



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 16.04.2022  
Kabul Tarihi : 23.05.2022

Received Date : 16.04.2022  
Accepted Date : 23.05.2022

### DİELEKTRİK TABAN DESTEKLİ EŞ DÜZLEMLİ DALGA KILAVUZLARI İÇİN GENETİK PROGRAMLAMA İLE GELİŞTİRİLMİŞ QUASI-STATİK ANALİZ MODELLERİ

### QUASI-STATIC ANALYSIS MODELS FOR DIELECTRIC BASE SUPPORTED COPLANAR WAVEGUIDES IMPROVED BY GENETIC PROGRAMMING

Hakan KİŞİOĞLU<sup>1\*</sup> (ORCID: 0000-0002-5913-9758)  
Celal YILDIZ<sup>2</sup> (ORCID: 0000-0003-3369-4777)

<sup>1</sup> Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yozgat, Türkiye  
<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Hakan KİŞİOĞLU, hakan.kisioglu@yobu.edu.tr

#### ÖZET

Bu çalışmada dielektrik taban destekli eş düzlemlı dalga kılavuzlarının (DTDEDDK) efektif dielektrik sabitini ve karakteristik empedansını belirlemek amacıyla genetik programlama (GP) ile geliştirilmiş doğru ve çok basit quasi-statik analiz modelleri sunulmuştur. GP kullanılarak elde edilen quasi-statik analiz modellerinin geçerliliğini ve doğruluğunu göstermek için, bu çalışmada sunulan modelden elde edilen sonuçlar literatürde var olan quasi-statik analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonuçları önerilen quasi-statik analiz modellerinin sonuçları ile literatürdeki mevcut quasi-statik analiz sonuçları arasında iyi bir uyum olduğunu göstermiştir. Bu çalışmadaki tasarım parametrelerinin değer aralıkları  $2 \leq \epsilon_{r1} \leq 10$ ,  $10 \leq \epsilon_{r2} \leq 20$ ,  $20 \mu m \leq h \leq 2000 \mu m$ ,  $0.1 \leq w/h \leq 1$ ,  $0.1 \leq s/h \leq 4$  ve DTDEDDK'larının bu parametre değerlerine karşılık gelen karakteristik empedans değerleri  $19 \Omega \leq Z_0 \leq 117 \Omega$  aralığındadır. Bu çalışmada önerilen DTDEDDK'lar için önerilen quasi-statik analiz modellerinin doğruluklarının pratik uygulamalar için yeterince iyi olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Quasi-statik analiz modeli, eş düzlemlı dalga kılavuzu, genetik programlama

#### ABSTRACT

In this study, accurate and very simple quasi-static analysis models developed with genetic programming (GP) are presented in order to determine the effective dielectric constant and characteristic impedance of dielectric base supported coplanar waveguides. In order to demonstrate the validity and accuracy of the quasi-static analysis models improved by using GP, the results of proposed models in this work were compared with the quasi-static analysis results available in the literature. These comparison results show that there is a good agreement between the results of the proposed quasi-static analysis models and the quasi-static analysis results available in the literature. The design parameter ranges in this study are  $2 \leq \epsilon_{r1} \leq 10$ ,  $10 \leq \epsilon_{r2} \leq 20$ ,  $20 \mu m \leq h \leq 2000 \mu m$ ,  $0.1 \leq w/h \leq 1$ ,  $0.1 \leq s/h \leq 4$  and the characteristic impedance values of dielectric base supported coplanar waveguides corresponding these design parameter values are between  $19 \Omega \leq Z_0 \leq 117 \Omega$ . It has been observed that the accuracy of the proposed quasi-static analysis models for dielectric base supported coplanar waveguides proposed in this study is good enough for the practical applications.

**Keywords:** Quasi-static analysis model, coplanar waveguide, genetic programming

ToCite: KİŞİOĞLU, H., & YILDIZ, C., (2022). DİELEKTRİK TABAN DESTEKLİ EŞ DÜZLEMLİ DALGA KILAVUZLARININ GENETİK PROGRAMLAMA İLE GELİŞTİRİLMİŞ QUASI-STATİK ANALİZ MODELLERİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(2), 138-144.

