



S-BANT MİKROŞERİT WILKINSON GÜÇ BÖLÜCÜ TASARIMI

Burak DÖKMEŞ*

*Kafkas Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kars,
burakd@kafkas.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5900-6691

Geliş Tarihi(Received Date):25.01.2022

Kabul Tarihi(Accepted Date):18.05.2022

ÖZ

Güç bölücü devreleri kablosuz haberleşme sistemlerinde yaygın olarak kullanılan pasif mikrodalga bileşenidir. Güç bölücü devre türlerinin içinde en bilineni Wilkinson güç bölücü devreleridir. Geleneksel Wilkinson güç bölücü devrelerinde, frekans spektrumunda düşük frekans değerlerine gidildikçe dalga boyunun büyümesinden kaynaklı olarak boyut büyümektedir ve özellikle, L-, S-, C-bant frekans aralıklarında bu yapı oldukça büyük alan kaplamaktadır. Bundan kaynaklı olarak çeyrek dalga boyu ($\lambda/4$) iletim hatlarının boyutunun küçülmesine yönelik devre tasarım yapılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda S-bantta boyut olarak oldukça uzun olan $\lambda/4$ iletim hatlarının yerine eşlenik devre yapılarının oluşturulması amaçlanmıştır. Bu çalışmada S-bant uygulamalarına yönelik kompakt bir Wilkinson güç bölücü tasarımı, üretimi ve ölçümü hedeflenmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre 2-4 GHz frekans bandı içerisinde devrenin giriş ve çıkış yansıma kayıplarının -11 dB'den iyi olduğu ve araya girme kayıplarının ise -3.6 dB'den iyi olduğu görülmüştür. Ek olarak, çıkış portları arasındaki izolasyonun çalışma frekans bandı içerisinde -7.5 dB'den iyi olduğu ölçüm sonuçlarında elde edilmiştir. Önerilen güç bölücü yapısı kompakt boyutlarda, düşük maliyetli ve düşük kayıplı olması nedeniyle S-bant mikrodalga uygulamalarda kullanılabilirliği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: *Wilkinson güç bölücü, mikroşerit, dairesel saplama, S-bant*

S-BAND MICROSTRIP WILKINSON POWER DIVIDER DESIGN

ABSTRACT

Power divider circuits are passive microwave components commonly used in wireless communication systems. The most popular power divider circuit is known as Wilkinson power divider. In conventional Wilkinson power divider circuits, the wavelength and size increases as the frequency decreases and especially in the L-, S-, C-band frequency ranges, this structure covers a very large area. Therefore, circuit design structures are needed to reduce the size of quarter wavelength ($\lambda/4$) transmission lines. In this context, it is aimed to create conjugate circuit structures instead of ($\lambda/4$) transmission lines, which are quite long in size. In this study, it is aimed to design, fabricate and measure a compact Wilkinson power divider for S-band applications. According the measurement results input and output return loss of the circuit is obtained better than -11dB in the 2-4 GHz frequency band. The insertion loss is obtained better than -3.6 dB in the same frequency range. In

addition, the isolation between the output ports is better than -7.5 dB in the operating frequency band. The proposed power divider structure can be used in S-band microwave applications due to its compact size, low cost and low loss.

Keywords: *Wilkinson power divider, microstrip, circular stub, S-band*

1. GİRİŞ

Güç bölücü devreleri, modern kablosuz haberleşme sistemlerinde sıkça kullanılan anten dizilerinin ve güç yükselteç devrelerinin besleme ağlarını oluşturan en önemli bileşenlerden biridir [1]. Güç bölücülerin, çok bantlı bölücüler [2], [3], filtre bölücüler [4], [5] ve harmonik bastırma bölücüler [6]–[13] gibi çeşitli araştırma konuları vardır.

