a). AVSML yapısına ilişkin karakteristik empedans Z_o , efektif geçirgenlik ε_{eff} ve dolgu faktörü q (3.30) eşitliğindeki denklemler ile elde edilir:

$$Z_o = \frac{120\pi}{\sqrt{\varepsilon_{eff}}} \frac{1}{K(k_1)/K'(k_1) + K(k_2)/K'(k_2)}$$

$$\varepsilon_{eff} = 1 + q(\varepsilon_r - 1) \quad (3.30)$$

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

$K(k)$ birinci türden tam eliptik integraldir ve $K(k)/K'(k)$ oranı için kolay formüller daha önce verilmiştir [46]. k_i modülleri (3.31) eşitliğindeki denklemler ile elde edilir:

$$k_1 = \sqrt{\frac{a(a + d_1 + d_2)}{(a + d_1)(a + d_2)}}$$

$$k_2 = \sqrt{\frac{2t_E(t_D - t_C)}{(t_E + t_D)(t_E - t_C)}}$$
(3.31)

Ara parametreler t_C , t_D ve t_E AVSML yapısının geometrik oranları d_1/a , d_2/a ve a/W ile β parlama açısının fonksiyonu cinsinden ifade edilmektedir (Cheng ve Robertson 1995^a). Bu parametreler tekrarlamalı sayısal yöntemler kullanılarak (3.32) eşitliğindeki denklemler ile elde edilir:

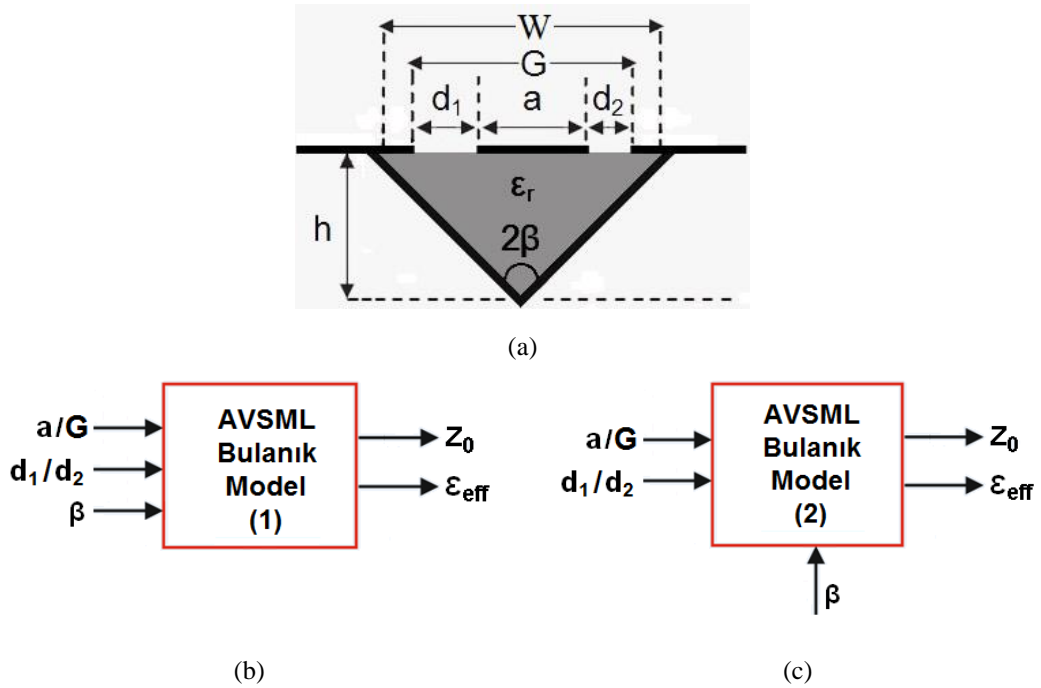
$$\frac{\zeta(\arcsin(t_E))}{\zeta(\pi/2)} = \frac{d_2 + d_1 + a}{W}$$

$$\frac{\zeta(\arcsin(t_D))}{\zeta(\pi/2)} = \frac{d_2 - d_1 + a}{W}$$

$$\frac{\zeta(\arcsin(t_C))}{\zeta(\pi/2)} = \frac{d_2 - d_1 - a}{W} \quad (3.32)$$

$$\zeta(\phi) = \int_0^\phi (\cos \theta)^{-2\beta/\pi} d\theta$$

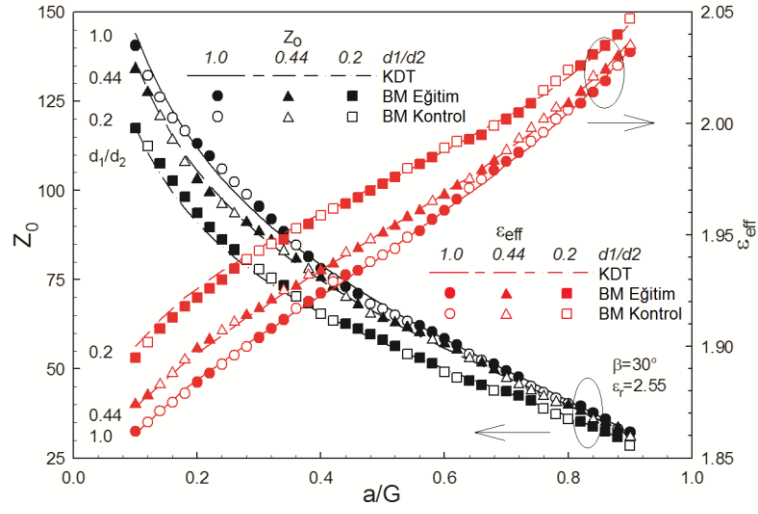
AVSML yapısının karakteristik parametrelerini bulmak için Şekil 3.45b,c'de gösterilen iki ayrı bulanık mantık modeli kurulmuştur. Bu modellerin her ikisi de üç giriş ve iki çıkış şeklinde tasarlanmıştır. Geometrik oranlar a/G , d_1/d_2 ile β açısı girişler, efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} ve karakteristik empedans Z_0 çıkışlar olarak alınmıştır. Ancak birinci tip bulanık modelde, β açısı diğer girişler gibi çıkış elde etmek için belirli sayıda değerler için incelenirken, ikinci tip modelde ise β ana parametre olarak alınmış ve model başarısına katkısı araştırılmıştır. İkinci tip bulanık modelde, β parametresinin model çıkışları üzerindeki etkisi sınırlıdır ve karakteristik parametreler sadece β açısının 15, 30, 45 ve 60 değerleri (derece cinsinden) için elde edilmiştir (Karpuz ve diğ. 2021).



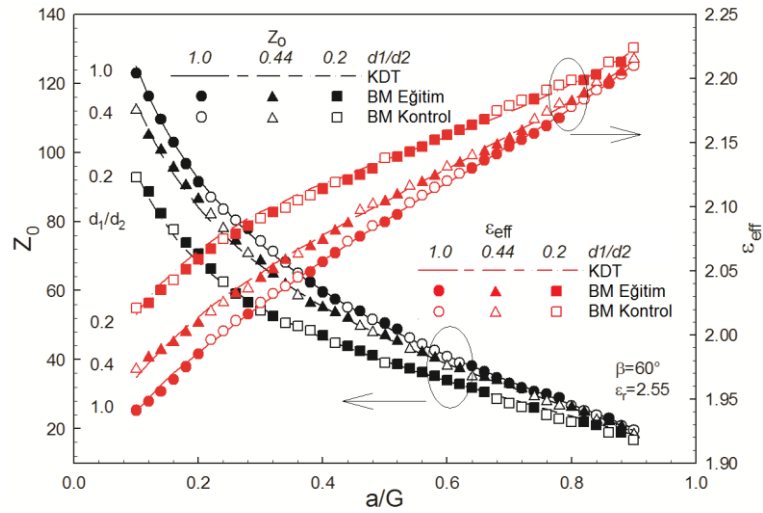
Şekil 3.45: AVSML a) Yapısı b) Birinci tip bulanık model c) İkinci tip bulanık model

KDT ve tekrarlamalı sayısal yöntemler analizinden AVSML yapısı birinci tip bulanık modeli kurmak için 3000 adet eğitim verisi ve geçerliliğini teyit etmek amacıyla 2412 adet kontrol verisi kullanılmıştır. Buna ilaveten, ikinci tip bulanık modeli tesis etmek için 2000 adet eğitim verisi ve modeli doğrulamak için 1444 adet kontrol verisi değerlendirilmiştir. Her iki model için eğitim ve kontrol veri çiftleri birbirinden tamamen farklıdır. Hem eğitim hem de kontrol veri setleri $15 \leq \beta(\text{derece}) \leq 60$, $0.1 \leq a/G \leq 0.9$ ve $0.2 \leq d_1/d_2 \leq 1$ aralığındadır. Daha önce bahsedildiği gibi birinci tip bulanık modelde β açısı standart bir giriş parametresi iken ikinci modelde β açısının az sayıda değeri kullanılmıştır (Karpuz ve diğ. 2021).

En düşük hata değerlerini sağlayan kümeleme ölçütleri komşuluk yarıçapı r_a ve sıkıştırma katsayısı η ile küme merkezi belirleme kriterleri ε_{up} ve ε_{down} belirlendikten sonra AVSML yapısı her iki bulanık modelin çıkışları literatürde yer alan KDT ve tekrarlamalı sayısal yöntemler analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Cheng ve Robertson 1995^a). Farklı β değerleri için bulanık modellerin efektif dielektrik sabiti ε_{eff} ve karakteristik empedans Z_o sonuçları sırasıyla Şekil 3.46 ile 3.47’de gösterilmektedir (Karpuz ve diğ. 2021).



(a)



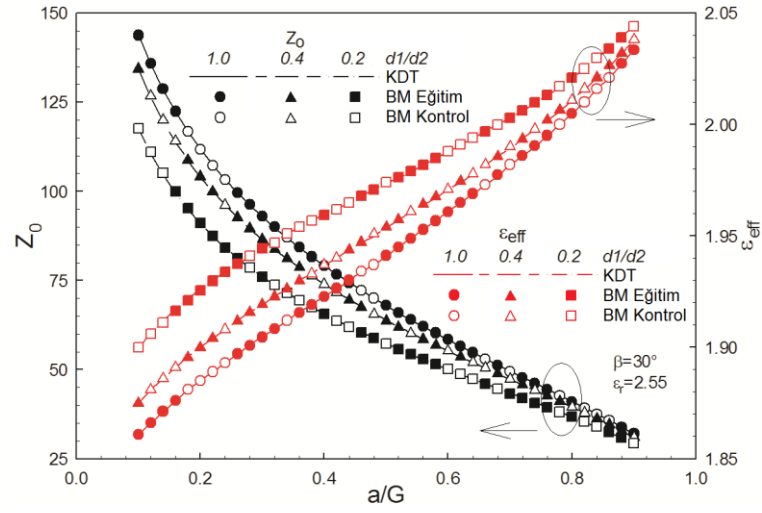
(b)

Şekil 3.46: KDT ve tekrarlamalı sayısal yöntemler analizi ile karşılaştırmalı birinci tip AVSML modelinin a/G ve d_1/d_2 geometrik oranlarına bağlı karakteristik empedans ile birlikte efektif dielektrik sabiti sonuçları ($\varepsilon_r=2.55$) a) $\beta=30^\circ$ b) $\beta=60^\circ$.