## GİRİŞ

Eş düzlemlerli dalga kılavuzları (EDDK) ve çok katmanlı EDDK'lar, mikrodalga entegre devrelerin (MED) tasarımında ve üretiminde geleneksel mikroşerit hatlar üzerindeki cazip özellikleri nedeniyle büyük ilgi görmüştür ("Special Issue on, Microwave Integrated Circuits", 1968; "Special Issue on, Microwave Integrated Circuits", 1971; Gupta and Singh, 1974; Frey, 1974; Simons, 2001). MED ve monolitik MED uygulamaları için ideal olan EDDK'ları, şönt ve seri bağlantı kolaylığı, düşük radyasyon, düşük dağılım, kolay imalat ve düzlemsel olmaları nedeniyle delik ihtiyacının ortadan kaldırılması gibi birçok avantaj bulunmaktadır (Wen, 1969). EDDK'ların analizi 1969 yılında ilk kez Wen (1969) tarafından konform dönüşüm tekniği (KDT) kullanılarak yapılmıştır. EDDK'lar, bir dielektrik tabakanın üstüne aynı düzlemde olmak üzere bir merkez iletken ve bu iletkenin iki tarafına, iki yarıktan sonra konulmuş bulunan toprak düzlemlerinden oluşmaktadır. Çok tabakalı iletim hattı yapıları, alt ve üst tabakalara uygun dielektrik taban malzemesi kullanılmasıyla, tek bir dielektrik katmana sahip iletim hatlarına göre temel frekans bölgesinin kontrol edilmesi ve kaçak alanları daha iyi önleyebilmektedir (Das and Pozar, 1987; Frankel, Voelker and Hilfiker, 1994; Gevorgian, Linner and Kollberg, 1995; Erli and Chou, 1997). Ayrıca EDDK yapılarında dielektrik katmanın kırılgen olması durumunda yapının mekanik dayanımını ve ortalama güç taşıma kapasitesini arttırmak için kırılgen alt katmanın başka bir dielektrik alt katmana birleştirilmesi ile çözüm elde edilebilir (Shih and Itoh, 1982; Jackson, 1986; Riazat, Bandy and Zdasiuk, 1987; Morkoc and Aksun, 1988; Cai, Kooi, Leong and Yeo, 1993).

Literatürde yaygın bir şekilde kullanılan çok katmanlı EDDK'lardan biride DTDEDDK'lardır. DTDEDDK'ların karakteristik parametreleri ilk kez 1992 yılında Bedair ve Wolff (1992) tarafından KDT kullanılarak elde etmiş ve bu sonuçlar spektral domain analizi (SDA) sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Ayrıca DTDEDDK'ların quasi-TEM parametreleri, geliştirilmiş SDA (GSDA) metodunu kullanarak belirlenmiştir (Cheng and Robertson, 1994). Görür vd. (1996) 1996 yılında çok katmanlı asimetrik EDDK'ların quasi statik TEM parametrelerini hesaplamak için analitik formüller önermişlerdir. Yıldız, Guney, Turkmen ve Kaya (2007) ise DTDEDDK'ların karakteristik parametrelerinin hesaplamalarında yapay sinir ağlarını kullanmışlardır.

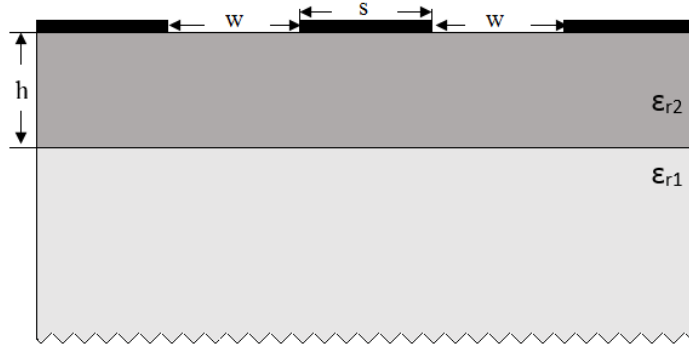
Literatürdeki bu modellerin bazı dezavantajları vardır. Literatürde son model (Yıldız et al., 2007) dışında önerilen analiz modelleri (Bedair and Wolff, 1992; Cheng and Robertson, 1994; Görür et al. 1996), hesaplanması oldukça güç olan eliptik integraller içerir ve DTDEDDK'ların karakteristik parametrelerini belirlemek için kapsamlı hesaplamalar gerektirir. Ref. (Yıldız et al., 2007) ile literatüre önerilen bulanık sinir ağları tabanlı modeller ise kapalı kutu modelleridir ve kapalı form denklemler içermemektedir.

