

## X-Bant Haberleşme Sistemlerine Yönelik Küçültülmüş GaN Temelli Eşit Bölen Wilkinson Güç Bölücü

Burak DÖKMETAŞ<sup>1\*</sup>, Mert KARAHAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kafkas Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Bölümü, 36000, Kars

<sup>2</sup>Milli Savunma Üniversitesi, Kara Harp Okulu, Elektronik ve Haberleşme Müh. Bölümü, 06420, Ankara

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-5900-6691>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-2884-9623>

\*Sorumlu yazar: burakd@kafkas.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 10.06.2024

Kabul tarihi: 18.10.2024

Online Yayınlanma: 15.01.2025

#### Anahtar Kelimeler:

Güç bölücüler  
Wilkinson güç bölücü  
X-bant  
Haberleşme  
Mikrodalga  
RF uygulamaları

### ÖZ

Bu çalışmada, X-bant uygulamaları için ultra kompakt monolitik mikrodalga entegre Wilkinson güç bölücü devresi tasarlanmıştır. Tasarımın boyutunu küçültmek amacıyla minyatürleştirme tekniği kullanılmış ve önerilen tekniğin verileri simülasyon programı ile analiz edilmiştir. Önerilen Wilkinson güç bölücü, galyum nitür (GaN) entegre pasif cihaz teknolojisi kullanılarak üretilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre X bandında (8-12 GHz), giriş ve çıkış (I/O) yansıma katsayılarının -14 dB'den daha iyi olduğu görülmüştür. Aynı frekans aralığında iletim katsayısı ise -4,7 dB'nin üzerinde ölçülmüştür. Çalışmada 10 dB'lik kesirli bant genişliği %47,6 olarak hesaplanmıştır. Monolitik toplu elemanlar ile  $\pi$  tipi minyatürleştirme tekniği uygulanarak Wilkinson güç bölücünün boyutu  $776 \mu\text{m} \times 2240 \mu\text{m}$ 'ye düşürülmüştür. Bu çalışmada önerilen yöntemle, güç bölücü devresi elektriksel performansında herhangi bir bozulma olmadan boyut olarak kompakt hale getirilmiştir.

## Miniaturized GaN-Based Wilkinson Power Divider for X-Band Communication Systems

### Research Article

#### Article History:

Received: 10.06.2024

Accepted: 18.10.2024

Published online: 15.01.2025

#### Keywords:

Power dividers  
Wilkinson power divider  
X-band  
Communication  
Microwave  
RF applications

### ABSTRACT

In this study, an ultra-compact monolithic microwave-integrated Wilkinson power divider circuit was designed for X-band applications. To reduce the size of the design, a miniaturization technique was used, and the data from the proposed technique were analyzed using a simulation program. The proposed Wilkinson power divider was manufactured using gallium nitride (GaN) integrated passive device technology. According to the obtained measurement results, it was observed that the input and output (I/O) reflection coefficients in the X-band (8–12 GHz) were better than -14 dB. In the same frequency range, the transmission coefficient was measured to be above -4.7 dB. In this study, the fractional bandwidth of 10 dB was calculated as 47.6%. By applying the  $\pi$ -type miniaturization technique with monolithic lumped elements, the size of the Wilkinson power divider was reduced to  $776 \mu\text{m} \times 2240 \mu\text{m}$ . Using the method proposed in this study, the power divider circuit was made compact without any deterioration in its electrical performance.

**To Cite:** Dökmetaş B., Karahan M. X-Bant Haberleşme Sistemlerine Yönelik Küçültülmüş GaN Temelli Eşit Bölen Wilkinson Güç Bölücü. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(1): 432-444.

### 1. Giriş

Güç bölücü devreleri, mikrodalga uygulamalarının önemli bir bileşenidir. Wilkinson güç bölücü, en genel haliyle bir giriş sinyalini eşit genlikte iki çıkış sinyaline bölmek için kullanılan bir tür pasif mikrodalga devresidir (Wu ve ark., 2006; Kosç ve ark., 2013). Güç bölünmesi, belirli bir