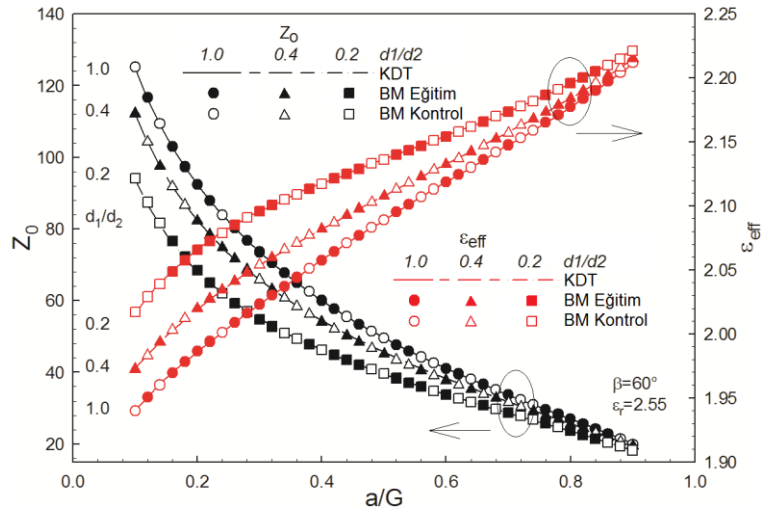
Her iki şekilde de KDT ve tekrarlamalı sayısal yöntemler analizi çizgilerle gösterilirken, eğitim ve kontrol verileri bulanık model çıkışları sırasıyla doldurulmuş ve içi boş sembollerle temsil edilmektedir. ÇBK tabanlı modellerin sonuçları, KDT ve

tekrarlamalı sayısal yöntemler analizinden elde edilen sonuçlarla çok iyi bir uyum içerisinde (Karpuz ve diğ. 2021).

Optimal bir sistem elde etmek için r_a ve η kümeleme ölçütlerinin değerleri, küme merkezi belirleme kriterleri ε_{up} ve ε_{down} ile birlikte denenmiştir. Diğer ölçütler sabit tutularak her bir kümeleme kriterinin değişimine bağlı halde model çıkışlarının hata değerleri ve kural sayısı elde edilmiştir. Her iki AVSML modeli için, ε_{eff} ve Z_0 karakteristik çıkış parametreleri hata değerlerinin değişimi r_a , η , ε_{up} ve ε_{down} kümeleme kriterlerine bağlı olarak ÇBK'dan üretilen kural sayısı ile birlikte sırasıyla Şekil 3.48 ile 3.49'da gösterilmektedir.



(a)

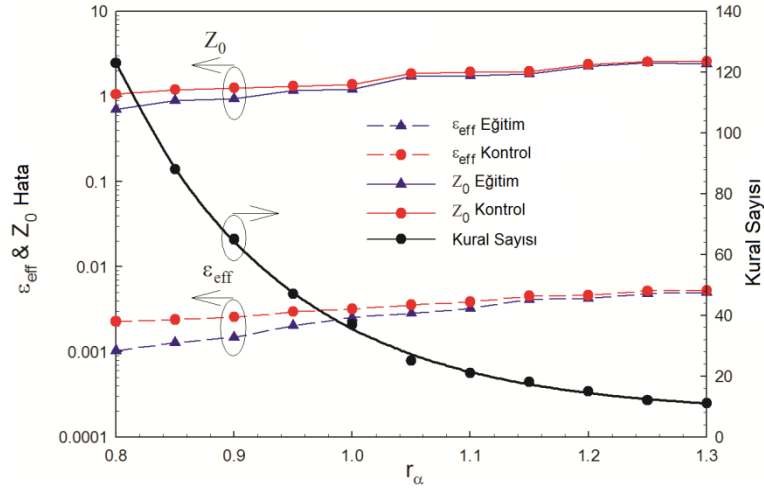


(b)

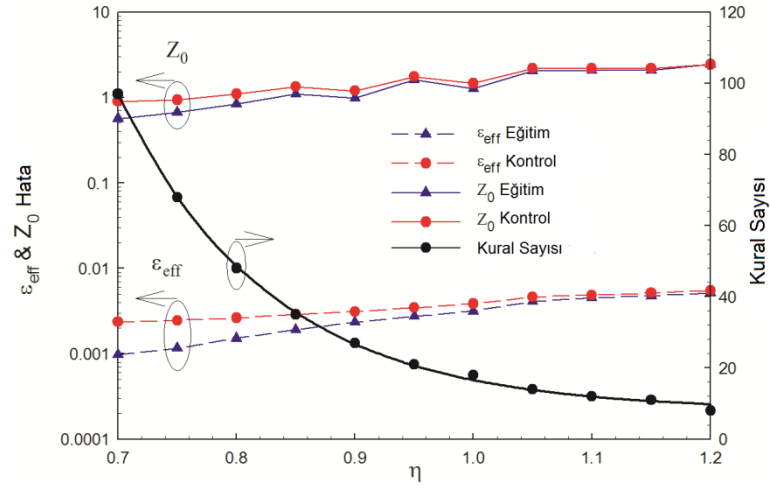
Şekil 3.47: KDT ve tekrarlamalı sayısal yöntemler analizi ile karşılaştırmalı ikinci tip AVSML modelinin a/G ve d_1/d_2 geometrik oranlarına bağlı karakteristik empedans ve efektif dielektrik sabiti sonuçları ($\varepsilon_r=2.55$) a) $\beta=30^\circ$ b) $\beta=60^\circ$.

Tüm grafiklerde hem ε_{eff} hem de Z_0 için eğitim ve kontrol veri çiftlerinin hataları çoğunlukla her bir kümeleme kriteri için birlikte değişmektedir. Ayrıca her bir grafikte koyu çizgilerle temsil edilen kural sayısı eğri uydurma fonksiyonu ile elde edilmiştir (Karpuz ve diğ. 2021).

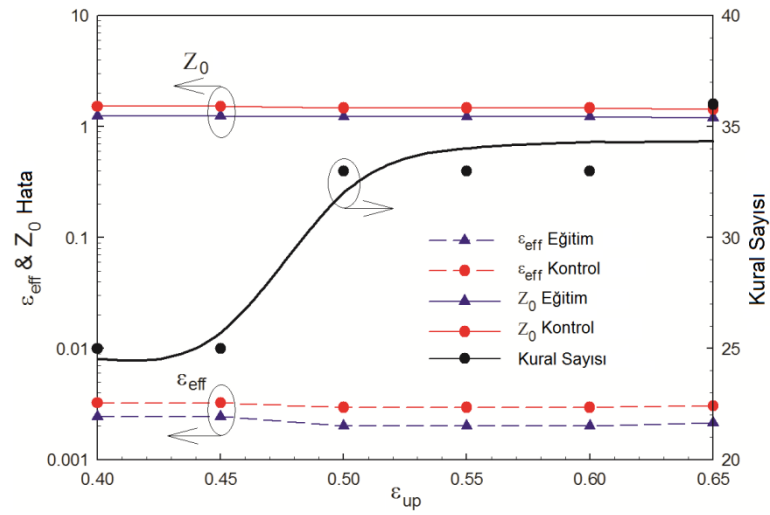
ÇBK tabanlı modeller uygulanırken ilgili algoritmanın yeni bir küme merkezini kabul etme veya reddetme kriterine benzer bir yöntem kullanılmıştır (Chiu 1994). Kural sayısının fazla olduğu çözümlerde doğruluk daha yüksek olduğundan her iki model için daha kesin çözüm veren kümeleme kriterleri tercih edilmiştir. Optimum sonuçlara karşılık gelen kural sayısı ile birlikte komşuluk yarıçapı, sıkıştırma faktörü değerleri ve ε_{up} , ε_{down} kümeleme kriterleri Tablo 3.25’de verilmektedir. Her iki model için en uygun giriş kriterlerinden elde edilen eğitim ve kontrol verilerinin RMSE hataları ise Tablo 3.26’da gösterilmektedir. AVSML yapısını modelleme aşamasında kural sayısının eğitim veri çifti sayısına oranının en uygun değerde olması hedeflenmiştir. Tasarlanan modellerde bu oran %1 ile %2 arasındadır (Karpuz ve diğ. 2021).



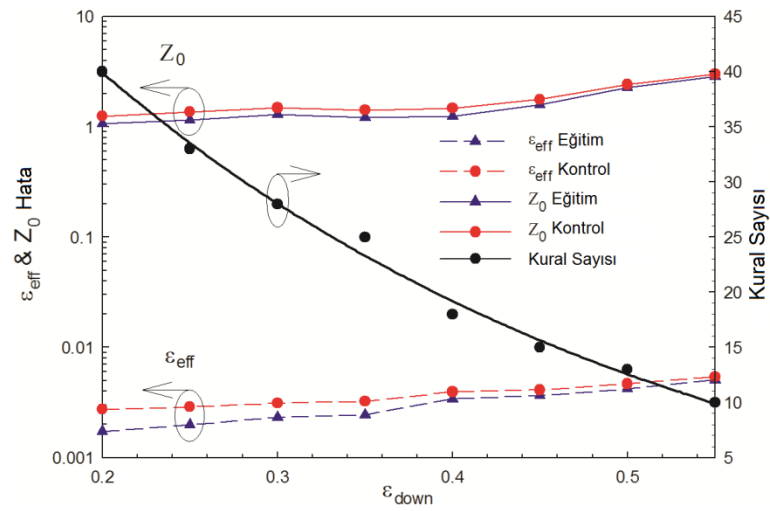
(a)



(b)