Bu çalışmada, DTDEDDK'ların karakteristik parametrelerini belirlemek amacıyla GP kullanılarak elde edilmiş olan doğru ve çok basit quasi-statik analiz modelleri önerilmiştir. GP, evrimsel algoritma tekniklerinden biri olup, DTDEDDK'ların karakteristik parametrelerini başarılı bir şekilde hesaplamaktadır. Önerilen quasi-statik analiz modellerinin geçerliliğini ve doğruluğunu kanıtlamak amacıyla birçok kıyaslama yapılmıştır. Bu kıyaslamalar kapsamında, önerilen quasi-statik analiz modellerinden elde edilen sonuçlar ile KDT (Bedair and Wolff, 1992), SDA (Bedair and Wolff, 1992), GSDA (Cheng and Robertson, 1994)'dan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. GP ve mikrodalga düzlemsel iletim hatlarının analiz ve tasarım problemlerine ait uygulamalar hakkında ayrıntılı bilgiler (Kisioglu and Yıldız, 2016; Yıldız and Kisioglu, 2017)'da verilmiştir.

## GENETİK PROGRAMLAMA KULLANILAN GELİŞTİRİLEN ANALİZ MODELLERİ

DTDEDDK'ların kesit görünümü Şekil 1'de verilmiştir. Bu şekilde,  $w$ 'lar yarıklı genişliklerini,  $w$  yarıklı genişlikleri arasında kalan kısım  $s$  şerit genişliğini,  $h$  dielektrik tabakanın kalınlığıdır.  $\epsilon_{r1}$  ve  $\epsilon_{r2}$  ise tabakaların bağıl dielektrik sabitleridir. İletim hattında kullanılan tüm iletkenlerin kalınlıklarının ihmal edilecek kadar ince ve mükemmel iletken olduğu varsayılmıştır. DTDEDDK'ların analiz modelleri GP kullanılarak geliştirilmiştir. GP, DTDEDDK'ların analizini gerçekleştirmek için giriş ve çıkış değişkenleri arasında fonksiyonel bir ilişki kurmaktadır. Önerilen analiz modellerinde giriş parametreleri; bağıl dielektrik sabitleri ( $\epsilon_{r1}$ ,  $\epsilon_{r2}$ ), dielektrik tabakanın kalınlığı ( $h$ ), iletim hattının fiziksel boyutları olan normalize yarıklı genişliği ( $w/h$ ) ve normalize şerit genişliği ( $s/h$ ). Çıkış parametresi ise efektif dielektrik sabiti ( $\epsilon_{eff}$ ) veya karakteristik empedanstır ( $Z_0$ ).

DTDEDDK'ların quasi-statik analiz modellerinin oluşturulmasında kullanmak amacı ile Bedair ve Wolff (1992) tarafından yapılan çalışmadan 8000 adet veri seti üretilmiştir. Veri setindeki tasarım parametreleri;  $20\mu\text{m} \leq h \leq 2000\mu\text{m}$ ,  $2 \leq \epsilon_{r1} \leq 10$  ve  $10 \leq \epsilon_{r2} \leq 20$  olarak alınmıştır. Ayrıca iletim hattı yapısının normalize yarı genişliği  $0.1 \leq w/h \leq 1$  ve normalize şerit genişliği  $0.1 \leq s/h \leq 4$  aralığında tutulmuştur. Bu tasarım parametre değerlerine karşılık gelen karakteristik empedans değerleri ise  $19\Omega \leq Z_0 \leq 117\Omega$  aralığında olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 1. DTDEDDK'ların Kesit Görünümü

DTDEDDK'ların quasi-statik analizi için GP kullanarak türetilen uygun analiz modellerini elde etmek amacıyla birçok deneme gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerde GP'nin, çaprazlama oranı, mutasyon oranı, çoğalma oranı ve popülasyon büyüklüğü en uygun değer olarak sırasıyla 0.8, 0.1, 0.1 ve 150 olarak alınmıştır. Birçok deneme sonunda, belirli bir  $(\epsilon_{r1}, \epsilon_{r2}, h)$  dielektrik taban malzemesi ve iletim hattının  $(w/h, s/h)$  geometrik boyutları seçildikten sonra DTDEDDK'ların (karakteristik empedans ve efektif dielektrik sabiti) karakteristik parametrelerini hesaplayan hata oranları düşük, doğru ve çok basit analiz modelleri GP kullanarak üretilmiştir. Türetilen DTDEDDK'ların karakteristik empedansını ( $Z_0$ ) ve efektif dielektrik sabitini ( $\epsilon_{eff}$ ) hesaplayan analiz modelleri sırasıyla denklem (1) ve (2)'de verilmiştir.