Literatürde en yaygın kullanılan güç bölücü/birleştiriciler Wilkinson güç bölücülerdir. Bu güç bölücüler çalışma frekansında farklı karakteristik empedans değerlerine sahip çeyrek dalga boyu hatlarından oluşur. Wilkinson güç bölücü devrelerinin çeşitli avantajları vardır. Üretimleri basittir ve düşük maliyetlidir. Bir baskı devre kartı üzerindeki basılı bileşenler kullanılarak kolayca gerçekleştirilebilir. Bu yapıların bir diğer avantajı ise devrenin giriş ve çıkış portları arasında yüksek izolasyon sağlamasıdır. Bununla birlikte, klasik güç bölücü yaklaşımları düşük frekans uygulamalarında tasarım boyutunu istenilmeyen ölçülerde büyütmemektedir ve minyatürleştirme ihtiyacı vardır. Son zamanlarda, bu konuya odaklanan çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Genel olarak, minyatürleştirme için iki temel yöntem önerilmiştir. Bunlardan birisi yapıda kullanılan alttaş malzemenin özelliklerine bağlı olarak yeni üretim teknolojilerine odaklanmak. Çok katmanlı sıvı kristal polimer alttaş [7] kullanılarak boyut küçültülmüştür. Önerilen diğer yöntem ise yeni tasarım tekniklerine odaklanmaktır. Bu amaçla araştırmacılar [14]’ de yüksek-düşük empedanslı rezonatör hücreler üzerinde durmuşlardır. Başka bir çalışmada minyatürleştirme için yeni bir küçük faz gecikme yöntemi [15] bildirilmiştir. Öne çıkan diğer teknikler, seri indüktörler [16], seri toplu RLC devreleri [17], periyodik olarak yüklenen yavaş dalga yapısı [18], kusurlu zemin yapısı [19], elektromanyetik bant aralığı (EBG) hücreleri [20], olarak sıralanabilir.

Bu çalışmada S-bant frekans aralığı için tasarlanmış bir Wilkinson güç bölücü devresi sunulmuştur. Tasarımda boyut küçültme için, klasik Wilkinson güç bölücü yapısından farklı olarak devrenin giriş ve çıkış portuna şant kondansatör eklenmiştir.

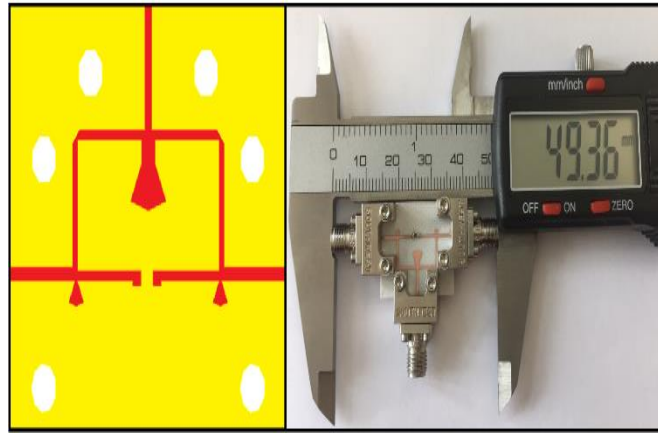
2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bir güç bölücü devresinde bazı temel özellikler vardır. Girişe verilen güç, tasarım özelliklerine bağlı olarak, istenen sayıda çıkış kapısına bölünür. Giriş kapısı empedansı kaynak empedansına, çıkış kapılarının empedansı yük empedanslarına uyumlanmış olmalıdır. Çıkış kapılarından birine güç verildiğinde diğer çıkış kapılarında güç çıkışı olmamalıdır. Bu özellikleri sağlayan bir güç bölücü tipi Wilkinson güç bölücü olarak tanımlanır [1].

Klasik Wilkinson güç bölücü yapısı temel olarak simetrik bir şekilde birleştirilmiş 2 adet çeyrek dalga boyundaki ($\lambda/4$) iletim hatlarının birleştirilmesinden oluşmaktadır. Ek olarak, 100 Ω değerinde bir direnç çıkış portları arasına bağlanarak çıkış portlarının izolasyonunu sağlamaktadır. Ancak, klasik