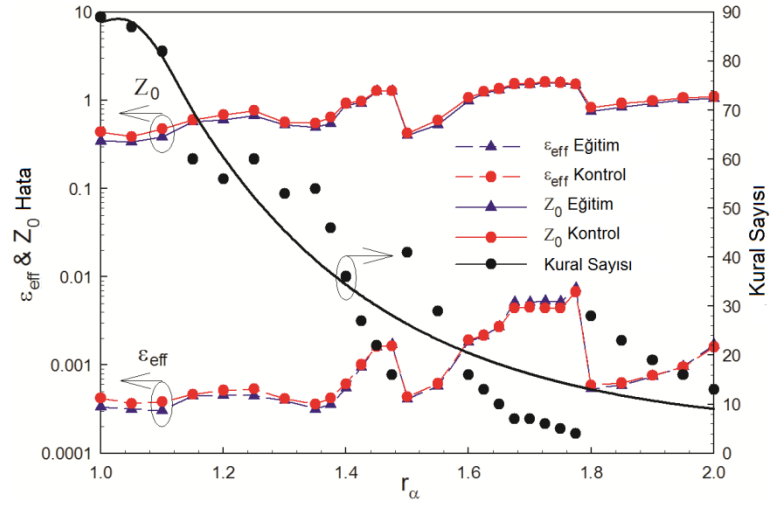


(c)

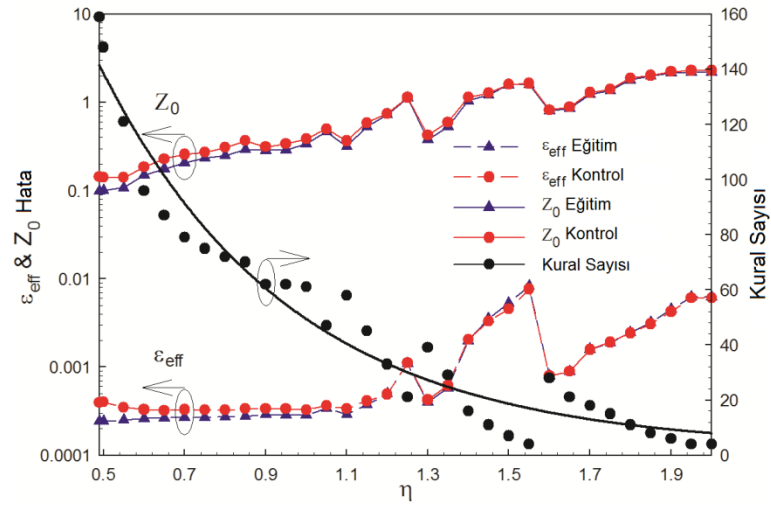


(d)

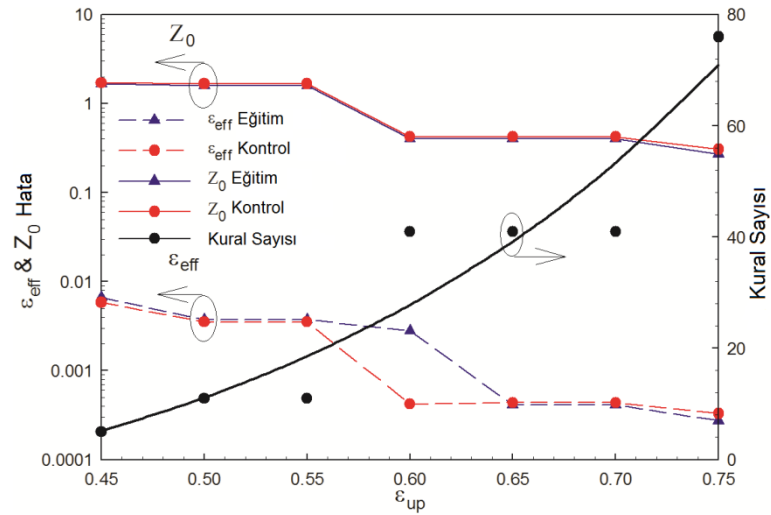
Şekil 3.48: Birinci tip AVSML modelinin eğitim ve kontrol verileri için kural sayısı ile birlikte etkin dielektrik sabiti ve karakteristik empedans hatasının dağılımı a) r_α 'ya bağlı değişim ($\eta=1.35$, $\epsilon_{up}=0.5$, $\epsilon_{down}=0.35$) b) η 'ya bağlı değişim ($r_\alpha=1.35$, $\epsilon_{up}=0.5$, $\epsilon_{down}=0.35$) c) ϵ_{up} 'a bağlı değişim ($r_\alpha=1.45$, $\eta=1$, $\epsilon_{down}=0.35$) d) ϵ_{down} 'a bağlı değişim ($r_\alpha=1.45$, $\eta=1$, $\epsilon_{up}=0.6$).



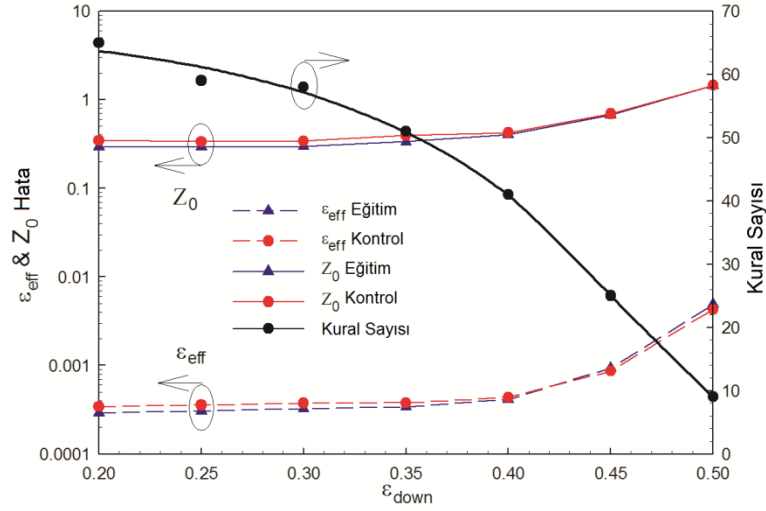
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.49: İkinci tip AVSML modelinin eğitim ve kontrol verileri için kural sayısı ile birlikte etkin dielektrik sabiti ve karakteristik empedans hatasının dağılımı a) r_α 'ya bağlı değişim ($\eta=1.35$, $\epsilon_{up}=0.6$, $\epsilon_{down}=0.4$) b) η 'ya bağlı değişim ($r_\alpha=1.55$, $\epsilon_{up}=0.6$, $\epsilon_{down}=0.4$) c) ϵ_{up} 'a bağlı değişim ($r_\alpha=1.5$, $\eta=1.35$, $\epsilon_{down}=0.4$) d) ϵ_{down} 'a bağlı değişim ($r_\alpha=1.5$, $\eta=1.35$, $\epsilon_{up}=0.6$).

AVSML yapısının Şekil 3.46 ile 3.47'de gösterilen karakteristik parametre sonuçları ve Şekil 3.48 ile 3.49'da her bir kümeleme kriteri için ayrı ayrı elde edilen hata grafikleri incelendiğinde ikinci tip bulanık modelin daha başarılı olduğu görülmektedir. Birinci tip bulanık modelde daha fazla veri çifti kullanılmasına rağmen, ikinci tip bulanık modelde ana parametre olarak β açısının kullanılması ve daha az sayıda β açısı değerinin modellemeye dahil edilmesi nedeniyle daha yüksek doğrulukta sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum, ÇBK tabanlı bulanık modellemede araştırmacının daha yüksek doğrulukta sonuç elde edebilmesi için tasarımda daha sık kullandığı parametreyi modele ana parametre olarak girmesi gerektiğini göstermektedir.

Tablo 3.25: AVSML yapısı birinci ve ikinci model için en uygun parametre değerleri ve kural sayısı

Model Tipi	r_α	η	ϵ_{up}	ϵ_{down}	Kural Sayısı
AVSML (Birinci Model)	1.05	1.4	0.5	0.15	49
AVSML (İkinci Model)	1.6	1.4	0.7	0.4	49

Tablo 3.26: AVSML yapısı birinci ve ikinci model için en uygun komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri

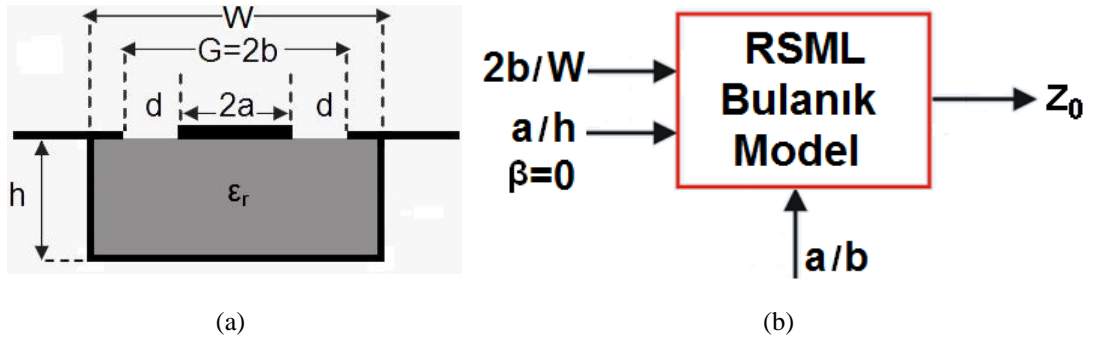
Model Tipi	Eğitim RMSE		Kontrol RMSE	
	ϵ_{eff}	Z_o	ϵ_{eff}	Z_o
AVSML (Birinci Model)	17.61e-4	0.996	26.92e-4	1.246
AVSML (İkinci Model)	3.38e-4	0.579	3.82e-4	0.561

3.3.2 Dikdörtgen Şekilli Mikro Kalkan Hattı için Bulanık Model

Mikro kalkan hatlarının konfigürasyonunda, toprak düzleminin şekli, iç şerit iletkeni tamamen veya kısmen çevrelemek için değiştirilmekte ve orijinal düzlemsel biçimini kaybetmektedir. Bu tip hatlar, dielektrik aşındırma ve metal biriktirme teknikleri kullanılarak monolitik olarak üretilebilir (Katehi 1992). İç iletken, ince bir alt tabaka üzerine basılabilir veya membran teknolojisi kullanılarak havada asılı tutulabilir. Membran teknolojisini kullanan mikro kalkan hatları, çok geniş bir frekans aralığında TEM modunun dağılım olmayan özelliklerini sergiler. Şu ana dek, dikdörtgen, V, eliptik ve çember şekilli pek çok mikro kalkan hattı (Dib ve diğ. 1991) ile (Schutt-Aine 1992, Yuan ve diğ. 1994) referanslarında incelenmiştir. Dikdörtgen şekilli mikro kalkan hattı daha önce teorik olarak moment metoduyla (Katehi 1992) ve KDT tekniğiyle (Dib ve Katehi 1992) araştırılmıştır. Bununla birlikte, dikdörtgen şekilli mikro kalkan hattında karakteristik parametreleri bulmak için sade ve açık formüller kullanılmıştır (Cheng ve Robertson 1995^b).