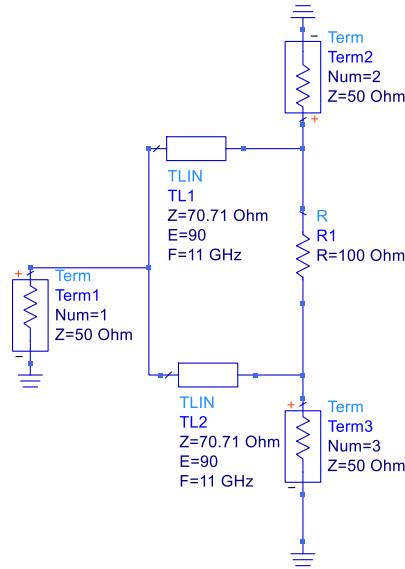
konfigürasyonda düzenlenmiş dirençler ve iletim hatlarını içeren ağ yapısını kullanılarak oluşturulur. Bu devreler yaygın olarak sinyal bölmenin veya birleştirmenin gerekli olduğu yükselteçler, karıştırıcılar ve osilatörler gibi çeşitli mikrodalga devrelerinde kullanılırlar. Wilkinson güç bölücüler genellikle düşük ekleme kaybına sahiptirler ve bu sayede iletilen sinyalde minimum zayıflamaya neden olurlar (Dökmetaş, 2021; Arıcan, 2023). Fiziksel devre yapısı olarak basit bir tasarıma sahiptirler ve bu basitlik, bu tip devrelerin üretimini uygun maliyetli hale getirerek RF ve mikrodalga devrelerine entegre edilmesini kolaylaştırır. Wilkinson güç bölücünün en önemli avantajlarından birisi de geniş bant performansı ve çıkış portları arasında sağladığı mükemmel izolasyondur (Karahana ve ark., 2014). Bu avantajlarına karşılık, geleneksel Wilkinson güç bölücü devrelerinin boyutu, özellikle Ku-bandının altındaki düşük frekans spektrumunda oldukça büyümektedir. Bu durum göz önüne alındığında yüksek frekanslarda çalışabilecek, kompakt ve düşük maliyetli güç bölücü devrelerinin geliştirilmesi ihtiyaç haline gelmiştir. Literatürde çeyrek dalga boyundaki iletim hatlarının ve dolayısıyla Wilkinson güç bölücülerinin boyutunu azaltmak için çeşitli teknikler önerilmiştir. Bunları bazıları kapasitif ve endüktif yükleme (Hettak, 2005), yavaş dalga (slow wave) etkisi (Kuo ve ark., 2011), (Yun ve ark., 2006), taban iletkeni kusurlu yapı (DGS) tekniği (Kaixue ve ark., 2011) ve asimetrik şant saplamalı menderes hat uyarlaması (meander line) (Liang ve ark., 2012) olarak sıralayabiliriz.

Literatürde önerilen tekniklerde genellikle çok katmanlı (Printed Circuit Board) PCB yapılar kullanılmıştır. Bununla birlikte Wilkinson güç bölücü devrelerde Eş Düzlemlili Dalga Kılavuzu (EDDK) teknolojisinin kullanılması bir seçenek olarak değerlendirilmektedir. EDDK teknolojisi, aynı alt tabaka üzerindeki diğer EDDK tabanlı bileşenlerle kolay entegrasyona olanak tanımaktadır. Bu entegrasyon yeteneği, özellikle alanın kısıtlı olduğu uygulamalarda daha kompakt tasarımlara yol açmaktadır (Arıcan ve ark., 2022). EDDK teknolojisine sahip Wilkinson güç bölücü devrelerinde, merkez iletken ve toprak düzlemine ait iletkenler aynı düzlem üzerinde yer almaktadır; dolayısıyla geçiş delikleri yoktur. Böylece kayıplar düşer ve geniş bant özellikleri elde edilir (Arıcan, 2021; Okan, 2021). Bu avantajlarından dolayı EDDK teknolojisi, düşük maliyetli ve kompakt Wilkinson güç bölücü devresi geliştirmede büyük ilgi görmektedir. Buna ek olarak son yıllarda çeşitli Galyum Nitrür'ün (GaN) yarıiletken teknolojisinde kullanımı artmaktadır. Galyum Nitrür teknolojisi, kompakt ve hafif cihazların üretilmesine olanak tanımaktadır. Bu da boyut ve ağırlığın kritik faktörler olduğu sistemler için avantaj sağlamaktadır.

Bu çalışmada, modern haberleşme sistemleri için galyum nitrür entegreli pasif cihaz üretim prosesi kullanılarak ultra kompakt eş düzlemlili dalga kılavuzu Wilkinson güç bölücü geliştirildi. Önerilen güç bölücü devresinde,  $\lambda/4$  iletim hatları yerine toplu elemanlar ve  $\pi$ -tipi minyatürleştirme tekniği kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan minyatürleştirme tekniğinin geçerliliği, elektromanyetik (EM) simülasyon programı ve üretimden elde edilen ölçüm sonuçlarıyla doğrulanmıştır. Önerilen güç bölücü  $776 \mu\text{m} \times 2240 \mu\text{m}$  gibi oldukça kompakt bir boyuta sahiptir. Tasarımdaki giriş ve çıkış terminallerinin aynı olduğu ve genişliğinin aynı kabul edildiği durum için önerilen devrenin geleneksel güç bölücüye göre %72,3 oranında daha küçük bir boyuta sahip olduğu görülmüştür. Tasarım tüm X-bant çalışma frekans aralığını kapsamaktadır.

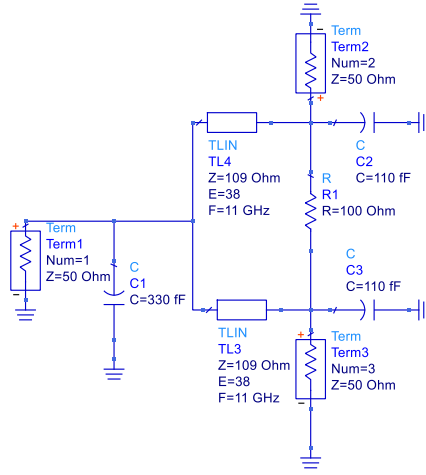
## 2. Materyal ve Metot

Geleneksel Wilkinson güç bölücü, devrenin girişine uygulanan RF işaretini 2 adet çıkış terminaline birbirleri arasında faz farkı olmaksızın eşit genlikte bölmek için kullanılan bir devre tasarım yapısıdır. Klasik Wilkinson güç bölücü tasarımı iki adet  $\sqrt{2}Z_0$  empedans değerine sahip  $\lambda/4$  elektriksel uzunluğa sahip iletim hatlarının birleştirilmesiyle meydana gelmektedir. Ayrıca çıkış terminaleri arasındaki izolasyonu sağlamak amacıyla  $2Z_0$  değerinde direnç kullanılmaktadır. Şekil 1’de klasik Wilkinson güç bölücü blok şeması gösterilmiştir.



