

## Eşdeğer Devre Tabanlı Yaklaşım ile Yeniden Yapılandırılabilir Esnek Mikroşerit Yama Anteni Tasarımı

Hilal Koç Polat<sup>1</sup>, Miraç Dilruba Geyikoğlu<sup>2</sup>, Bülent Çavuşoğlu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Erzurum Teknik Üniversitesi  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Erzurum

[hilal.koc@erzurum.edu.tr](mailto:hilal.koc@erzurum.edu.tr)

<sup>2</sup>Atatürk Üniversitesi  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Erzurum

[miracg@atauni.edu.tr](mailto:miracg@atauni.edu.tr), [bcavusoglu@atauni.edu.tr](mailto:bcavusoglu@atauni.edu.tr)

**Özet:** Bu çalışmada, yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama antenlerinin modellenmesinde kullanılan eşdeğer devre tabanlı tasarım yaklaşımının ince alt tabaka ve farklı frekanslarda uygulanabilirliği incelenmiştir. Anten, 5G ve IoT uygulamaları için kullanılması öngörülen 6,5 GHz ve 25 GHz frekanslarında esnek malzeme olan kapton alt tabaka kullanılarak CST programında tasarlanmıştır. Eşdeğer devre modeli ise AWR yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. AWR ve CST yazılımı ile elde edilen sonuçlar uyumludur. Sonuç olarak, Eşdeğer devre tabanlı yaklaşım modelinin farklı alt tabakada, farklı frekanslar için uygulanabilir olduğu ortaya konulmuştur.

**Abstract:** In this paper, the applicability of the equivalent circuit-based design approach used in modeling reconfigurable microstrip patch antennas is investigated at thin substrate and different frequencies. The antenna emphasized, is designed using a flexible material Kapton substrate in 6.5 GHz and 25 GHz frequencies in CST Microwave Studio. The equivalent circuit model has been evaluated using AWR software. The results obtained with AWR and CST software are matched. It has been revealed that the equivalent circuit approach methodology is applicable for different substrate in different frequencies.

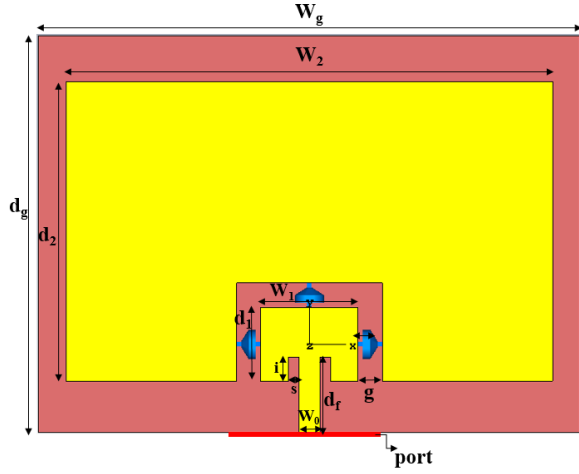
### 1. Giriş

5G teknolojisi, farklı uygulamalar için birkaç frekans bandında çalışabilen antenler gerektirir. Farklı frekans ve yönlerde birden fazla antenin kullanılması sistemin fiziksel olarak işgal edilmesine yol açar. Dolayısıyla, bir entegre anten yapısında birden fazla frekansa sahip olmak istenmektedir. Bu nedenle, son yıllarda, birçok antenin işlevlerini tek bir yayıcı yapıya entegre eden yeniden yapılandırılabilir anten tasarımları oldukça popüler hale gelmiştir [1]. Yeniden yapılandırılabilir antenler için farklı frekanslarda anten girişi ve besleme arasında empedans eşleşmesi zordur. Yeniden yapılandırılabilir antenin elektriksiz uzunluğu değiştiğinde, anten farklı frekanslarda çalışacaktır, bu nedenle tüm çalışma frekanslarında iyi empedans uyumu sağlayan tasarımlar dikkate alınmalıdır [2]. Bu problemlerin üstesinden gelmek için literatürde yuva veya yarı yüklemeye, yamaya ayar saptamaları (çıkıntılar) ekleme vb. gibi sezgisel yaklaşımlar kullanılmaktadır. Ayrıca Eşdeğer devre tabanlı tasarım modeli aracılığıyla istenilen frekanslar için yeniden yapılandırılabilir anten tasarımı yapılabilmektedir [3].