Dikdörtgen şekilli mikro kalkan hattının karakteristik parametreleri için bulanık mantık modeli tasarlamak amacıyla öncelikle Şekil 3.50a'da kesit görünümü verilen RSML (Dikdörtgen-şekilli Mikro Kalkan Hattı) yapısı ele alındı. Aralarında $2b$ mesafesi bulunan iki toprak düzleme ve onların da arasında yer alan $2a$ genişliğindeki merkez iletkenine sahip bu yapı, tümüyle bağıl dielektrik sabiti ϵ_r ve kalınlığı h olan malzeme üzerine yerleştirilmiştir. AVSML yapısında olduğu gibi, dikdörtgen şekilli mikro kalkan hattında da tüm metalik iletkenlerin sonsuz incelikte ve mükemmel iletken olduğu varsayılmıştır. Bununla birlikte, toprak düzlemlerinin sonsuz uzunlukta olduğu kabul edilmiştir. Yamuk yapısının yan duvarlarının eğimleri, çok daha karmaşık bir aşındırma işlemi ile çok az dereceye düşürülebilir. Bu şekilde

yamuk şekilli mikro kalkan hattının oyukları, analizi daha basit ve çok az hata oranına sahip hesaplamayla bulunabilen dikdörtgen şekilli yapıya ($\beta=0$) dönüştürülebilir. Yamuk yapının özel bir formu olan RSML için bu iletim hattına özel olarak geliştirilmiş formüller kullanılarak (Cheng ve Robertson 1995^b) giriş ve çıkış veri çiftleri oluşturulmuştur. Böylece, RSML yapısının elektriksel parametrelerini hesaplamak için Şekil 3.50b'de gösterildiği gibi ayrı bir bulanık model kurulmuştur. RSML modeli üç giriş ve tek çıkış olacak şekilde tasarlanmıştır. Geometrik oranlar $2b/W$, a/h ile a/b girişler, karakteristik empedans Z_o çıkış olarak alınmıştır. RSML modelinde a/b ana parametre olarak alınmıştır ve model çıkışları üzerindeki etkisi sınırlıdır. Karakteristik empedans sadece a/b geometrik oranının 0.5, 0.8 ve 0.95 değerleri için elde edilmiştir.



Şekil 3.50: RSML a) Yapısı b) Bulanık model.

KDT ve sayısal analiz yönteminden RSML yapısı bulanık modeli tesis etmek için 2000 adet eğitim verisi ve geçerliliğini doğrulamak amacıyla 1588 adet kontrol verisi kullanılmıştır. RSML modelinde eğitim ve kontrol veri çiftleri birbirinden tamamen farklıdır. Hem eğitim hem de kontrol veri setleri $0.5 \leq 2b/W \leq 1$ ve $0.1 \leq a/h \leq 1$ aralığındadır. Daha önce bahsedildiği gibi RSML bulanık modelinde a/b geometrik oranı sadece 0.5, 0.8 ve 0.95 değerleri için veri setine dahil edilmiştir.

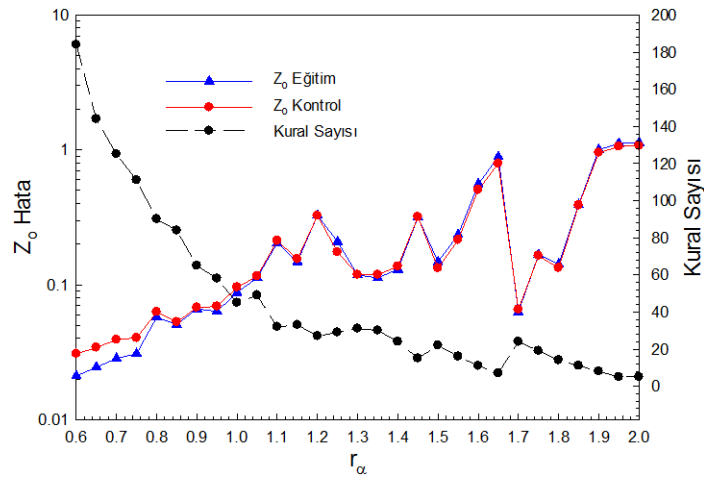
En düşük hata değerlerini sağlayan kümeleme kriterleri komşuluk yarıçapı r_α ve sıkıştırma katsayısı η ile küme merkezi belirleme ölçütleri ϵ_{up} ve ϵ_{down} tespit edildikten sonra RSML yapısı hem eğitim hem de kontrol verileri için bulanık modeli çıkışları literatürde yer alan analiz yöntemi sonuçlarıyla Tablo 3.27'de gösterildiği gibi karşılaştırılmıştır (Cheng ve Robertson 1995^b). Elde edilen sonuçlar, ÇBK tabanlı bulanık modellemenin bu tür iletim hatlarına ne kadar etkili uygulanabileceğini göstermektedir.

Tablo 3.27: RSML modeli ve geliştirilen analiz yöntemi kullanılarak elde edilen Z_0 karakteristik empedans sonuçları ($\beta=0$)

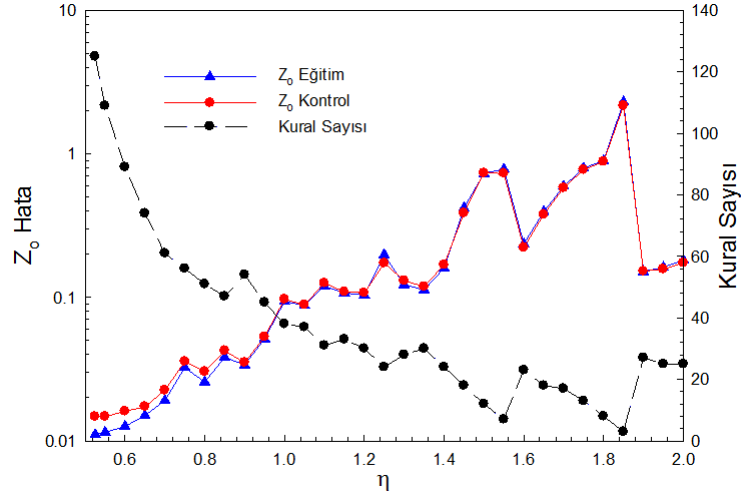
a/h	a/b	Analiz Yöntemi [72]			RSML modeli		
		Z_0 (Ω)			Z_0 (Ω)		
		2b/W=0.5	2b/W=0.8	2b/W=0.1	2b/W=0.5	2b/W=0.8	2b/W=0.1
0.1	0.95	57.34	54.24	45.87	57.29	54.31	46.06
	0.50	118.60	112.34	105.80	117.96	112.34	105.73
0.2	0.95	57.33	54.24	45.87	57.32	54.23	45.95
	0.50	117.43	112.16	105.75	116.49	112.04	105.63
0.5	0.95	56.27	53.94	45.80	56.15	53.94	45.91
	0.50	105.60	104.59	101.22	105.53	104.55	101.06
1.0	0.95	51.73	50.89	44.40	51.68	50.94	44.91
	0.50	84.14	84.19	83.70	84.01	84.09	83.57

Optimum bir sistem elde etmek için r_α ve η kümeleme kriterleri, küme merkezi belirleme ölçütleri ϵ_{up} ve ϵ_{down} ile birlikte test edilmiştir. Diğer kriterler sabit tutularak her bir kümeleme ölçütünün değişimine bağlı halde model çıkışının hata değerleri ve kural sayısı belirlenmiştir. RSML modeli için, Z_0 karakteristik çıkış parametresi hata değerlerinin değişimi r_α , η , ϵ_{up} ve ϵ_{down} kümeleme ölçütlerine bağlı olarak bulanık modelden elde edilen kural sayısı ile birlikte Şekil 3.51’de gösterilmektedir. Karakteristik empedans Z_0 için eğitim ve kontrol veri çiftlerinin hataları genellikle her bir kümeleme ölçütü için birlikte değişmektedir.

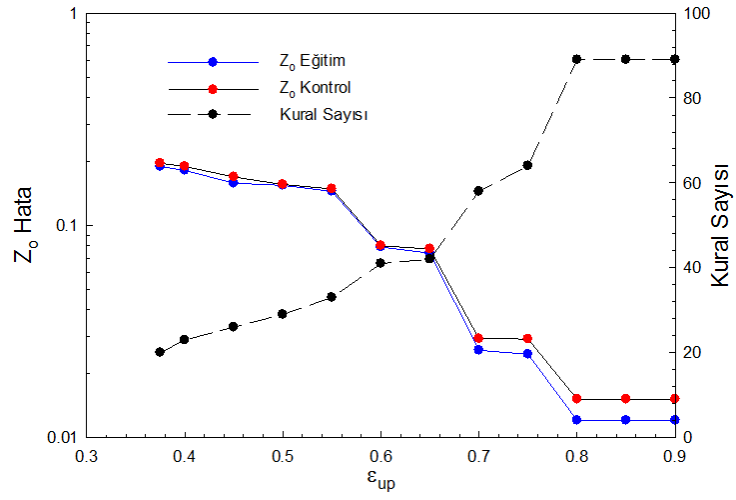
En uygun sonuçlara denk gelen kural sayısı ile birlikte komşuluk yarıçapı, sıkıştırma faktörü değerleri ve ϵ_{up} , ϵ_{down} kümeleme ölçütleri Tablo 3.28’de verilmektedir. Bulanık model için optimum kümeleme kriterlerinden elde edilen eğitim ve kontrol verilerinin RMSE hataları ise Tablo 3.29’da gösterilmektedir.



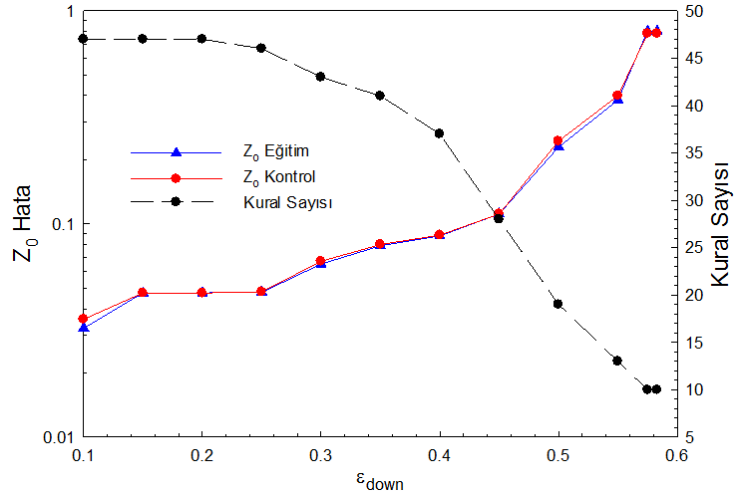
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.51: RSML modelinin eğitim ve kontrol verileri için karakteristik empedans hatasının ve kural sayısının dağılımı a) r_α 'ya bağlı değişim ($\eta=1.35$, $\epsilon_{up}=0.6$, $\epsilon_{down}=0.4$) b) η 'ya bağlı değişim ($r_\alpha=1.35$, $\epsilon_{up}=0.6$, $\epsilon_{down}=0.4$) c) ϵ_{up} 'a bağlı değişim ($r_\alpha=1.35$, $\eta=1.05$, $\epsilon_{down}=0.35$) d) ϵ_{down} 'a bağlı değişim ($r_\alpha=1.35$, $\eta=1.05$, $\epsilon_{up}=0.6$).