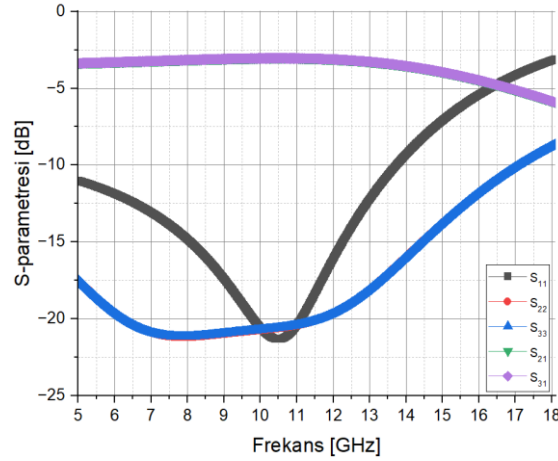
Şekil 1. Klasik Wilkinson güç bölücü blok şeması

Klasik Wilkinson güç bölücü tasarımında kullanılan  $\lambda/4$  elektriksel uzunluğu, düşük frekans uygulamalarında dalga boyunun büyümesine bağlı olarak artmaktadır. Tasarlanan güç bölücü devrelerinin olabildiğince küçültülerek az yer kaplaması amacıyla farklı eşlenik devre tasarım yapıları geliştirilmiştir. Bu eşlenik devre tasarımlarından en yaygın olarak kullanılan  $\pi$ -tipi eşlenik devre topolojisidir. Bu eşlenik devre yapısı belirli çalışma frekans aralığında, şant kapasitörler ve seri bobin kullanılarak oluşturulur. Buna göre klasik Wilkinson güç bölücü tasarımı,  $\pi$ -tipi eşlenik devre tasarım topolojisi kullanılarak tekrardan tasarlanmıştır. Önerilen Wilkinson güç bölücü eşlenik devre blok şeması Şekil 2’de gösterilmektedir. Buna göre klasik güç bölücü tasarımında kullanılan  $\lambda/4$  elektriksel uzunluğa sahip iletim hatları sırasıyla 330 fF değerindeki şant kapasitör, 109  $\Omega$  karakteristik empedans ve  $38^\circ$  elektriksel uzunluğa sahip iletim hattı ve 110 fF değerine sahip şant kapasitörün yer aldığı eşlenik devre ile yer değiştirmiştir.



Şekil 2. Klasik Wilkinson güç bölücü eşlenik blok şeması

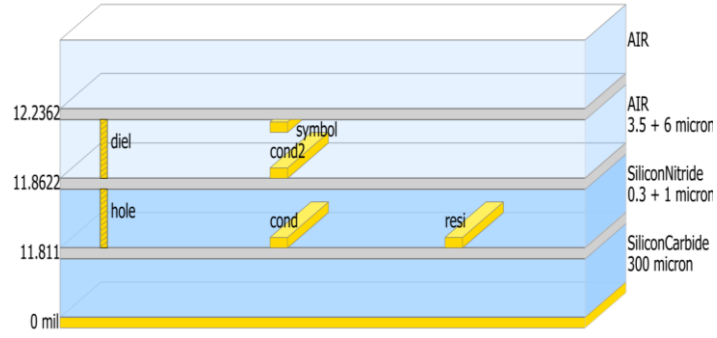
Önerilen Wilkinson güç bölücünün blok şema simülasyon sonuçlarına göre 8-12 GHz çalışma frekans bandında giriş ( $S_{11}$ ) ve çıkış ( $S_{22}$  &  $S_{33}$ ) yansımaya katsayılarının sırasıyla -15 dB ve -20 dB'den iyi olduğu görülmüştür. Tasarımın araya girme kaybı değerleri ( $S_{21}$  &  $S_{31}$ ) 3,2 dB' den daha iyi elde edilmiştir. Wilkinson güç bölücü eşlenik blok şemasının S-parametresi simülasyonu Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Eşlenik güç bölücü devrenin S-parametre sonuçları