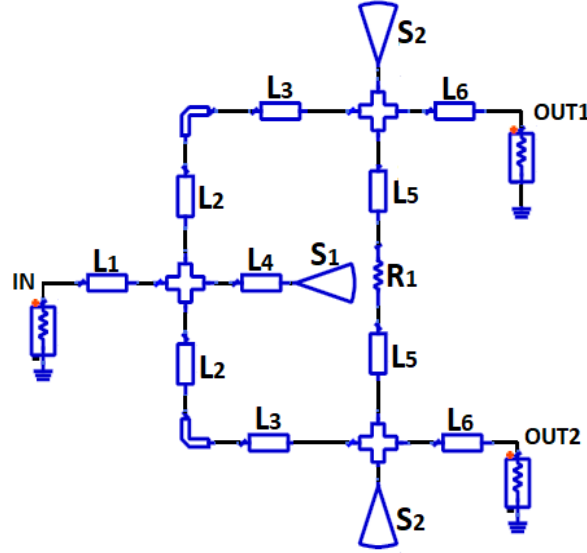
Wilkinson güç bölücü yapısı frekans spektrumunda düşük frekans değerlerine gidildikçe dalga boyunun büyümesinden kaynaklı olarak boyut büyümektedir.

Bu çalışmada klasik Wilkinson güç bölücü yapısının kompakt hale gerilebilmesi amacıyla giriş ve çıkış portlarına dairesel açık devre saplamalar eklenmiştir. Bu sayede $\lambda/4$ iletim hatlarına eşdeğer ve daha küçük boyutta devreler kurulabilmektedir. Prototip üretiminde güç bölücünün portlarına Southwest marka koaksiyel konektör (SMA) kullanılmıştır. SMA ile beraber tasarım boyutu 49.36 mm olarak ölçülmüştür. Şekil 1’de önerilen Wilkinson güç bölücü yapısı devre serimi ile prototip görüntüsü verilmiştir.



Şekil 1. Güç bölücü devre serimi ve prototip görüntüsü.

Önerilen yöntemde klasik güç bölücü yapısından farklı olarak devrenin giriş portuna şant kondansatör görevinde kullanılacak bir adet dairesel açık devre saplama (S_1) eklenmiştir. Ek olarak, benzer şekilde her bir çıkış portuna birer adet şant kondansatör görevinde kullanılacak dairesel açık devre saplamalar (S_2) eklenmiştir. Bu sayede $\lambda/4$ iletim hattı olabildiğince küçültülmüş ve klasik güç bölücü yapısına benzer elektriksel performans değerleri elde edilmiştir. Şekil 2’de devre şeması gösterilen tasarımın devre elemanlarına ait boyut bilgileri Tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Güç bölücü devre şeması.

Tablo 1. Devre elemanlarının boyutları.

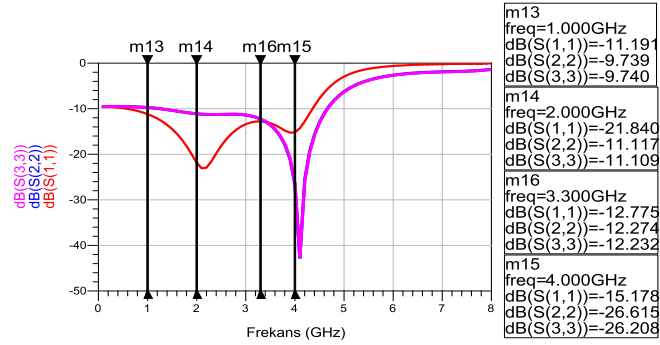
Devre Elemanı	En (μm)	Boy (μm)	Açı ($^{\circ}$)
L ₁	343	5080	-
L ₂	178	4826	-
L ₃	178	4826	-
L ₄	914	1016	-
L ₅	178	4826	-
L ₆	343	12700	-
S ₁	914	2133	60
S ₂	178	1168	60

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde önerilen tasarımın benzetim ve ölçüm sonuçları ile ilgili detaylar incelenmiştir. Öncelikle devre şeması oluşturulan tasarımın daha sonra 2 boyutlu devre serimi yapılarak elektromanyetik (EM) simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Devre tasarımının S-parametresi benzetimleri Keysight firmasının ADS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