Tablo 3.28: RSML modeli için en uygun parametre değerleri ve kural sayısı

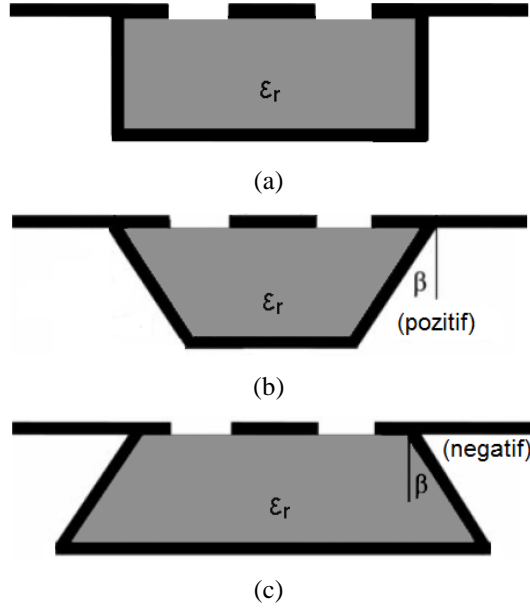
Model Tipi	r_a	η	ϵ_{up}	ϵ_{down}	Kural Sayısı
RSML	0.95	1.35	0.6	0.4	59

Tablo 3.29: RSML modeli için en uygun komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri

Model Tipi	Eğitim RMSE	Kontrol RMSE
	Z_o	Z_o
RSML	4e-3	4.8e-3

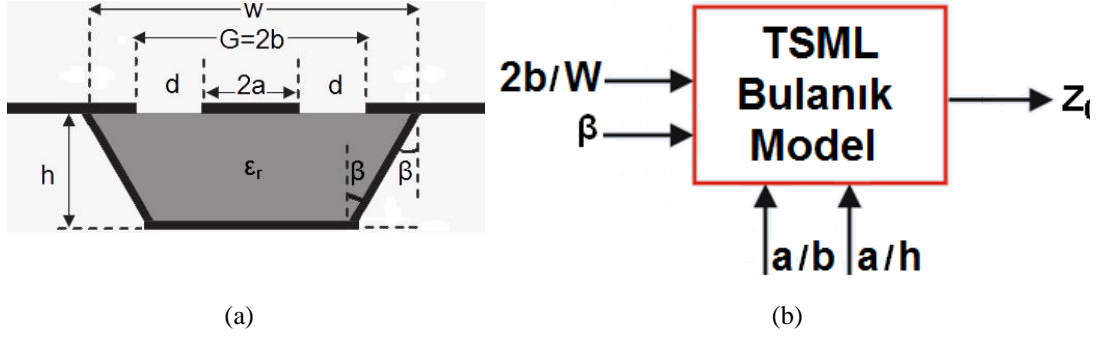
3.3.3 Yamuk Şekilli Mikro Kalkan Hattı için Bulanık Model

Aşındırma koşullarına ve yönlendirmeye bağlı olarak pozitif veya negatif eğime sahip yamuk şekilli mikro kalkan hattının karakteristik empedansını bulmaya yönelik KDT kullanan analitik çözüme daha önce literatürde yer verilmiştir (Cheng ve Robertson 1995^b). Yamuk şekilli mikro kalkan hattının karakteristiği entegre devrelerin tasarımında ek esneklik sunabildiği için son derece önemlidir. Ayrıca, normalde dikdörtgen şeklinde tasarlanmış, ancak üretimi kusurlu olan bir mikro kalkan hattının gerçek özelliklerini değerlendirmeye izin verir. Membranın imalatı sırasında gerçekleştirilen ıslak aşındırma anizotropiktir. Dolayısıyla, mikro kalkan hattının yönüne ve aşındırma koşullarına bağlı olarak, Şekil 3.52’de gösterildiği gibi, pozitif veya negatif eğimli, dik yan duvarlı oyuklar verebilmektedir (Katehi 1992).



Şekil 3.52: Mikro kalkan hatları a) Dikdörtgen şekilli b) Pozitif eğime sahip yamuk şekilli c) Negatif eğime sahip yamuk şekilli.

Yamuk şekilli mikro kalkan hattının karakteristik parametreleri için bulanık mantık modeli tasarlamak amacıyla öncelikle Şekil 3.53a’da kesit görünümü verilen TSML (Yamuk-şekilli Mikro Kalkan Hattı) yapısı ele alındı. RSML yapısında olduğu gibi aralarında $2b$ mesafesi bulunan iki toprak düzleme ve onların da arasında yer alan $2a$ genişliğindeki merkez iletkenine sahip TSML yapısı, bağlı dielektrik sabiti ϵ_r ve kalınlığı h olan malzeme üzerinde yer almaktadır. Yamuk şekilli mikro kalkan hattında da tüm metalik iletkenlerin sonsuz incelikte ve mükemmel iletken olduğu kabul edilmiştir. Bununla birlikte, toprak düzlemlerinin yine sonsuz uzunlukta olduğu varsayılmıştır. TSML için KDT uygulayan sayısal yöntem kullanılarak (Cheng ve Robertson 1995^b) giriş ve çıkış veri çiftleri oluşturulmuştur. Nihayetinde, TSML yapısının karakteristik parametrelerini hesaplamak için Şekil 3.53b’de gösterilen bulanık model tesis edilmiştir. TSML modeli dört giriş ve tek çıkış olacak şekilde tasarlanmıştır. Eğim açısı β ile birlikte geometrik oranlar $2b/W$, a/b ve a/h girişler, karakteristik empedans Z_o çıkış olarak alınmıştır. TSML modelinde a/b ve a/h ana parametre olarak alınmıştır ve model çıkışları üzerindeki etkileri sınırlıdır. Karakteristik empedans sadece a/b geometrik oranının 0.5 ile 0.8 ve a/h geometrik oranının 0.1 ile 0.5 değerleri için elde edilmiştir.

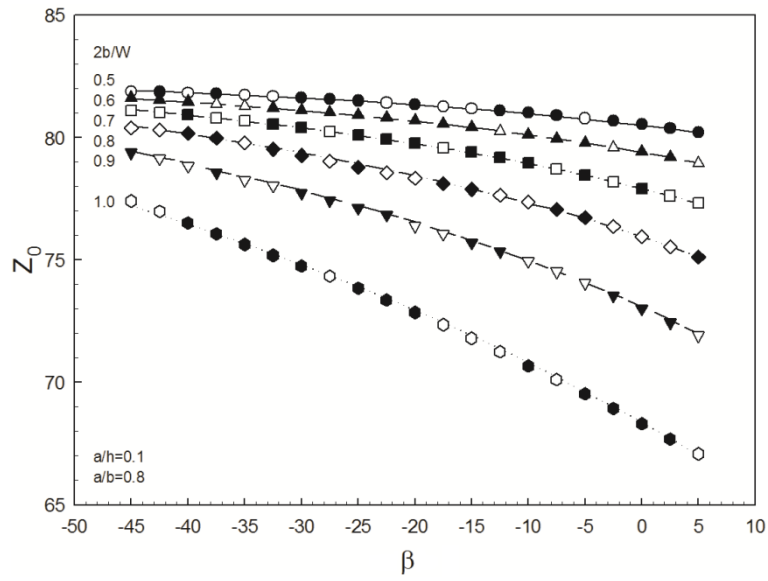


Şekil 3.53: TSML a) Yapısı b) Bulanık model

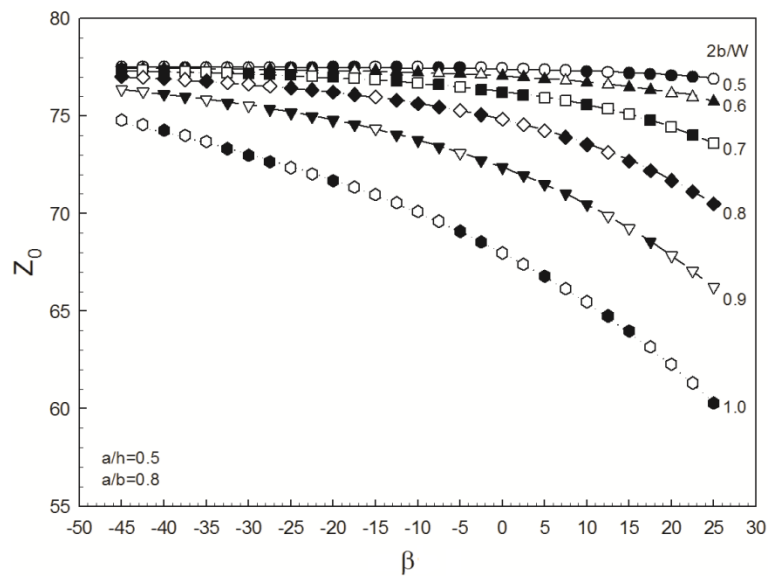
KDT uygulayan sayısal yöntem kullanılarak TSML yapısı bulanık modeli kurmak için 1500 adet eğitim verisi ve geçerliliğini teyit etmek amacıyla 1256 adet kontrol verisi kullanılmıştır. TSML modelinde eğitim ve kontrol veri çiftleri birbirinden tamamen farklıdır. Hem eğitim hem de kontrol veri setleri $0.5 \leq 2b/W \leq 1$ ve $-45 \leq \beta(\text{derece}) \leq 45$ aralığındadır. Daha önce bahsedildiği gibi TSML bulanık modelinde geometrik oranlar a/b sadece 0.5 ile 0.8 ve a/h sadece 0.1 ile 0.5 değerleri için veri setine dahil edilmiştir.

En düşük hata değerlerini sağlayan kümeleme ölçütleri komşuluk yarıçapı $r\alpha$ ve sıkıştırma katsayısı η ile küme merkezi belirleme kriterleri ϵ_{up} ve ϵ_{down} belirlendikten sonra TSML yapısı bulanık modelinin çıkışları literatürde yer alan KDT uygulayan sayısal yöntem sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Cheng ve Robertson 1995b). Farklı a/b ve a/h değerleri için bulanık modelin Z_0 sonuçları Şekil 3.54'de gösterilmektedir. Her bir şekilde KDT uygulayan sayısal yöntem sonuçları çizgilerle gösterilirken, eğitim ve kontrol verileri bulanık model çıkışları sırasıyla doldurulmuş ve içi boş sembollerle gösterilmektedir. TSML modelinin sonuçları, KDT uygulayan sayısal yöntem çözümünden elde edilen sonuçlarla çok iyi bir uyum içerisindedir.