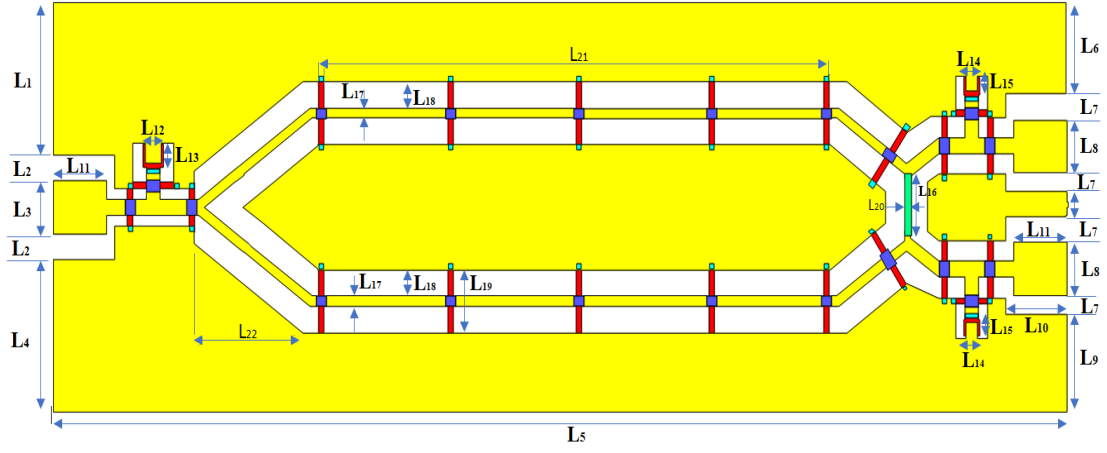
Blok şema tasarımı tamamlandıktan sonra önerilen güç bölücü devrenin entegre devre serim tasarımı gerçekleştirilmiştir. Entegre devre tasarımı ticari olarak kullanılabilen ADS Momentum yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Wilkinson güç bölücü serim tasarımında 9,6 değerinde dielektrik sabitine sahip 300  $\mu\text{m}$  kalınlığında Silikon Karbür (SiC) alt tabaka üzerine büyütülen Galyum Nitrid (GaN) teknolojisi kullanılmıştır. Tasarımda eş düzlemlı dalga kılavuzu teknolojisi kullanılmıştır. EDDK teknolojisi mikroşerit teknolojisinde kullanılan yüksek maliyetli, üretimi ve tekrarlanabilmesi zor olan delik açma ve delik içi kaplama süreçlerine ihtiyaç duymamaktadır. Önerilen Wilkinson güç bölücü tasarımında sırasıyla 1'inci metal, 2'nci metal, direnç ve hava köprüsü metal tabakaları kullanılmıştır. Bu metal tabakalar Şekil 4'de gösterildiği üzere sırasıyla cond2, cond, resi ve symbol tabakaları ile ifade

edilmiştir. Ek olarak 1'inci metal ile 2'nci metal ve 1'inci metal ile direnç metal bağlantıları hole tabakası olarak tanımlanmıştır. Ayrıca 1'inci metal ile hava köprüsü arasındaki bağlantı ise diel tabakası olarak Şekil 4' de gösterilmiştir. Önerilen devre tasarımında RF sinyal iletim hatları ve toprak yüzeyleri 1'inci metal ile sağlanırken, toprak yüzeylerinin birleştirilmesi 2'nci metal aracılığıyla alt tabakadan sağlanmıştır. Buna ek olarak, eş düzlemde kesişen iletim hatlarının, hava köprüsü tabakası vasıtasıyla birbirleri üzerinden geçebilmeleri sağlanmıştır. Önerilen güç bölücü tasarımında kullanılan izolasyon direncini sağlamak amacıyla NiCr metali kullanılmıştır. Devre tasarımında kullanılan 1'inci metal 3 µm ve 2'nci metal ile NiCr metaller ise 1 µm kalınlığındadır. Şekil 4'te GaN entegre devre alttaş bilgileri gösterilmiştir.



Şekil 4. GaN entegre devre alttaş bilgisi

Önerilen devre tasarımında yer alan şant kapasitörler metal-yalıtkan-metal yapısı kullanarak gerçekleştirilmiştir. Bu yapıda alt katmanda bulunan 2'nci metal ve üst katmanda bulunan 1'inci metal yapılarının arasında yaklaşık olarak 300 nm kalınlığa sahip Silikon Nitrür (SiN) tabakası kullanılmıştır. Ek olarak, çıkış terminalleri arasında yer alan 100 Ω değerine sahip izolasyon direnci ise direnç metali kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Devre serimi tasarımında kullanılan EDDK teknolojisinden kaynaklı olarak tasarımın üst yüzeyinde birbirinden bağımsız halde yer alan toprak alanları, 2'nci metal vasıtasıyla birleştirilerek toprak alanlarında bütünlük sağlanmıştır. Bunun yanı sıra, üretimi yapılan devrenin RF sonda istasyonunda ölçülebilmesi amacıyla 100 µm eninde ve 120 µm boyunda giriş ve çıkış terminalleri tasarıma eklenmiştir. Şekil 5'te önerilen güç bölücü devresinin 2-boyutlu serim görüntüsü ve Tablo 1'de ise boyut bilgileri verilmiştir.