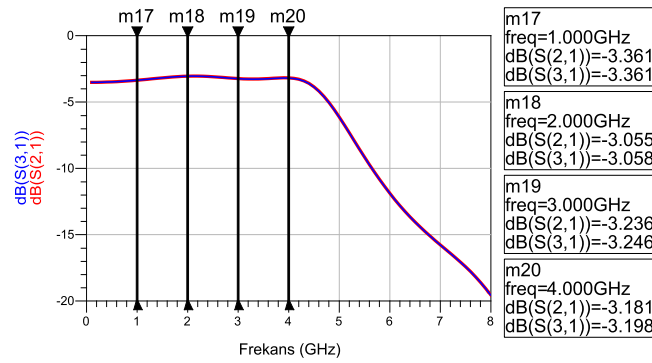
3.1. Benzetim Sonuçları

Şekil 3’de önerilen Wilkinson güç bölücü yapısına ait giriş ve çıkış yansıma kaybı benzetim sonuçları yer almaktadır. Elde edilen benzetim sonuçlarına göre S-bantta (2-4 GHz) giriş yansıma kaybı -12.78 dB’den, çıkış yansıma kayıpları ise -11.1 dB’den daha iyi olduğu görülmüştür.



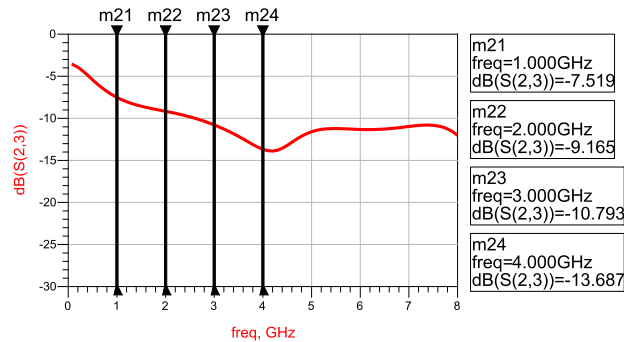
Şekil 3. Giriş ve çıkış yansımaya kaybı benzetim sonucu.

Şekil 4'te önerilen Wilkinson güç bölücü yapısına ait araya girme kaybı benzetim sonuçları yer almaktadır. Elde edilen benzetim sonuçlarına göre S-bantta (2-4 GHz) araya girme kaybının her iki çıkış portu için de -3.2 dB'den düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 4. Araya girme kaybı benzetim sonucu.

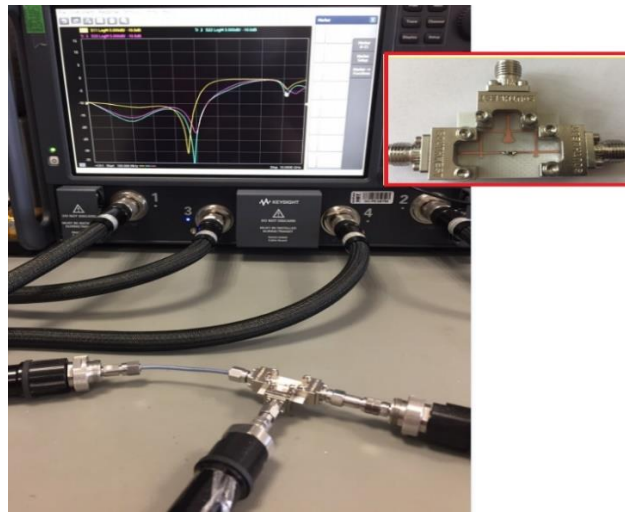
Şekil 5'te önerilen Wilkinson güç bölücü yapısının çıkış portları arasındaki izolasyon performansının benzetim sonuçları yer almaktadır. Elde edilen benzetim sonuçlarına göre S-bantta (2-4 GHz) çıkış portları arasındaki izolasyonun -9.17 dB'den iyi olduğu görülmüştür.



Şekil 5. Çıkış portları arasındaki izolasyon sonucu.