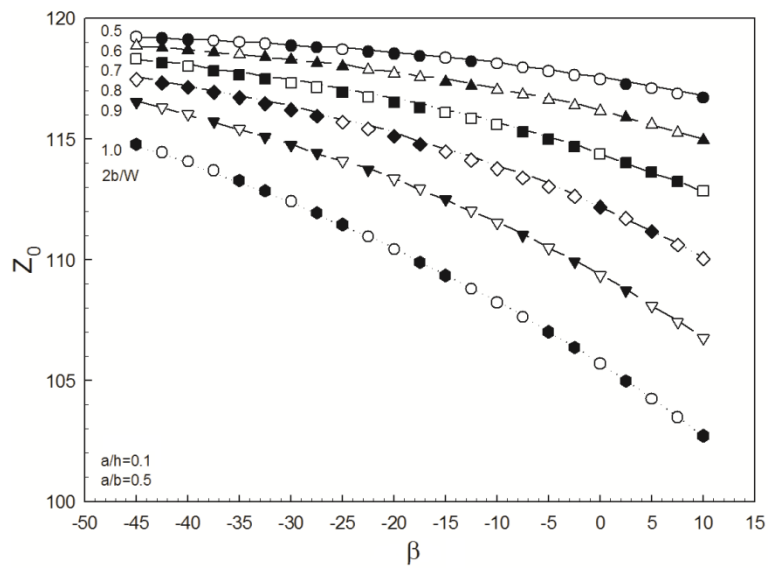
Optimal bir sistem elde etmek için $r\alpha$ ve η kümeleme ölçütlerinin değerleri, küme merkezi belirleme kriterleri ϵ_{up} ve ϵ_{down} ile birlikte denenmiştir. Diğer ölçütler sabit tutularak her bir kümeleme kriterinin değişimine bağlı halde TSML model çıkışının hata değerleri ve kural sayısı Şekil 3.55'deki gibi elde edilmiştir.

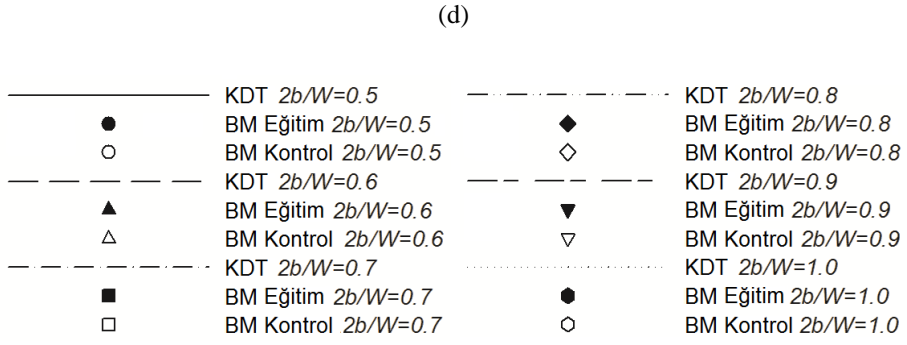
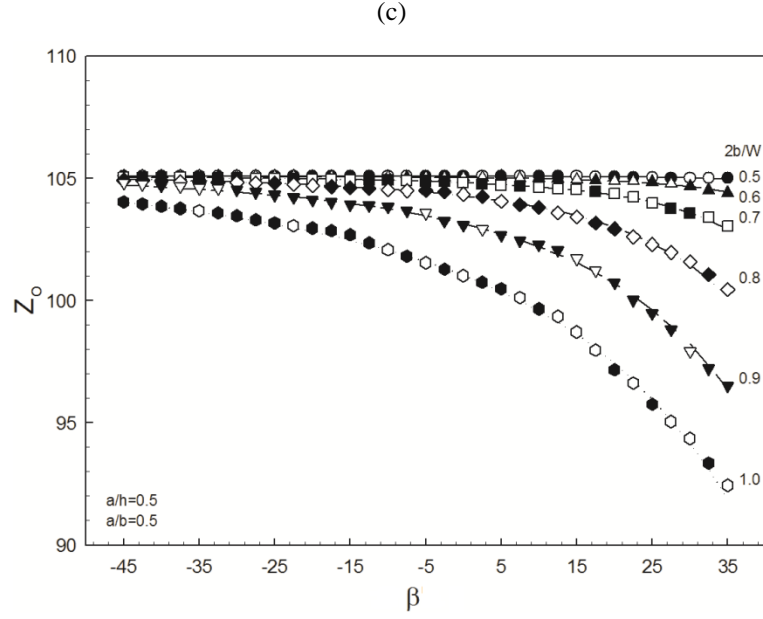


(a)

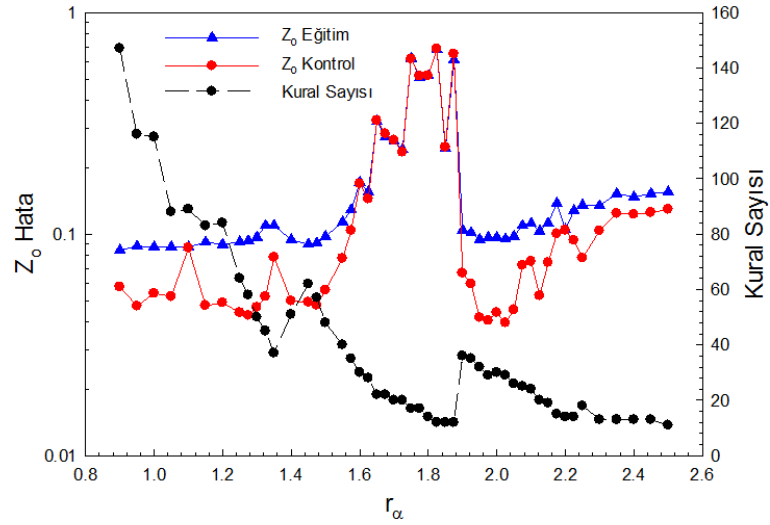


(b)

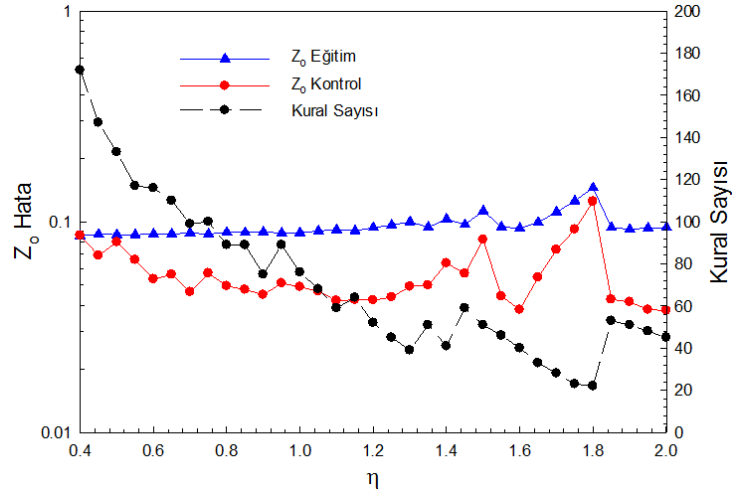




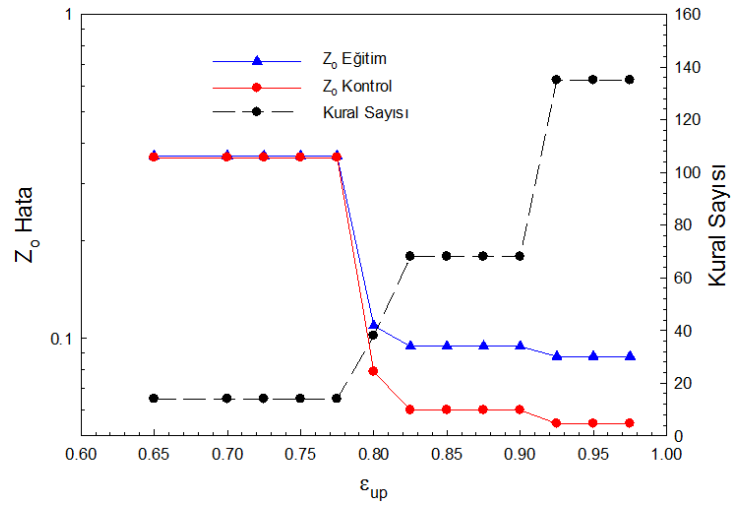
Şekil 3.54: TSML modeli eğitim ve kontrol verileri için karakteristik empedans Z_0 çıkışlarının KDT uygulayan sayısal yöntem çözümü ile karşılaştırmalı sonuçları. Z_0 değişimi β açısına (derece cinsinden), $2b/W$ oranına ve a/b ile a/h parametrelerine bağlıdır. a) $a/h=0.1$ $a/b=0.8$ b) $a/h=0.5$ $a/b=0.8$ c) $a/h=0.1$ $a/b=0.5$ d) $a/h=0.5$ $a/b=0.5$.



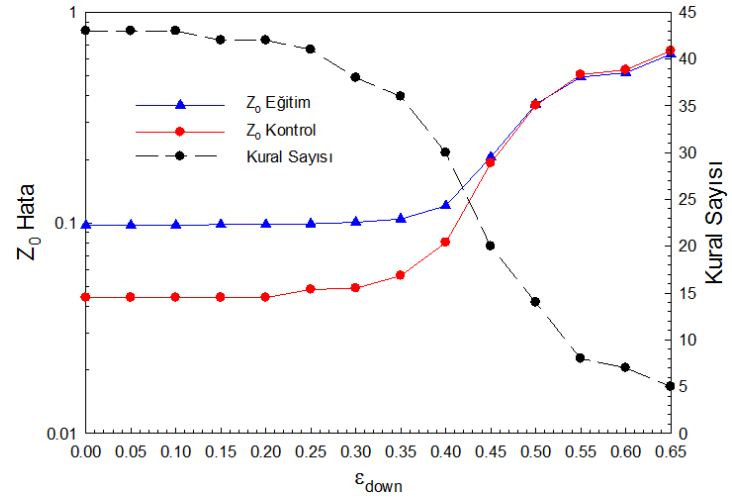
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.55: TSML modelinin eğitim ve kontrol verileri için karakteristik empedans hatasının ve kural sayısının dağılımı a) r_α 'ya bağlı değişim ($\eta=1.35$, $\epsilon_{up}=0.8$, $\epsilon_{down}=0.4$) b) η 'ya bağlı değişim ($r_\alpha=1.4$, $\epsilon_{up}=0.8$, $\epsilon_{down}=0.4$) c) ϵ_{up} 'a bağlı değişim ($r_\alpha=1.4$, $\eta=1.35$, $\epsilon_{down}=0.5$) d) ϵ_{down} 'a bağlı değişim ($r_\alpha=1.4$, $\eta=1.35$, $\epsilon_{up}=0.8$).