### 2. Yeniden Yapılandırılabilir Esnek Mikroşerit Yama Anteni için Tam Dalga Modeli

Eşdeğer devre tabanlı çözüm modelini kullanarak tasarımı gerçekleştirilen anten, 5G için öngörülen 5,9-7,1 GHz ve 24,25-28,35 GHz bant aralıkları göz önüne alınarak [4] 6,5 GHz ve 25 GHz rezonans frekansları arasında geçiş yapabilmektedir. Mikroşerit antenin temel parametreleri, iletim hattı modeli kullanılarak elde edilmiştir. İletim hattı modeli ilk önce 25 GHz ve 6,5 GHz rezonans frekansında çalışan anten yamalarının boyutlarını belirlemek için kullanılır. Daha sonra, mikroşerit besleme hattı 25 GHz'de yayılım yapan yamanın içerisine belirli bir mesafe girilerek (içe-doğru besleme) 50Ω değerindeki giriş empedansına yaklaşacak şekilde Çeyrek Dalga Boyu Dönüştürücüsü kullanılarak tasarlanmıştır. 25 GHz ve 6,5 GHz anten yamaları için iletken bakır tabakaları, iki yamanın birleştirilmesinde ve empedans eşleşmesinde kullanılan ek devre elemanlarının (kapasitör) yerleştirilmesi için 1 mm boşluk bırakılarak uygun şekilde birleştirilir. Bununla birlikte, 25 GHz antenin besleme hattının artık 6,5 GHz yaması için çeyrek dalga boyu dönüştürücüsü olmadığı unutulmamalıdır. Böylece bir empedans uyumsuzluğu ortaya çıkar. Yamalar arasına yerleştirilen ek

kapasitörlerin ( $C_{mnek}$ ) değeri ayarlanarak empedans uyumsuzluğunun üstesinden gelinmiştir. Yamalar arasında empedans eşleştirme kapasitörü bağlı değilse anten Mod-1'de (25GHz) çalışır. Anteni Mod-2'ye (6.5GHz) ayarlamak için  $C_{mnek}$  kapasitörünün değeri ayarlanır.

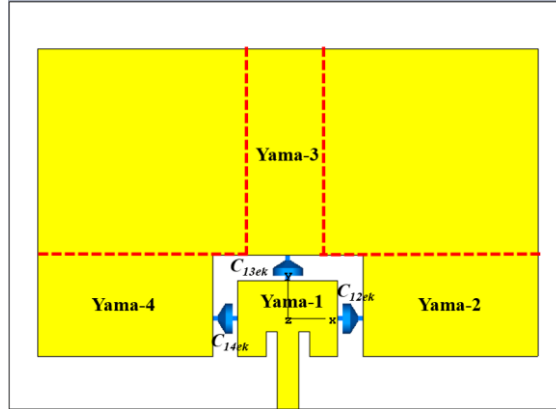


Boyut	Değeri (mm)	Boyut	Değeri (mm)
$h$	0,38	$s$	0,4325
$d_1$	3,04	$W_0$	0,865
$d_2$	12,32	$W_g$	22,28
$d_f$	3,125	$W_1$	4
$d_g$	16,34	$W_2$	20,0
$i$	1,00	$g$	1,00

Şekil 1. Yeniden yapılandırılabilir esnek antenin geometrisi ve elektriksel boyutları