$$Z_0 = \eta_0 \cdot \left[ \frac{\frac{x_1 \cdot w}{h} + \frac{x_2 \cdot h}{w} + \frac{x_3 \cdot \epsilon_{r1} \cdot h}{s}}{\left( x_4 + x_5 \cdot \epsilon_{r2} + x_6 \cdot \log\left(\frac{s}{h}\right) \cdot \log\left(x_7 + \frac{w}{h} + x_8 \cdot \epsilon_{r2}\right) \right) + x_9 + \frac{w}{h}} \right]^{-1} \quad (1)$$

$$\epsilon_{eff} = \left[ \frac{x_1 + x_2 \cdot \epsilon_{r2} + \frac{x_3 \cdot \epsilon_{r1} \cdot w}{h} + \frac{x_4 \cdot \epsilon_{r1} \cdot s}{h} - \frac{x_5 \cdot \epsilon_{r2} \cdot s}{h} - \frac{x_6 \cdot \epsilon_{r2} \cdot w}{h}}{-\frac{x_7 \cdot \epsilon_{r2} \cdot w}{h} \cdot \sin\left(\frac{x_8 \cdot s}{h}\right)} \right] \quad (2)$$

Burada  $(x_1, x_2, \dots, x_9)$  DTDEDDK'lar için önerilen analiz modellerinin katsayılarıdır,  $\eta_0 = 120\pi \Omega$  ise hava ortamının öz empedansdır. Tablo 1'de DTDEDDK'lar için önerilen karakteristik empedansa ve efektif dielektrik sabitine ait analiz modellerindeki katsayıların değerleri verilmiştir.

Tablo 1. DTDEDDK'lar için Önerilen Analiz Modellerindeki Katsayı Değerleri

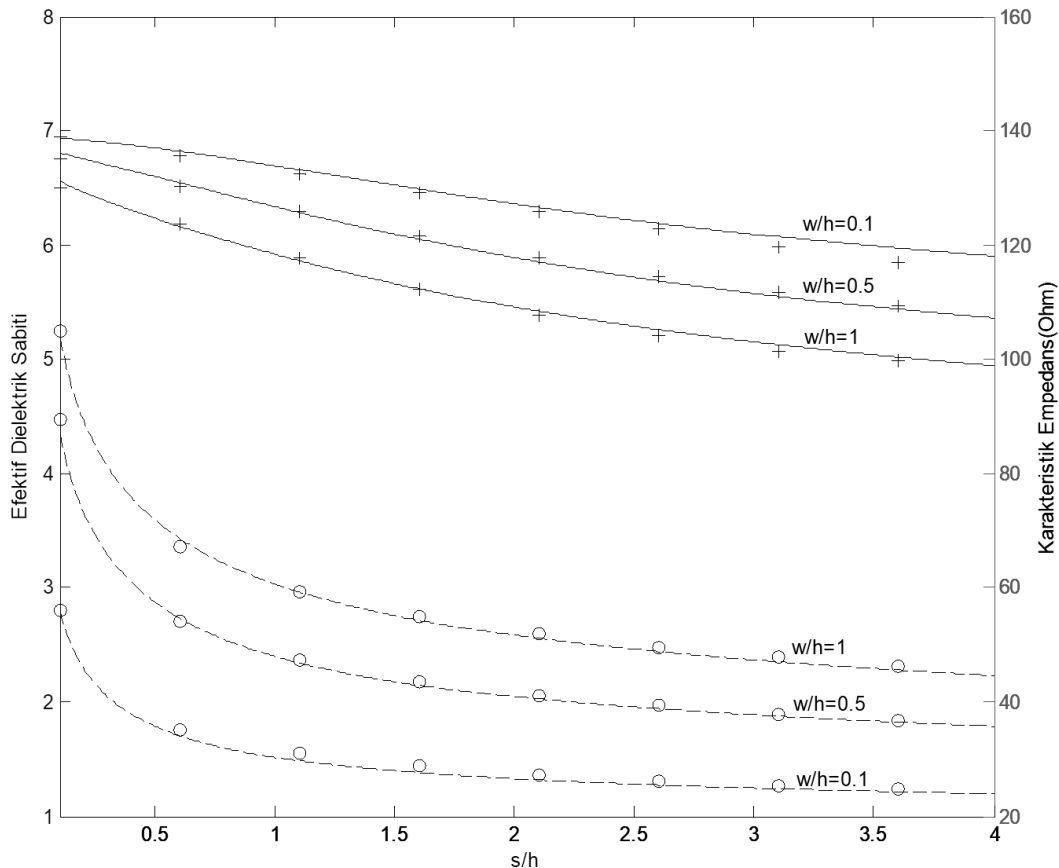
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$
$(Z_0)$ Karakteristik Empedans	1,1261	0,1446	0,0552	4,0994	0,3069	4,1489	0,3938	0,6735	0,6914
$(\epsilon_{eff})$ Efektif Dielektrik Sabiti	0,4789	0,5080	0,0780	0,0353	0,0339	0,0592	0,0442	0,5954	-----

## SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

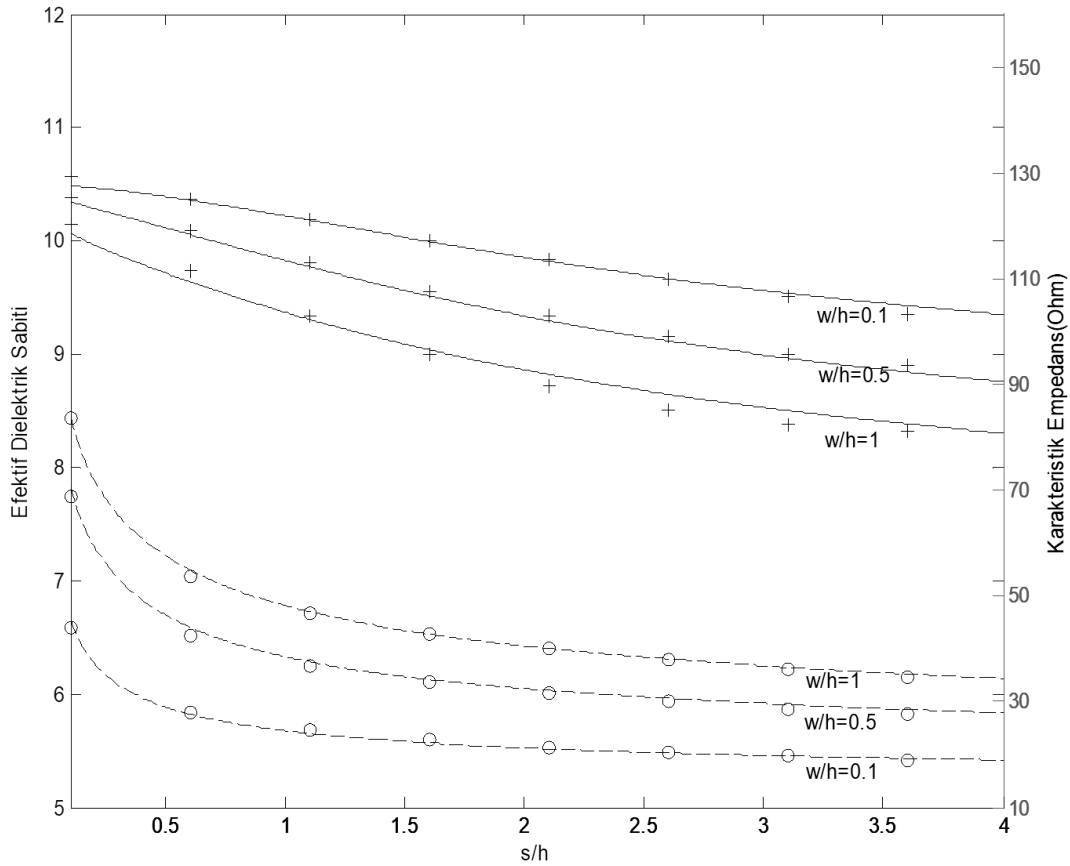
Bu çalışmada DTDEDDK'lar quasi-statik analizleri için GP kullanılarak türetilmiş analiz modelleri önerilmiştir. DTDEDDK'lar için bu çalışmada önerilen analiz modellerin doğruluğunu ve geçerliliğini kanıtlamak amacıyla detaylı kıyaslamalar yapılmıştır. Bu kapsamda, önerilen analiz modellerinden bulunan sonuçlar, KDT (Bedair and Wolff, 1992), SDA (Bedair and Wolff, 1992), GSDA (Cheng and Robertson, 1994) sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

İlk karşılaştırma farklı ( $\epsilon_{r1}$ ,  $\epsilon_{r2}$ ) dielektrik sabiti değerleri ve farklı  $w/h$  değerleri için karakteristik empedans ve efektif dielektrik sabitinin ( $s/h$ ) normalize şerit genişliğine göre değişimi hem önerilen analiz modelleri hemde literatürdeki KDT (Bedair and Wolff, 1992) modeli için yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu şekillerden açıkça görülebileceği gibi, önerilen analiz model sonuçları ile KDT (Bedair and Wolff, 1992) sonuçları arasında çok iyi bir uyum bulunmaktadır.