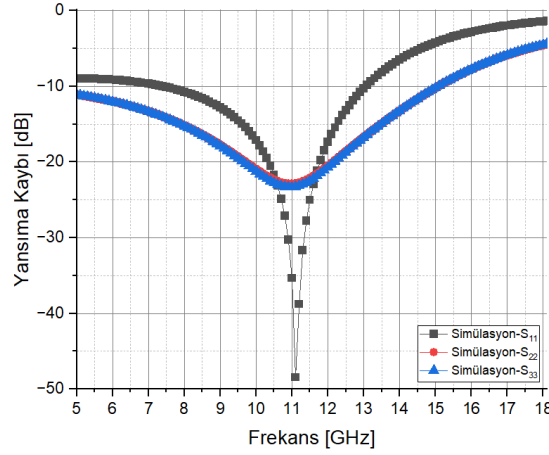
Şekil 5. Önerilen güç bölücü devre serimi

Tablo 1. Önerilen güç bölücü devrenin serim boyut bilgileri

Parametre	Değer [ $\mu\text{m}$ ]
L <sub>1</sub>	288
L <sub>2</sub>	50
L <sub>3</sub>	100
L <sub>4</sub>	288
L <sub>5</sub>	2240
L <sub>6</sub>	172
L <sub>7</sub>	50
L <sub>8</sub>	100
L <sub>9</sub>	172
L <sub>10</sub>	135
L <sub>11</sub>	120
L <sub>12</sub>	44
L <sub>13</sub>	42
L <sub>14</sub>	32
L <sub>15</sub>	34
L <sub>16</sub>	98
L <sub>17</sub>	19
L <sub>18</sub>	50
L <sub>19</sub>	119
L <sub>20</sub>	15
L <sub>21</sub>	1144
L <sub>22</sub>	242

### 3. Bulgular ve Tartışma

Devre serimi tamamlanan güç bölücü tasarımının elektromanyetik benzetimleri ve optimizasyonları ADS Momentum yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da giriş ve çıkış yansıma kaybının EM simülasyon sonuçları verilmiştir. Elde edilen S-parametresi benzetim sonuçlarına göre X-bant aralığında  $S_{11}$ ,  $S_{22}$  ve  $S_{33}$  değerleri sırasıyla -10 dB ve -15 dB' den daha iyi elde edilmiştir.



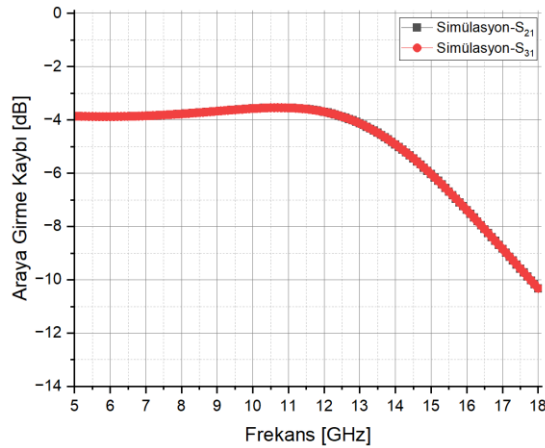
Şekil 6.  $S_{11}, S_{22}$  ve  $S_{33}$  ifadelerinin EM simülasyon sonuçları

Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre önerilen güç bölücünün kesirli bant genişliği (FBW-fractional bandwidth) Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmaktadır. Buna göre önerilen güç bölücü tasarımının  $S_{11}$  değerinin -10 dB seviyesini 8-13 GHz frekans bant aralığından sağladığı benzetim sonuçlarında elde edilerek FBW değerinin % 47,6 olarak hesaplanmıştır.

$$FBW = 2 \cdot \frac{f_Y - f_D}{f_Y + f_D} \cdot 100 [\%] ; \quad (1)$$

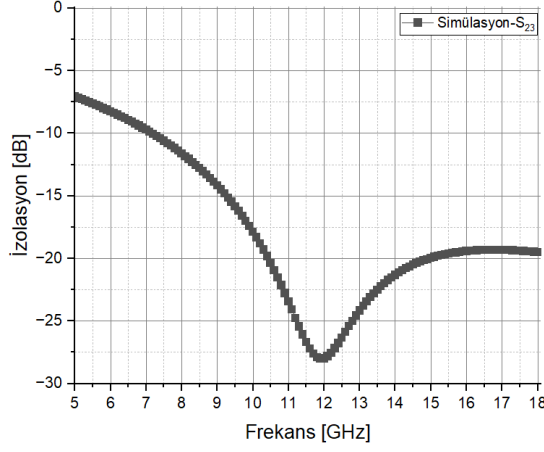
burada  $f_Y$  yüksek frekans ve  $f_D$  düşük frekans limit değerleridir.