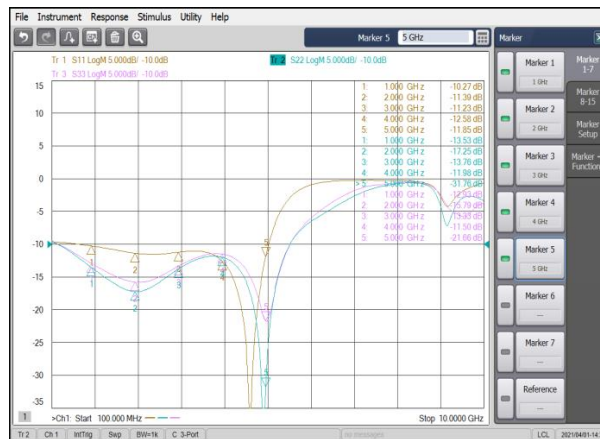
3.2 Üretim ve Ölçüm

Tasarım çalışmaları tamamlanan Wilkinson güç bölücü yapısı Rogers 4003C alttaş üzerine LPKF marka baskı devre kartı prototip üretim cihazı ile kazanmıştır. Kullanılan alttaşın dielektrik sabiti 3.55, dielektrik kalınlığı 0.508 mm ve bakır kalınlığı ise 35 μm 'dir. Üretimi tamamlanan Wilkinson güç bölücünün çıkış portları arasındaki izolasyonu sağlamak amacıyla 0402 paket yüzeye monte direnç lehimlenmiştir. Önerilen Wilkinson güç bölücü S-parametresi ölçümleri Keysight firmasının 4-portlu N5224B model network analizörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm düzeneği Şekil 6'da gösterilmiştir.



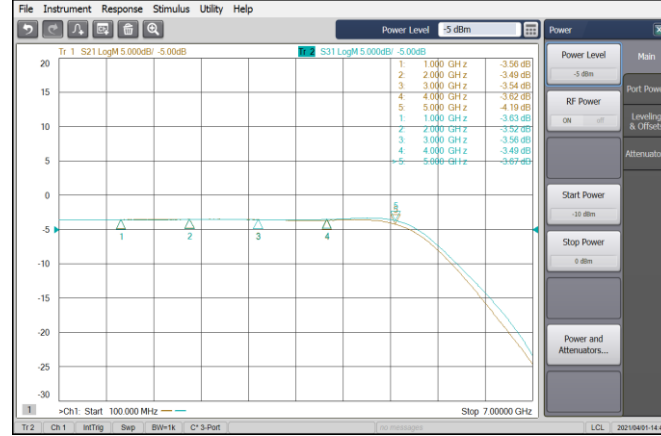
Şekil 6. Ölçüm düzeneği.

Şekil 7'de prototiplenen Wilkinson güç bölücünün giriş ($|S_{11}|$) ve çıkış ($|S_{22}|$ & $|S_{33}|$) yansımaya kaybı sonuçları yer almaktadır. Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre S-bantta $|S_{11}|$ değeri -11.2 dB'den, $|S_{22}|$ -12 dB'den ve $|S_{33}|$ ise -11.5 dB'den düşük olduğu görülmüştür.



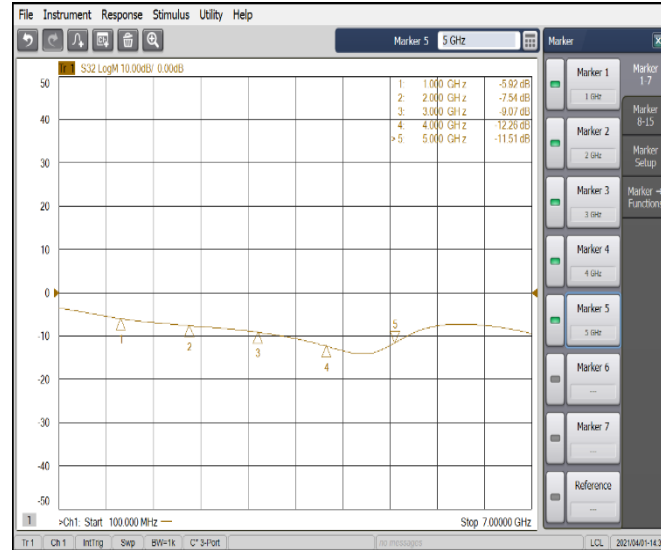
Şekil 7. Giriş ve çıkış yansımaya kaybı ölçüm sonucu .