İkinci karşılaştırma ise önerilen analiz modellerinden hesaplanan karakteristik empedans değerleriyle literatürdeki KDT (Bedair and Wolff, 1992), SDA (Bedair and Wolff, 1992), ve GSDA (Cheng and Robertson, 1994) modellerinden hesaplanan karakteristik empedans değerleri için yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 2 verilmiştir. Bu tabloda,  $w^+$  ve  $s^+$  gerçek boyutlar olup bu değerleri kullanılarak hesaplanan KDT (Bedair and Wolff, 1992), SDA (Bedair and Wolff, 1992) ve GSDA (Cheng and Robertson, 1994) için  $Z_0(w^+, s^+)$  karakteristik empedans değerlerini ve bu çalışmada önerilen analiz modelinden bulunan karakteristik empedans değerleri  $Z_0^*(w^+, s^+)$  şeklinde gösterilmektedir. Bu karşılaştırmalardan da açıkça görüldüğü gibi önerilen analiz modelinden elde edilen sonuçlar ile KDT (Bedair and Wolff, 1992), SDA (Bedair and Wolff, 1992) ve GSDA (Cheng and Robertson, 1994) modellerinden elde edilen sonuçlar arasında çok iyi bir uyum bulunmaktadır.



**Şekil 2.** DTDEDDK'lar Karakteristik Parametreleri için Önerilen Analiz Modelinin Sonuçlarıyla Literatürdeki Quasi Statik Analiz (Bedair and Wolff, 1992) Sonuçlarıyla Karşılaştırılması ( $h=200 \mu m$ ,  $\epsilon_{r1}=3.78$ ,  $\epsilon_{r2}=12.9$ ), --- Karakteristik Empedans (Bedair and Wolff, 1992), ——— Efektif Dielektrik sabiti (Bedair and Wolff, 1992), (o o o Karakteristik Empedans, + + + Efektif Dielektrik sabiti) Sunulan Analiz Modelleri



**Şekil 3.** DTDEDDK'lar Karakteristik Parametreleri için Önerilen Analiz Modelinin Sonuçlarıyla Literatürdeki Quasi Statik Analiz (Bedair and Wolff, 1992) Sonuçlarıyla Karşılaştırılması ( $h=200 \mu\text{m}$ ,  $\epsilon_{r1}=10$ ,  $\epsilon_{r2}=20$ ),  
- - - Karakteristik Empedans (Bedair and Wolff, 1992) ——— Efektif Dielektrik sabiti (Bedair and Wolff, 1992), (o o o Karakteristik Empedans, + + + Efektif Dielektrik sabiti) Sunulan Analiz Modelleri

Benzer iyi sonuçlar analiz edilecek tüm DTDEDDK'lar için de gözlenebilir, nitekim karakteristik empedans ve efektif dielektrik sabiti için önerilen analiz modellerinin literatürdeki KDT (Bedair and Wolff, 1992) model sonuçlarına göre ortalama yüzde hataları, 8000 adet DTDEDDK örnekleri için sırasıyla %1.42 ve %0.61 olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak, GP tarafından geliştirilen analiz modellerinden elde edilen sonuçlar ile KDT (Bedair and Wolff, 1992), SDA (Bedair and Wolff, 1992) ve GSDA (Cheng and Robertson, 1994) model sonuçları arasındaki bu çok iyi uyum, bu çalışmada önerilen analiz modellerinin geçerliliğini ve GP'nin doğru çözümler elde etmedeki üstün performansını da göstermektedir.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada DTDEDDK'ların karakteristik empedansını ve efektif dielektrik sabitini hesaplayan, GP kullanılarak türetilmiş olan, doğru ve çok basit analiz modelleri önerilmiştir. Analiz modellerinin doğruluğunu ve geçerliliğini kanıtlamak amacıyla elde edilen sonuçlar literatürdeki KDT (Bedair and Wolff, 1992), SDA (Bedair and Wolff, 1992), GSDA (Cheng and Robertson, 1994) model sonuçları ile karşılaştırılmış ve aralarında iyi bir uyum olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca önerilen analiz modellerinin hem doğruluğundan hem de basitliğinden anlaşılacağı üzere, GP'nin üstün bir performansa sahip olduğu açıkça görülmektedir. Son olarak burada kullanılan yöntem, farklı fiziksel boyuttaki diğer mikrodalga iletim hatlarının analizi ve tasarımı için arzu edilen basit ve doğru modelleri üretmek amacıyla da kullanılabilir.