Şekil 7’de araya girme kaybı EM simülasyon sonuçları gösterilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde 8-12 GHz frekans bandı içerisinde araya girme kaybının 4 dB’den az olduğu görülmektedir. Aynı çalışma bandı içerisinde kazanç dalgalanmasının 0,4 dB’den az olduğu yine simülasyon sonuçlarından elde edilmiştir



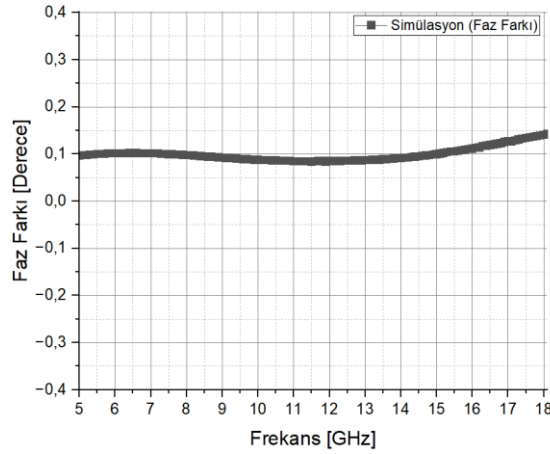
Şekil 7. Araya girme kaybı ( $S_{21}$  &  $S_{31}$ ) EM simülasyon sonuçları

Şekil 8’de simülasyon sonucu elde edilen çıkış terminalleri arasındaki izolasyon verilmiştir. Önerilen 2-kollu güç bölücü tasarımının çıkış terminalleri arasındaki izolasyonu ( $S_{23}$ ), 8-12 GHz frekans aralığında -12 dB’ nin altında elde edilmiştir.



Şekil 8. İzolasyon (S<sub>23</sub>) EM simülasyon sonuçları

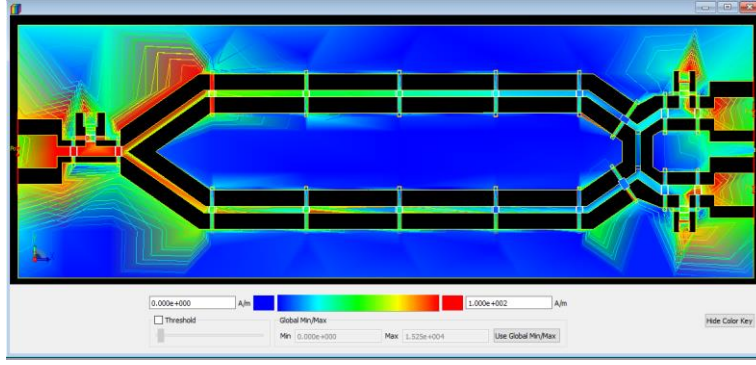
Şekil 9'da çıkış terminalleri arasındaki faz farkı simülasyon sonuçları gösterilmiştir. Önerilen güç bölücü tasarımının çıkış terminalleri arasındaki faz farkının yaklaşık olarak 0,1° olduğu simülasyon sonuçlarında elde edilmiştir.



Şekil 9. Çıkış terminalleri arasındaki faz farkı simülasyonu sonucu

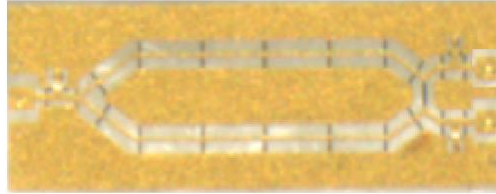
Şekil 10'da 2-kollu güç bölücü tasarımının geçirme bandındaki (11 GHz) akım dağılımı gösterilmiştir. Elde edilen akım dağılım grafiklerine göre geçirme bandı içerisinde giriş terminaline uygulanan sinyalin minimum kayıpla ve eşit bir şekilde çıkış terminaline iletiildiği görülmüştür. Tasarımı küçültmek için kullanılan  $\pi$ -tipi eşlenik devre topolojisinde kullanılan Metal-İzolatör-Metal (MIM) kapasitörlerin etrafında akım yoğunluğunun diğer bölgelere nazaran yüksek olduğu görülmüştür. Ek olarak, çıkış terminalinden geri yansıyan RF işaretin 100 $\Omega$  değerindeki izolasyon direnci üzerinde harcandığı görülmüştür.





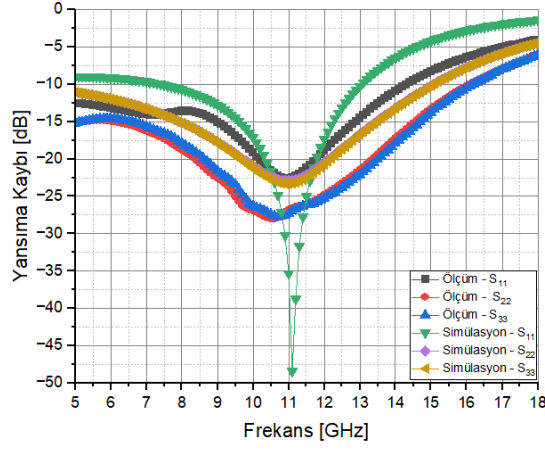
Şekil 10. Geçirme bandındaki (11 GHz) akım dağılımı

Elde edilen simülasyon sonuçları doğrultusunda önerilen tasarımın üretilmesine karar verilmiştir. Üretilen tasarımın ölçüm sonuçları RF sonda istasyonunda yapılmıştır. Şekil 11’de üretilmiş olan tasarımın görseli verilmiştir. S-parametresi ölçümleri Agilent Technologies firmasının N5222A model numaralı (10 MHz-26.5 GHz) devre çözümleyicisi (network analyzer) ve Cascade firmasının MPS150 RF-sonda istasyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. S-parametresi ölçümlerinde 3 adet Infinity I40-A-GSG-150 RF sondalar kullanılmıştır. Ölçüm düzeneğinin referans noktaları RF sondaların uçları olacak şekilde alttaş üzerinde 3-portlu kısa, açık, yük ve içinden (SOLT: Short, Open, Load, Through) kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir.