Şekil 8’de güç bölücünün araya girme kaybı (S_{21} & S_{31}) sonuçları yer almaktadır. Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre S-bantta $|S_{21}|$ değeri -3.62 dB’den, $|S_{31}|$ değeri ise -3.56 dB’den düşük olduğu görülmüştür.



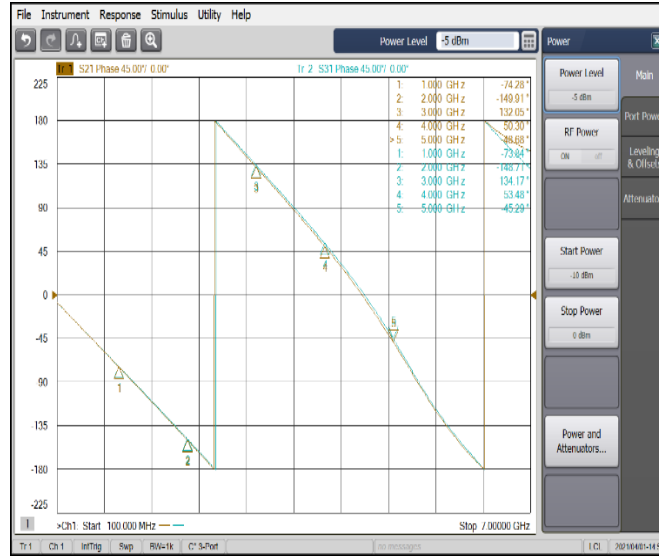
Şekil 8. Araya girme kaybı ölçüm sonucu.

Şekil 9’da güç bölücünün çıkış portları arasındaki izolasyon (S_{32}) ölçüm sonuçları yer almaktadır. Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre S-bantta $|S_{32}|$ değerinin -7.56 dB’den iyi olduğu görülmüştür.



Şekil 9. Araya girme kaybı ölçüm sonucu.

Şekil 10’da güç bölücünün çıkış portları arasındaki faz farkı ölçüm sonuçları yer almaktadır. Elde edilen ölçüm sonuçlarına 2 GHz, 3 GHz ve 4 GHz frekans değerlerindeki faz farkı sırasıyla 1.2°, 2.12° ve 3.18° olarak ölçülmüştür.



Şekil 10. Çıkış portları arasındaki faz farkı ölçüm sonucu .

Tablo 2’de önerilen Wilkinson güç bölücü yapısına ait benzetim ve ölçüm sonucu karşılaştırması yer almaktadır.

Tablo 2. Benzetim ve ölçüm sonucu karşılaştırması.

	Benzetim	Ölçüm
S₁₁ (dB)	-12.8	-11.2
S₂₂ (dB)	-11.1	-12.0
S₃₃ (dB)	-11.1	-11.5
S₂₁ (dB)	-3.18	-3.62
S₃₁ (dB)	-3.20	-3.56
S₃₂ (dB)	-9.17	-7.56
Faz Farkı (°)	0°	3.18°

Tablo 2 incelendiğinde benzetim ve ölçüm sonuçlarının tutarlı olduğu görülmüştür. Yansıma kaybı her üç port içinde -11 dB’ nin altındadır, bu tasarımın empedans uyumluluğunun iyi olduğunu göstermektedir. Güç bölücü devrelerinde önemsenmesi gereken en önemli parametrelerden birisi araya girmeye kaybıdır. Literatürde bu parametre farklı uygulamalar için incelenmiştir. S-bant için modifiye edilmiş Wilkinson güç bölücü devresinin tasarlandığı [21] çalışmada alttaş olarak 1.6 mm kalınlığında FR4 malzemesi kullanılmıştır. Bu çalışmada 2.375 GHz frekansında S₂₁ ve S₃₁ değerleri sırasıyla -7.89 dB ve -8.35 dB olarak ölçülmüştür ancak tasarım boyut olarak 80 mm’ nin üzerindedir ve çok kompakt bir yapı olduğu söylenemez. [22]’ deki çalışmada saplama yapısı kullanılarak kompakt bir wilkinson güç bölücü devresi tasarlanmıştır. Bu tasarım 900 MHz frekansında Teflon alttaş malzeme kullanılarak üretilmiştir. 33 mm x 24 mm’ lik kompakt boyutuyla dikkat çeken çalışmada S₂₁ ve S₃₁ araya girme kayıpları -3.05 dB olarak ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına göre elde edilen S₃₂ izolasyon değeri ise -42 dB’ dir. Başka bir çalışmada ise [23] FR4 alttaş malzemesi ve