Optimum sonuçlara karşılık gelen kural sayısı ile birlikte komşuluk yarıçapı, sıkıştırma faktörü değerleri ve ϵ_{up} , ϵ_{down} kümeleme kriterleri Tablo 3.30’da verilmektedir. TSML modeli için en uygun giriş ölçütlerinden elde edilen eğitim ve kontrol verilerinin RMSE hataları ise Tablo 3.31’de gösterilmektedir.

Tablo 3.30: TSML modeli için en uygun parametre değerleri ve kural sayısı

Model Tipi	r_α	η	ϵ_{up}	ϵ_{down}	Kural Sayısı
TSML	1.4	1.3	0.8	0.3	39

Tablo 3.31: TSML modeli için en uygun komşuluk yarıçapına denk gelen RMSE değerleri

Model Tipi	Eğitim RMSE	Kontrol RMSE
	Z_o	Z_o
TSML	0.104	0.056

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bugün MMIC'lerdeki gelişmelerden dolayı çeşitli tip mikrodalga düzlemsel iletim hatlarının quasi-statik karakteristiklerinin daha iyi belirlenmesine ihtiyaç vardır. Alçak frekans entegre devrelerinde olduğu gibi MMIC yapıları hem sivil amaçlı kullanımları kapsayan yeni uygulama alanlarının açılmasında hem de mevcut pazarların genişlemesinde etkili olmuştur.

Ancak MMIC'lerin kullanımına ilişkin bazı problemler vardır. MMIC'ler yaygın olarak kullanılmadan önce, mikro devre tasarımcıları ve kullanıcıları, devre performansını üretimden sonraki aşamalarda düzenli bir şekilde optimize etme esnekliğine sahiptiler. Günümüzde ise, özellikle MMIC devreleri yüksek güvenilirlik ihtiyaçlarını karşılama durumunda bu harici düzenleme ihtiyacını karşılayamamaktadır. Bu nedenle MMIC'lerde hassas olarak karakterize edilmiş tasarımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Sonuç olarak, kullanılan düzlemsel yapılar daha hassas karakteristik işlem gerektirir ve devreler daha düzenli bir şekilde tasarlanmak zorundadır. Bu sebeple, bu tip problemleri gidermek için daha iyi optimizasyon tekniklerinin ve uygun CAD paketlerinin kullanımı zorunlu bir hale gelmiştir.

Minyatür mikrodalga devre ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Fakat düzlemsel iletim hatlarında maksimum çalışma frekansı; sahte modların uyarılması, yüksek kayıplar, süreksizlikler ve yüksek teknolojik işlemler gibi birçok faktörden dolayı sınırlıdır. Benzer şekilde düzlemsel iletim hattının maksimum genişliği; açık uçlar, aralıklar, uzun yarıklar, hat genişliğindeki değişimler gibi hat süreksizliklerinde oluşan yüksek ışıma kayıplarıyla sınırlanmış durumdadır. Üretim toleransları, kuplajlı hatlarda iki bitişik şerit arasındaki aralığı azaltır. Aynı şekilde, yüksek ışıma nedeniyle, düzlemsel hatlarda çalışma frekansı sınırlıdır. Tüm bu sorunlar, yüksek dielektrik sabitli ve düşük kayıplı malzemelerin kullanımındaki gelişmelere rağmen ortadan kaldırılamamıştır. Bu durum, hem işlem hem de üretim esnasında kullanılabilen uygun model ihtiyacını ortaya koymaktadır.

Mevcut çalışmada tanıtılan bulanık mantık tabanlı CAD modeller söz konusu düzlemsel iletim hatlarının karakteristik parametrelerini yüksek doğrulukla tahmin edebilecektir. Analitik formüller ile elde edilmiş hat parametre değerlerine çok yakın değerler bulunarak ilgili bulanık mantık modellerinin sıfıra yakın hatayla sonuç

vermesi sağlanacaktır. Elde edilen sonuçların literatürdeki deneysel, teorik ve bilgisayar destekli tasarım modellerinden elde edilen sonuçlarla uyum içerisinde olması sağlanacaktır. Dolayısıyla düzlemsel iletim hatları için geçerli olabilecek bulanık modeller ortaya konulacaktır.

Modellerin başarısıyla bağlantılı olarak bundan sonraki aşamada silindirik geometriye sahip iletim hatları için uygun bulanık modeller tanımlanarak bu geometrideki CPW ve CPS yapıları ayrı ayrı incelenebilir. Bulanık modelde giriş sayısının artmasıyla ve/veya tüm fiziksel boyutları kapsayan eğitim ve test veri setlerinde kullanılacak veri sayısının çoğaltılmasıyla birlikte düşük performanslı fakat daha kesin sonuç veren yeni modeller tanımlanabilir. Giriş parametre sayısına bağlı olarak işlem süresinin uzaması gibi zorlukların aşılması sonucu ortaya konulacak bulanık modellerin mikrodalga iletim hattı yapıları için oldukça kullanışlı olacağı açıktır. Farklı optimizasyon tekniklerinin de kullanılmasıyla düzlemsel iletim hatlarının bulanık modellemesinde daha başarılı sonuçlar elde edilebilir.

Mikrodalga düzlemsel iletim hatları için tasarlanacak olan bulanık modellerin eğitiminde teorik olarak elde edilen verilerin yanı sıra literatürde mevcut bazı deneysel sonuçlar da kullanılabilir. Bulanık modellerin test edilmesi ve yüksek doğrulukta sonuç elde edilmesi bakımından bu son derece önemlidir. Dolayısıyla tasarlanacak olan bulanık modellerin literatürdeki deneysel sonuçlarla ve quasi-statik yaklaşımlardan elde edilen çıktılarla karşılaştırılması ve hata oranının minimize edilmesi, modellerin geçerliliğini önemli derecede arttıracaktır.

Mevcut çalışmanın başka çalışmalar için de alt yapı oluşturması beklenmektedir. Bu çalışmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Empedans uydurma devresi, kuvvetlendirici ve mikrodalga devrelerini içeren aktif mikrodalga devrelerinin tasarımında performans ölçü kriterleri için uygun bulanık mantık modellerinin tespiti,
- Mikro şerit antenlerin rezonans frekansı gibi parametrelerinin bulanık modelleme vasıtasıyla hesaplanması,
- Farklı tip mikrodalga filtrelerin bilgisayar destekli tasarımı ve optimizasyonu için bulanık modeller oluşturulması gibi çalışmalar düşünülebilir.

5. KAYNAKLAR

Ahmari, D. A., et al., "High speed in GaP/GaAs HBT's with a strained In_xGa_{1-x}As base", *IEEE Electronic Device Letters*, 17 (5), 226-228, (1996).

Allen, J. L. and Estes, M. F., "Broadside-Coupled strips in a layered dielectric medium", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 20 (10), 662-669, (1972).

Ashesh C.B., Bhattacharya D. and Garg R., "Characterization of V-groove coupled microshield line", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 15 (2), 110-112, (2005).

Barrett, R. M., "Microwave printed circuits - A historical survey", *IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 3 (2), 1-9, (1955).

Bedair, S. S. and Wolff, I., "Fast and accurate analytic formulas for calculating the parameters of a general broadside-coupled coplanar waveguide for (M)MIC applications", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 37 (5), 843-850, (1989).

Bedair, S. S. and Wolff, I., "Fast, accurate and simple approximate analysis formulas for calculating the parameters of supported coplanar waveguides for (M)MIC's", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 40 (1), 41-48, (1992).

Bezdek J., "Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms", New York, *Plenum Press*, (1981).

Bezdek, J. C., Keller, J., Krisnapuram, R. and Nikhil, R. P., "Fuzzy models and algorithms for pattern recognition and image processing", *New York : Springer*, (2005).

Bhal J. and Bhartia P., "Characteristics of inhomogeneous broadside-coupled striplines", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, MTT-28, 529-535, (1980).

Bhartia, P. and Pramanick, P., "CAD models for broadside-coupled striplines and millimeter-wave suspended substrate microstrip lines", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 36 (11), 1476-1481, (1988).

Bhat B. and Koul S.K., "Striplinelike transmission lines for microwave integrated circuits", *New York: John Wiley and Sons*, (1989).

Chang, C. N., Chang, W. C. and Chen, C. H., "Full-wave analysis of multilayer coplanar lines", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 39 (4), 747 -750, (1991).

Cheng K.K.M. and Robertson I.D., "Simple and explicit formulas for the design and analysis of an asymmetrical V-shaped microshield line", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 43, 2501-2504, (1995).

Cheng K.K.M. and Robertson I.D., "Quasi-TEM study of microshield lines with practical cavity sidewall profiles", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 43, 2689-2694, (1995).

Chiu, S. L., "Fuzzy model identification based on cluster estimation", *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2 (3), 267-278, (1994).

Chiu S. L., "Extracting fuzzy rules from data for function approximation and pattern classification", (eds: Dubois D., Prade H. and Yager R.), *Fuzzy Set Methods in Information Engineering: A Guided Tour of Applications*, John Wiley, (9), (1997).

Cohn, S. B., "Shielded coupled-strip transmission line", *IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 3 (5), 29-38, (1955).

Cohn S. B., "Characteristic Impedances of Broadside-Coupled Strip Transmission Lines", *IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 8 (6), 633-637, (1960).

Dalley, J. E., "A strip-line directional coupler utilizing a non-homogeneous dielectric medium", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 17 (9), 706-712, (1969).

Demirli K., Cheng S.X. and Muthukumaran P., “Subtractive clustering based on modelling of job sequencing with parametric search”, *Fuzzy Sets and Systems*, 137 (2), 235–270, (2003).

Dib N. I., Harokopus W. P., Katehi L. P. B., Ling C. C. and Rebeiz G. M., “Study of a novel planar transmission line,” *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, 623-626, (1991).

Dib N.I. and Katehi L.P.B., “Impedance calculation for the microshield line”, *IEEE Microwave Guided Wave Letters*, 2 (10), 406-408, (1992).

Fang, S. J. and Wang, B. S., “Analysis of asymmetric coplanar waveguide with conductor backing”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 47 (2), 238–240, (1999).

Funada J., Yamashita E. and Tefiku F., “Novel directional couplers using broadside-coupled coplanar waveguides for double-sided printed antennas”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 44 (2), 275-282, (1996).

Ghione G. and Naldi C.U., “Coplanar waveguides for MMIC applications: Effect of upper shielding, conductor backing, finite-extent ground planes, and line-to-line coupling”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, MTT-35, 260-267, (1987).