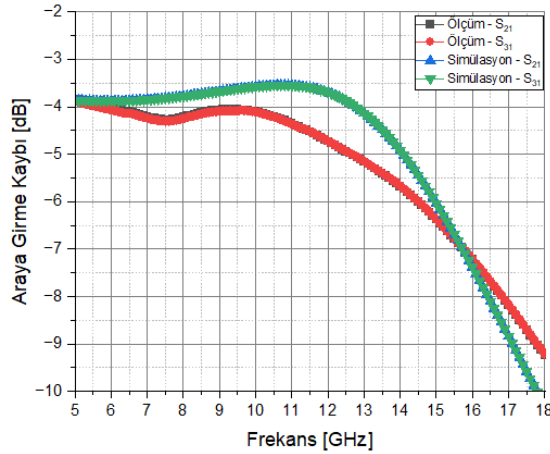
Şekil 11. Üretimi tamamlanan güç bölücü fotoğrafı

Şekil 12’de giriş ve çıkış yansıma kaybı ölçüm ve EM simülasyon sonuçları gösterilmiştir. Üretimi tamamlanan güç bölücü devresinin X-bandında ki  $S_{11}$ ,  $S_{22}$  ve  $S_{33}$  ifadelerinin sırasıyla -14 dB ve -18 dB’den iyi olduğu görülmüştür. Simülasyon ve ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında, giriş ve çıkış yansıma kayıplarının birbirlerine benzer tepkiler verdiği görülmüştür. Ancak simüle edilen ve ölçülen giriş yansıma kaybı incelendiğinde, simüle edilen  $S_{11}$  parametresi 11 GHz merkez frekansında -50 dB seviyelerine ulaşırken, ölçümde bu değer -23 dB seviyelerinde kaldığı görülmüştür. Buna karşılık  $S_{11}$  ölçüm sonuçlarından, simülasyon sonuçlarına kıyasla daha geniş bir çalışma frekans bandı elde edilmiştir. Şekil 12’ye göre ölçüm ve simülasyon sonuçlarından elde edilen çıkış yansıma kayıpları ( $S_{22}$  ve  $S_{33}$ ) benzer davranışlar göstermiştir.



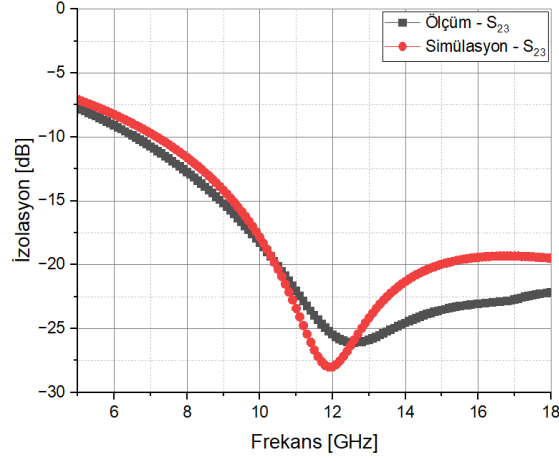
Şekil 12.  $S_{11}$ ,  $S_{22}$  ve  $S_{33}$  değerlerinin ölçüm ve EM simülasyon sonuçları

Şekil 13’de araya girme kaybı ölçüm ve EM simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Üretimi tamamlanan güç bölücü yapısının 8-12 GHz çalışma frekans bandı içerisinde araya girme kaybının 4.7 dB’den iyi olduğu görülmektedir. Ek olarak, çalışma frekans bandı içerisinde kazanç dalgalanmasının 0.65 dB’den az olduğu tespit edilmiştir. Şekil 13 incelendiğinde çalışma frekans bandı içerisinde ölçüm ve simülasyon sonuçları arasında yaklaşık olarak 0.7 dB kadar fark olduğu görülmektedir.



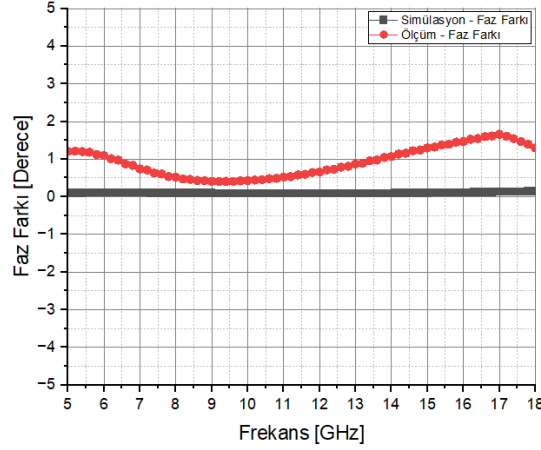
Şekil 13. Araya Girme Kaybı ( $S_{21}$  &  $S_{31}$ ) Ölçüm ve EM Simülasyon Sonuçları

Şekil 14’te çıkış terminalleri arasındaki izolasyonun ölçüm ve simülasyon sonuçları gösterilmiştir. Üretimi tamamlanan güç bölücü yapısının 8-12 GHz çalışma frekans bandı içerisinde çıkış terminalleri arasındaki izolasyonun ölçüm sonuçlarında -12 dB’den iyi olduğu görülmüştür. Yüksek frekansa doğru gittikçe çıkış terminalleri arasındaki izolasyon değerinin ölçüm sonuçlarının simülasyon sonuçlarına göre yaklaşık olarak 2-3 dB kadar iyi olduğu görülmüştür.