kuplajlama hattı tekniği kullanılarak 3 bantlı güç bölücü devresi rapor edilmiştir. 1.3 GHz’ de S_{21} ve S_{31} değerleri sırasıyla -4.4 dB ve -4.3 dB olarak ölçülmüştür. Bildirilen çalışmada tasarım boyutu 110 mm x 110 mm olarak verilmiştir. Literatürde bildirilen bu çalışmalara karşılık bu makalede önerilen tasarımda S_{21} ve S_{31} değerleri sırasıyla -3.62 dB ve 3.56 dB olarak ölçülmüştür. Bu makalede önerilen çalışma 49.3 mm x 46 mm’ lik boyutuyla [21] ve [23]’ deki tasarımlara göre daha kompakt yapısıyla önplana çıkmaktadır. [22]’ deki çalışma boyut olarak daha küçüktür ancak S_{21} ve S_{31} aragirme kayıpları, bu makalede önerilen kayıplara göre daha fazladır. Giriş port ile çıkış portları arasındaki araya girme kaybının -3.56 dB’ den iyi olması, tasarımın boyutu göz önünde bulundurulduğunda yeterli olarak değerlendirilmiştir. Çıkış portları arasındaki izolasyonun -7.5 dB’ nin altında olması önerilen tasarımın mikrodalga uygulamalarında güç bölücü olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada mikrodalga uygulamalarında yaygın olarak kullanılan ve özellikle dizi antenlerin beslemesinde önemli rol oynayan güç bölücü devrelerinin minyatürleştirilmesine odaklanılmıştır. Klasik Wilkinson güç bölücü yapısından farklı olarak, üç portlu bir tasarımın giriş ve çıkış portlarına dairesel açık devre saplamalar eklenerek, elektriksel performansı olumsuz etkilenmeden yapı kompakt hale getirilmiştir. Tasarım 49.3 mm x 46.1 mm’ lik boyut ile oldukça kompakt bir yapıya sahiptir. Önerilen tasarımın geri dönüş kaybı ölçüm sonuçlarına göre maksimum -11.2 dB’ dir. Bir başka önemli parametre olan S_{21} ve S_{31} araya girme kayıpları sırasıyla -3.62 dB ve -3.56 dB olarak ölçülmüştür. Buna ek olarak, S-bant frekans aralığı için tasarlanan güç bölücü devresinin düşük maliyet ve üretim kolaylığı gibi avantajları vardır. Önerilen tasarımın prototipi üretilmiş ve ölçüm sonuçları ile benzetim sonuçlarının tutarlı olduğu görülmüştür. Ölçüm sonuçları, önerilen yöntemin özellikle düşük frekanslarda yaşanan yapının boyut büyüme sorununu çözebileceğini göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Araştırmanın uygulama aşamasında mesleki deneyimleriyle yardımlarını esirgemeyen ASELSAN Inc. mühendisi Dr. Galip Orkun ARICAN’a teşekkür ederim.

KAYNAKÇA

- [1] Pozar, D. M., (2005), Microwave Engineering. New York, NY, USA: Wiley,7.
- [2] Liu, Y., Chen, W., Li, X. And Feng, Z. (2013), Design of compact dualband power dividers with frequency-dependent division ratios based on multisection coupled line, IEEE Compon., Packag., Manuf. Technol., 3, 467–475.
- [3] Genc, A. and Baktur, R., (2011), Dual- and triple-band Wilkinson power dividers based on composite right- and left-handed transmission lines, IEEE Compon., Packag., Manuf. Technol., 3, 327–334.
- [4] Chen, C.-F., Huang, T.-Y., Shen, T.-M. and Wu, R.-B. (2013), Design of miniaturized filtering power dividers for system-in-a-package, IEEE Compon., Packag., Manuf. Technol., 3,1663–1672.