Ghione, G., Goano, M. and Pirola, M., “Exact, conformal-mapping models for the high-frequency losses of coplanar waveguides with thick electrodes of rectangular or trapezoidal cross section”, *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest 1999*, 1311–1314, (2002).

Gill, D. M., et al., “High performance 0.1 μm InAlAs/InGaAs high electron mobility transistors on GaAs”, *IEEE Electronic Device Letters*, 17 (7), 328-330, (1996).

Gillick, M., Robertson, I. D. and Joshi, J. S., “Design analysis of novel coupling structures for multilayer MMIC’s”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 41 (2), 346-349, (1993).

Gillick M., Robertson I. D. and Joshi J. S., "Direct analytical solution for the electric field distribution at the conductor surfaces of coplanar waveguide", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 41 (1), 129-135, (1993).

Gorur A., Karpuz C. and Duyar M., "Analysis of coupled coplanar waveguides with V-shaped conductor backing using conformal-mapping method", *IEE Proceedings - Microwaves Antennas and Propagation*, 147 (6), 509-513, (2000).

Hanna, V. F. and Thebault, D., "Theoretical and experimental investigation of asymmetric coplanar waveguides", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 32 (12), 1649-1651, (1984).

Hanna, V. F. and Thebault, D., "Analyse des coupleurs directifs coplanaires", *Annales des Télécommunications*, 39 (7/8), 299-306, (1984).

Hanna V. F., "Parameters of coplanar directional couplers with lower ground plane", *15th European Microwave Conference Proceedings*, Paris, France, 820-825, (1985).

Hatsuda, T., "Computation of coplanar-type strip-line characteristics by relaxation method and application to microwave circuits", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 23 (10), 795-802, (1975).

Hilberg, W., "From approximations to exact relations for characteristic impedances", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 17 (5), 259-265, (1969).

Ho, P., et al., "Extremely high gain 0.15 μm Gate-length InAlAs/InGaAs /InP/HEMT's", *Electronic Letters*, 27 (4), 325-327, (1991).

Hong, I. P., Lee, Y. K. and Park, H. K., "Dispersion characteristics of a broadside-coupled coplanar waveguide", *Electronics Letters*, 33 (11), 965-966, (1997).

Jackson, R. W., “Considerations in the use of coplanar waveguide for millimeter-wave integrated circuits”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 34 (12), 1450-1456, (1986).

Kammler D.W., “Calculation of characteristic admittances and coupling coefficients for strip transmission lines”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, MTT-16, 925–927, (1968).

Karpuz C., Gorur A., Gorur H., and Alkan M., “Fast and simple analytical expressions for quasistatic parameters of asymmetric coplanar lines”, *Microwave and Optical Technology Letters*, 9, 334-336, (1995).

Karpuz C. and Gorur A., “Effect of upper shielding and conductor backing on quasi static parameters of asymmetric coplanar waveguides”, *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 9, 394-402, (1999).

Karpuz, C., Duyar, M. and Gorur, A., “Quasi-TEM analysis of broadside-coupled V-shaped microshield coplanar waveguides”, *Microwave and Optical Technology Letters*, 26, 229-232, (2000).

Karpuz C., Inan O., Urhan M., “Practical fuzzy model approach for asymmetrical V-shaped microshield line by CADMFILT software”, *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 31 (3), e22540, (2021).

Katehi L.P.B., “Novel transmission lines for the submillimeter-wave region,” *Proceedings of the IEEE*, 80 (11), 1771-1787, (1992).

Kiang, J. F., “Quasi-TEM analysis of coplanar waveguides with an inhomogeneous semiconductor substrate”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 44 (9), 1586–1589, (1996).

Kiang J.-F., “Characteristic impedance of microshield lines with arbitrary shield cross section”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 46 (9), 1328-1331, (1998).

Kim, W. J., et al., "Coplanar waveguide using ferroelectric thin oxide film: dielectric constant", *Journal of Electroceramics*, 13, 245-249, (2004).

Kitazawa T., and Mittra R., "Quasistatic characteristics of asymmetrical and coupled coplanar-type transmission lines", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, MTT-33, 771-778, (1985).

Kohonen T., "The self-organizing map", *Proceedings of IEEE* 78, 1464-1480, (1990).

Kumar, R., "Design model for broadside coupled suspended substrate stripline for microwave and millimeter-wave applications", *Microwave and Optical Technology Letters*, 42 (4), 328-331, (2004).

Lee, J. J., "Slotline Impedance", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 39 (4), 666-672, (1991).

Lo, W. T. and Tzuang, C. K. C., "A new full-wave integral equation method for the analysis of eigenfunction expansion technique coplanar strip circuit using the mixed-potentials", *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest 1993*, 1539-1542, (2002).

Lu M. and Leonard P.J., "Edge-based finite-element analysis of the field patterns in V-shaped microshield line", *Microwave and Optical Technology Letters*, 41 (1), 43-47, (2004).

Lu M. and Persson M., "On the cutoff wavelength of V-shaped microshield line by edge element method", *2005 IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, Beijing, China*, 803-806, (2005).

Majidi-Ahy, R., et al., "5-100 GHz InP coplanar waveguide MMIC distributed amplifier", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 38 (12), 1986-1993, (1990).

Mamdani, E.H. and Assilian, S., “An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller”, *International Journal of Man-Machine Studies*, 7, 1-13, (1975).

Miraftab V. and Mansour R.R., “Computer–Aided tuning of microwave filters using fuzzy logic”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 50 (12), 2781–2788, (2002).

Miraftab, V. and Mansour, R.R., “A robust fuzzy-logic technique for computer-aided diagnosis of microwave filters”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 52 (1), 450-456, (2004).

Nguyen, C., “Broadside-Coupled coplanar waveguides and their end-coupled band-pass filter applications”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 40 (12), 2181-2189, (1992).

Nguyen, C., “Dispersion characteristics of the broadside-coupled coplanar waveguide”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 41 (9), 1630-1633, (1993).

Ponchak, G. E., Tentzeris, E. M., “Finite ground coplanar waveguide (fgc) low loss, low coupling 90-degree crossover junctions”, *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, 25 (3), 385-392, (2002).

Riazat, M., Majidi-Ahy, R., Feng, I. J., “Propagation modes and dispersion characteristics of coplanar waveguides”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 38 (3), 245-251, (1990).

Schutt-Aine J.E., “Static analysis of V transmission lines”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 40 (4), 659-664, (1992).

Sharma, A. K. and Bhat, B., “Spectral domain analysis of interacting microstrip resonant structures”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 31 (8), 681-685, (1983).

Shu Y.-H., Qi X.-X., Wang Y.-Y., “Analysis equation for shielded suspended substrate microstrip line and broadside-coupled stripline”, *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest-USA*, 693–696, (1987).

Simons, R. N., “Coplanar waveguide circuits, components and systems”, *New York: John Wiley and Sons*, (2001).

Su, H. C. and Wong, K. L., “Quasi-Static solutions of cylindrical coplanar waveguides”, *Microwave and Optical Technology Letters*, 14 (6), 347-351, (1997).

Sugeno, M. and Kang G., “Structure identification of fuzzy model”, *Fuzzy Sets and Systems*, 28 (1), 15–33, (1988).

Syahkal, D. M., “Moment method of computing equivalent circuit of coplanar waveguide T-Junction”, *Second International Conference on Computation in Electromagnetics 1994*, 355-358, (2002).

Şen, Z., “Bulanık mantık ve modelleme ilkeleri”, *İstanbul : Bilge Kültür Sanat*, ISBN: 9789758509232, (2001).

Takagi, T. and Sugeno, M., “Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 15 (1), 116-132, (1985).

Tanaka, T., Tsunoda, K. and Aikawa, M., “Slot-Coupled directional couplers on a both-sided substrate MIC and their applications”, *Electronics and Communications in Japan*, 72 (3), (1989).

Tomar, R., Antar, Y. M. M. and Bhartia, P., “Computer-Aided-Design (CAD) of suspended-substrate microstrips: An overview”, *International Journal RF Microwave CAE*, 15 (1), 44-55, (2005).

Veyres C. and Hanna V.F., “Extension of the application of conformal mapping techniques to coplanar lines with finite dimensions”, *International Journal of Electronics*, 48 (1), 47-56, (1980).

Wang, H.Y., Syahkal, D. M. and Dilworth, I. J., “Spectral domain analysis of coplanar strip discontinuities”, *Microwave and Optical Technology Letters*, 15 (6), 395-398, (1997).

Wang L. -X. and Mendel J.M., “Generating fuzzy rules by learning from examples”, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 22 (6), 1414–1427, (1992).

Wang, A. and Wu, Y., “The dispersion characteristic of broadside-coupled coplanar waveguide in wide frequency band”, *International Conference on Computational Electromagnetics and its Applications 1999*, 363-366, (1999).

Wang, A., Dai, J. and Wu, Y., “The dispersion characteristics of asymmetric supported broadside-coupled coplanar waveguides”, *2nd International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology 2000*, 619-622, (2000).

Wen, C. P., “Coplanar Waveguide: A surface transmission line suitable for nonreciprocal gyromagnetic device applications”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 17 (12), 1087-1090, (1969).

Wheeler, H. A., “Directional coupler”, *US patent 2 606 974*, (1952).

Wolff, I., “Coplanar microwave integrated circuits”, *New York: John Wiley and Sons*, (2006).

Wong, M. F., Hanna, V. F., Picon, O. and Baudrand H., “Analysis and design of slot-coupled directional couplers between double-sided substrate microstrip lines”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 29 (12), 2123-2129, (1991).

Wu, K. L., Wu, C. and Litva, J., “Characterizing microwave planar circuits using the coupled finite-boundary element method”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 40 (10), 1963-1966, (1992).

Yager, R. R. and Filev, D. P., “Approximate clustering via the mountain method”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 24 (8), 1279-1284, (1994).

Yager R. and Filev D. P., “Generation of fuzzy rules by mountain clustering”, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2 (3), 209-219, (1994).

Yamashita E. and Atsuki K., “Stripline with rectangular outer conductor and three dielectric layers”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, MTT-18, 238–244, (1970).

Yan Y. and Pramanick P., “Finite-element analysis of generalized V- and W-shaped edge and broadside-edge-coupled shielded microstrip lines on anisotropic medium”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 49 (9), 1649-1657, (2001).

Yuan N., Ruan C. and Lin W., “Analytical analyses of V elliptic and circular-shaped microshield transmission lines”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 42 (5), 855-859, (1994).

Yu, J., “General c-means clustering model”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 27 (8), 1197-1211, (2005).

Zadeh L. A., “Fuzzy sets”, *Information and Control*, 8 (3), 338–353, (1965).