**Tablo 2.** Farklı Taban Malzemeleri için DTDEDDK’ların Karakteristik Empedansı için Önerilen Model Sonuçları ile Literatürdeki Mevcut Model Sonuçlarının Karşılaştırılması

$w^+$ ( $\mu\text{m}$ )	$s^+$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_{r1} = 10, \epsilon_{r2} = 20, h = 200 \mu\text{m}$				$\epsilon_{r1} = 3.78, \epsilon_{r2} = 12.9, h = 200 \mu\text{m}$				$\epsilon_{r1} = 10, \epsilon_{r2} = 12.9, h = 200 \mu\text{m}$			
		KDT (Bedair and Wolff, 1992)	SDA (Bedair and Wolff, 1992)	GSDA (Cheng and Robertso n, 1994)	Önerilen Analiz Modeli	KDT (Bedair and Wolff, 1992)	SDA (Bedair and Wolff, 1992)	GSDA (Cheng and Robertson, 1994)	Önerilen Analiz Modeli	KDT (Bedair and Wolff, 1992)	SDA (Bedair and Wolff, 1992)	GSDA (Cheng and Robertson, 1994)	Önerilen Analiz Modeli
		$Z_0(w^+, s^+)$ ( $\Omega$ )	$Z_0(w^+, s^+)$ ( $\Omega$ )	$Z_0(w^+, s^+)$ ( $\Omega$ )	$Z_0^+(w^+, s^+)$ ( $\Omega$ )	$Z_0(w^+, s^+)$ ( $\Omega$ )	$Z_0(w^+, s^+)$ ( $\Omega$ )	$Z_0(w^+, s^+)$ ( $\Omega$ )	$Z_0^+(w^+, s^+)$ ( $\Omega$ )	$Z_0(w^+, s^+)$ ( $\Omega$ )	$Z_0(w^+, s^+)$ ( $\Omega$ )	$Z_0(w^+, s^+)$ ( $\Omega$ )	$Z_0^+(w^+, s^+)$ ( $\Omega$ )
20	20	45,51	45,85	45,38	44,11	55,96	56,37	55,79	56,15	55,91	56,33	55,75	55,87
	60	33,24	33,38	33,15	32,72	40,90	41,08	40,79	41,14	40,79	40,98	40,69	40,68
	120	27,68	27,12	27,56	27,94	34,11	34,16	33,96	35,08	33,90	33,96	33,76	34,42
	200	24,52	24,50	24,37	25,05	30,30	30,28	30,12	31,55	29,98	29,92	29,77	30,67
	800	19,01	18,83	18,76	18,56	23,73	23,72	23,63	24,14	22,60	22,47	22,40	22,19
60	20	61,82	62,01	61,49	59,05	76,09	76,32	75,69	76,93	75,84	76,09	75,46	76,40
	60	45,81	45,83	45,60	42,87	56,46	56,50	55,21	54,77	56,07	56,14	55,86	53,96
	120	37,73	37,67	37,51	36,22	46,62	46,56	46,37	46,14	46,01	46,00	45,82	45,00
	200	32,95	32,61	32,70	32,22	40,88	40,72	40,58	41,17	39,96	39,89	39,75	39,68
	800	24,41	24,05	24,00	23,19	30,99	30,56	30,49	30,82	28,69	28,43	28,38	27,71
100	20	70,56	70,60	70,02	68,92	86,97	87,03	86,32	89,35	86,36	86,48	85,77	88,63
	60	53,26	53,18	52,90	50,24	65,80	65,71	65,37	63,99	64,98	64,97	64,64	62,89
	120	44,09	43,90	43,73	42,44	54,65	54,44	54,23	53,99	53,92	53,42	53,22	52,44
	200	38,47	38,19	38,07	37,71	47,91	47,60	47,44	48,18	46,39	46,22	46,07	46,15
	800	27,98	27,48	27,43	26,78	35,76	35,16	35,09	35,87	32,61	32,25	32,22	31,73
200	20	83,77	83,24	82,62	83,71	103,80	103,20	102,42	104,89	101,80	101,50	100,60	103,89
	60	65,28	64,80	64,45	62,98	81,22	80,66	80,21	78,37	78,85	78,94	78,12	76,72
	120	54,87	54,31	54,09	53,73	68,62	67,95	67,67	67,15	65,81	65,44	65,18	64,77
	200	48,95	47,50	47,34	47,87	60,58	59,80	59,61	60,38	57,26	56,22	56,66	57,23
	800	34,42	33,66	33,63	33,47	44,60	43,65	43,59	45,14	39,47	38,95	38,95	38,76