### 3. Yeniden Yapılandırılabilir Esnek Mikroserit Yama Anteni için Eşdeğer Devre Modeli

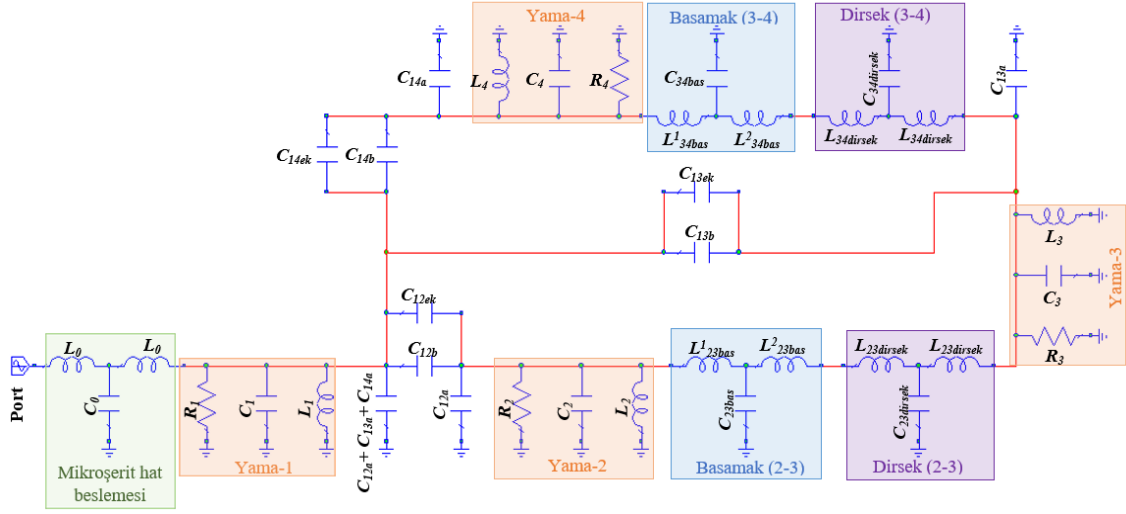
Tasarımlarda ek kapasitörlerin değerine, antenlerin eşdeğer devre modeli çıkarılarak karar verilir. Yeniden yapılandırılabilir anten üzerindeki yamaların ve tipik süreksizliklerin devre modelleri kullanılarak detaylı eşdeğer devre modeli çıkarılır. Yeniden yapılandırılabilir anten üzerindeki tipik süreksizlikler; basamaklar, dirsekler ve boşluklardır. Bölümlendirilmiş yeniden yapılandırılabilir anten yapısı ve boşluk kapasitörleri Şekil 2'de gösterilmektedir. Empedans eşleştirme kapasitörleri ( $C_{mnek}$ ), yamalar arasındaki boşluk boyunca simetri sağlanacak şekilde (yama genişliğinin orta noktası) eklenir. Bu noktalarda akım yoğunluğu fazladır. İlgili antenin eşdeğer devre modeli  $C_{mnek}$  kapasitörleri ile birlikte Şekil 3'te gösterilmektedir. Her renkli dikdörtgen kutu yamanın bir yapısı ile ilgilidir (yamanın kendisi, adım, dirsek süreksizliği gibi). CST ve AWR yazılımı aracılığıyla belirlenen  $C_{mnek}$  kapasite değerleri Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Süreksizlikler ve empedans eşleştirme kapasitansları ile birlikte sunulan yeniden yapılandırılabilir esnek anten yapısı.