Şekil 14. Çıkış terminalleri arasındaki izolasyon ölçüm ve EM simülasyon sonuçları

Şekil 15'te çıkış terminalleri arasındaki faz farkının ölçüm ve simülasyon sonuçları gösterilmiştir. Üretimi tamamlanan güç bölücü yapısının 8-12 GHz çalışma frekans bandı içerisinde çıkış terminalleri arasındaki faz farkının ölçüm sonuçlarında  $0,6^\circ$ 'den az olduğu görülmüştür. Çıkış değerleri arasındaki faz farkı simülasyon sonuçlarında ise  $0,1^\circ$  seviyelerinde elde edilmiştir.



Şekil 15. Çıkış terminalleri arasındaki faz farkı ölçüm ve EM simülasyon sonuçları

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, galyum nitrid teknolojisinde EDDK kullanılarak geliştirilen ultra kompakt bir Wilkinson güç bölücü devresi sunulmuştur. Önerilen güç bölücü devresinde kullanılan çip alanını azaltmak için toplu elemanlı  $\pi$  tipi minyatürleştirme tekniği kullanılmıştır. Önerilen güç bölücünün hatları, MIM kapasitörler ve spiral indüktörler kullanılarak tasarlanmıştır. Tasarımın toplam boyutu  $776 \mu\text{m} \times 2240 \mu\text{m}$ 'dir. Geleneksel Wilkinson güç bölücülere göre %72,3'lük yüzey alanında küçültme sağlanmıştır ve kesirli bant genişliği %47,6'dır. Çalışma neticesinde teorik ve deneysel sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen minyatürleştirme tekniği ile elektriksel performansta herhangi bir bozulma olmadan güç bölücü devresinin boyutlarının önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermektedir. Önerilen Wilkinson güç bölücü devresi, basit ve düşük maliyetli

yapısıyla, X-bant uygulamalarında kullanılmak üzere monolitik mikrodalga entegre devrelerine ve hibrit modüllere kolaylıkla entegre edilebilir.

### **Teşekkür**

Çalışmanın uygulama aşamasında mesleki deneyimleriyle yardımlarını esirgemeyen ASELSAN Inc. Mühendisi Dr. Galip Orkun ARICAN'a teşekkür ederiz.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

### **Kaynakça**

- Arıcan GO. Design and fabrication of compact Wilkinson power divider on gallium nitride coplanar technology. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2023; 12(1): 113-118.
- Arıcan GO., Sen O., Turhan-Sayan G. A novel miniaturized X-band coplanar waveguide branch-line coupler using T-and  $\pi$ -type equivalent transmission lines. International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering 2022; 37(2).
- Arıcan GO. A compact 2-way multisection power divider for broadband operations. Journal of Scientific Reports-C 2021; 2: 1-10.
- Dökmetaş B. S-bant mikroşerit wilkinson güç bölücü tasarımı. Journal of Scientific Reports-B 2021; 004: 8-18.
- Hettak K., Morin GA., Stubbs MG. Compact MMIC CPW and asymmetric CPS branch-line couplers and Wilkinson dividers using shunt and series stub loading. IEEE Trans. Microw. Theory Tech 2005; 53: 1624-1635.
- Kaixue M., Shouxian L., Yang M., Lim K., Kiat SY. A 60 GHz defected ground power divider using SiGe BiCMOS technology. Proc. Int. SoC Design Conference 2011; 1-4.
- Karahan M., Kurt E., Sahinkaya DS. Design of multisection 1×8 ultra-wideband Wilkinson power divider. USNC-URSI Radio Science Meeting 2014; 99.
- Kość A., Di Maria A., Limbach M., Horn R., Reigber A. A 5 way lumped-elements Wilkinson power divider. 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2013; 357-360.
- Kuo CY., Chen AYK., Lee CM., Luo CH. Miniature 60 GHz slow-wave CPW branch-line coupler using 90 nm digital CMOS process. Electron. Letters 2011; 47: 924-925.
- Liang WF., Hong W., Chen JX. A Q-band compact Wilkinson power divider using asymmetrical shunt-stub in 90 nm CMOS technology. Proc. Asia-Pacific Microw. Conf. 2012; 974-976.

- Okan T. A Wideband conductor backed coplanar waveguide fed implantable antenna operable in different tissues for biotelemetry applications. *Radioengineering* 2023; 30(2): 335-431.
- Wu L., Sun Z., Yilmaz H., Berroth M. A dual-frequency wilkinson power divider. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 2006; 54(1): 278-284.
- Yun Y., Lee KS., Kim CR., Kim KM., Jung JW. Basic RF characteristics of the microstrip line employing periodically perforated ground metal and its application to highly miniaturized on-chip passive components on GaAs MMIC. *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.* 2006; 54(10): 3805–3817.