## KAYNAKLAR

- Bedair, S. S., & Wolff, I. (1992). Fast, accurate and simple approximate analytic formulas for calculating the parameters of supported coplanar waveguides for (M)MIC's. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 40(1), 41–48. <https://doi.org/10.1109/22.108321>
- Cai, M., Kooi, P. S., Leong, M. S., & Yeo, T. S. (1993). Symmetrical coplanar waveguide with finite ground plane. *Microwave and Optical Technology Letters*, 6(3), 218–220. <https://doi.org/10.1002/MOP.4650060320>
- Cheng, K. K. M., & Robertson, I. D. (1994). Numerically efficient spectral domain approach to the quasi-TEM analysis of supported coplanar waveguide structures. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 42(10), 1958–1965. <https://doi.org/10.1109/22.320780>
- Das, N. K., & Pozar, D. M. (1987). A generalized spectral-domain green's function for multilayer dielectric substrates with application to multilayer transmission lines. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 35(3), 326–335. <https://doi.org/10.1109/TMTT.1987.1133646>
- Erli, C., & Chou, S. Y. (1997). Characteristics of coplanar transmission lines on multilayer substrates: modeling and experiments. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 45(6), 939–945. <https://doi.org/10.1109/22.588606>
- Frankel, M. Y., Voelker, R. H., & Hilfiker, J. N. (1994). Coplanar transmission lines on thin substrates for high-speed low-loss propagation. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 42(3), 396–402. <https://doi.org/10.1109/22.277432>
- Frey, J. (1974). *Microwave Integrated Circuits*. Artech House, Dedham.

- Gevorgian, S., Linner, L. J. P., & Kollberg, E. L. (1995). CAD models for shielded multilayered CPW. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 43(4), 772–779. <https://doi.org/10.1109/22.375223>
- Görür, A., Karpuz, C., & Alkan, M. (1996). Quasi-static TEM characteristics of overlaid supported asymmetric coplanar waveguides. *International Journal of Microwave and Millimeter-Wave Computer-Aided Engineering*, 6(5), 297–304. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1522-6301\(199609\)6:5<297::AID-MMCE1>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/(SICI)1522-6301(199609)6:5<297::AID-MMCE1>3.0.CO;2-H)
- Gupta, K. C., & Singh, A. (1974). *Microwave Integrated Circuits*. Wiley Eastern Ltd. New Delhi.
- Jackson, R. W. (1986). Considerations in the use of coplanar waveguide for millimeter-wave integrated circuits. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 34(12), 1450–1456. <https://doi.org/10.1109/TMTT.1986.1133562>
- Kisioglu, H., & Yildiz, C. (2016). New synthesis models for the coplanar waveguide with a finite width ground plane. 2016 National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO), 558–561.
- Morkoc, H., & Aksun, M. I. (1988). GaAs on Si as a Substrate for Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Integration. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 36(1), 160–162. <https://doi.org/10.1109/22.3500>
- Riazat, M., Bandy, S., & Zdasiuk, G. (1987). Coplanar waveguides for MMICs. *Microwave Journal*, 30, 125.
- Shih, Y. C., & Itoh, T. (1982). Analysis of printed transmission lines for monolithic integrated circuits. *EIL*, 18(14), 585. <https://doi.org/10.1049/EL:19820401>
- Simons, R. (2001). *Coplanar waveguide circuits, components, and systems*. John Wiley and Sons, Cleveland, Ohio, 439s.
- Special issue on, microwave integrated circuits. (1968). *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, MTT-19.
- Special issue on, microwave integrated circuits. (1971). *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, MTT-19.
- Wen, C. P. (1969). Coplanar waveguide: A surface strip transmission line suitable for nonreciprocal gyromagnetic device applications. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 17(12), 1087–1090. <https://doi.org/10.1109/TMTT.1969.1127105>
- Yildiz, C., & Kisioglu, H. (2017). Very simple and accurate computer-aided-design (CAD) models developed by genetic programming for the quasi-static analysis of unshielded suspended and inverted microstrip lines. *Journal of Electrical & Electronics Engineering, Istanbul University*, 17(2), 3303–3309.
- Yildiz, C., Guney, K., Turkmen, M., & Kaya, S. (2007). Neural models for quasi-static analysis of conventional and supported coplanar waveguides. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 61(8), 521–527. <https://doi.org/10.1016/J.AEUE.2006.09.003>