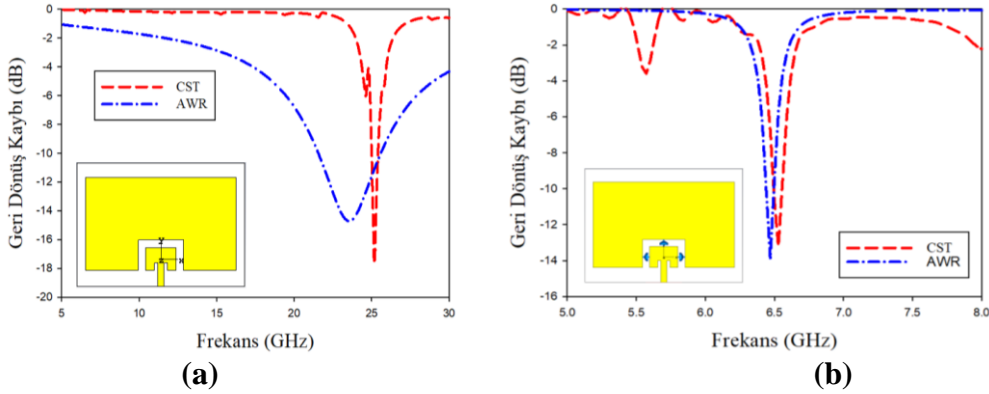
Tablo 2. Yeniden yapılandırılabilir esnek antenin çalışma modları

Mod	Frekans (GHz)	$C_{12ek} = C_{13ek} = C_{14ek}$ (pF)
Mod-1	CST:	25,18
	AWR:	23,52
Mod-2	CST:	6,52
	AWR:	6,47



Şekil 3. Yeniden yapılandırılabilir esnek anten için eşdeğer devre modeli.

Yeniden yapılandırılabilir esnek mikroşerit yama anteni için elektromanyetik model ve yaklaşık eşdeğer devre modelinin yansıma katsayıları sonucu Şekil 4’ te gösterilmektedir. Şönt boşluk kapasitelerine paralel bağlanan  $C_{mnek}$  kapasiteleri anten üzerindeki boşluklara yerleştirilmediğinde (Mod-1) önerilen anten, AWR’de 23,52 GHz’de -14,71 dB, CST’de 25,18 GHz’de -13,53 dB geri dönüş kaybıyla çalışır. Anten Mod-2 konumundayken ise, CST’de 6,52 GHz’de -13,19 dB, AWR’de 6,47 GHz’de -13,88 dB ile geri dönüş kaybıyla çalışır.



Şekil 4. Farklı çalışma bantları için AWR ve CST’de simüle edilmiş yansıma katsayıları; (a) Mod-1, (b) Mod-2.

#### 4. Sonuç

Aynı beslemeye bağlı genişletilebilir bir yapı kullanan, yeniden yapılandırılabilir antenler için frekans bantları arasında geçiş, yamalar arasındaki boşluklar üzerine yerleştirilen şönt kapasitörleri vasıtasıyla antenin ışıma yapısının değiştirilmesi ile elde edilmiştir. Yansıma katsayısı sonuçlarından da görüldüğü gibi eşdeğer devre tabanlı model yeniden yapılandırılabilir yapıda daha fazla frekans içerecek şekilde farklı türden alt tabakalar için kolaylıkla genişletilebilir.

#### Kaynaklar

- [1]. López, D.R., “Reconfigurable pixel antennas for communications,” Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), 2013.
- [2]. Lee, W., Kim, H. ve Yoon, Y.J., “ A frequency reconfigurable bow-tie slot antenna with wide bandwidth,” Microwave and Optical Technology Letters, 50(2), s.404-406, 2008.
- [3]. Koc Polat, H., Geyikoglu, M.D. ve Cavusoglu, B., “ Modeling and validation of a new reconfigurable patch antenna through equivalent lumped circuit-based design for minimum tuning effort,” Microwave and Optical Technology Letters, 2020.
- [4]. Pujol, F., Manero, C. and Jaffal, T., 2019. 5G Observatory Quarterly Report 4. 4, 1-85. [Online]. Available at <http://5gobservatory.eu/wp-content/uploads/2019/07/80082-5G-Observatory-Quarterly-report-4-min.pdf>.