- [5] Wu, L.-S., Guo, Y.-X. and Mao, J.-F. (2013), Balanced-to-balanced Gysel power divider with bandpass filtering response, *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, 61, 4052–4062.
- [6] Liu, Y., Xia, L. and Xu, R., (2012), A U-band Wilkinson type UWB power divider in LTCC technology, in *Proc. Int. conf. Microw. Millim. Wave Technol.*, 2, 1–3.
- [7] Ta, H. H. and Pham, A.-V., (2012), Compact Wilkinson power divider on multilayer organic substrate, in *IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig.*, 1–3.
- [8] He, Q., Liu, Y., Wu, Y. and Su, M., (2012), An unequal dual-band Wilkinson power divider with slow wave structure, in *Proc. Asia-Pacific Microw. Conf.*, 968–970.
- [9] Wu, Y. and Liu, Y., (2013), Compact 3–11 GHz UWB planar unequal power divider using two-section asymmetric coupled transmission lines and non-uniform microstrip, *Electron. Lett.*, 49, 1002–1003.
- [10] Chen, W.-H., Liu, Y.-C., Li, X., Feng, Z.-H. and Ghannouchi, F. M., (2011), Design of reduced-size unequal power divider for dual-band operation with coupled lines, *Electron. Lett.*, 47, 59–60.
- [11] Tang, X. and Mouthaan, K., (2009), Analysis and design of compact two-way Wilkinson power dividers using coupled lines, in *Proc. Asia-Pacific Microw. Conf.*, 1319–1322.
- [12] Wang, J., Ni, J., Guo, Y.-X. and Fang, D., (2009), Miniaturized microstrip Wilkinson power divider with harmonic suppression, *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, 19, 440–442.
- [13] Cengiz, O., Kelekci, O., Arican, G. Ozbay, E. and Palamutcuogullari, O. (2011), Design of high power S-band GaN MMIC power amplifiers for WiMAX applications, in *General Assembly and Scientific Symposium, 2011 XXXth URSI*, 1–4.
- [14] Hayati, M., Abdipour, A., Abdipour, A., (2015), A Wilkinson Power Divider with Harmonic Suppression and Size Reduction using High-Low Impedance Resonator Cells, *Radioengineering*, 24, 137-141.
- [15] Miao, C., Yang J. et al., (2014), Novel Sub-Miniaturized Wilkinson Power Divider Based on Small Phase Delay, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 24, 662-664.
- [16] Mirzavand R. et al., (2013), Compact Microstrip Wilkinson Power Dividers With Harmonic Suppression and Arbitrary Power Division Ratios, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 61, 61-68.
- [17] Wang, X., Sakagami, I. Mase, A. (2013), Generalized, Miniaturized, Dual-Band Wilkinson Power Divider with Series RLC Circuit, *2013 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings*, 372-374.

- [18] Rawat, K. Ghannouchi, F. (2009), A Design Methodology for Miniaturized Power Dividers Using Periodically Loaded Slow Wave Structure with Dual-Band Applications, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 57, 3380-3388.
- [19] Oraizi, H., Esfahlan, M. S. (2008), Miniaturization of Wilkinson Power Dividers by Using Defected Ground Structures, Progress in Electromagnetics Research Letters, 4, 113-120.
- [20] He, J. Chen, D. Wang, B. Z. (2012), Miniaturized Microstrip Wilkinson Power Divider With EBG Structure, International Conf. on Microwave and Millimeter-Wave Technology (ICMMT), 4, 1-3.
- [21] Mahardika, C., Nugroho, B. S., Syihabuddin, B., Prasetyo, A.D. and Nur, D.A., (2016), Modified Wilkinson Power Divider 1 to 4 at S-band as the part of a smart antenna for satellite tracking, telemetry, and command subsystem, 2016 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications.
- [22] Phan, H. P., Vuong, T. P., Nguyen, T. T., Luong, M. H., Litsuka Y. and Hoang, M. H., (2015), Simple miniaturized Wilkinson power divider using a compact stub structure, 2015 International Conference on Advanced Technologies for Communication (ATC), 168-171.
- [23] Chen, H.-H., Pang, Y.-H. (2011), A tri-band Wilkinson power divider utilizing coupled lines," 2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI), 25-28.