

## 2.45 GHz Frekasında Optimum Bant Durduran Filtre Tasarımı ve Optimizasyonu

Büşra ÖZTÜRK<sup>1\*</sup>, Özlem COŞKUN<sup>2</sup><sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Isparta

Geliş Tarihi (Received): 29.05.2019, Kabul Tarihi (Accepted): 24.11.2019

✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author\*): busra\_5426@hotmail.com

☎ +90 246 2111373 📠 +90 246 2370859

### ÖZ

Filtre yapılarının RF/mikrodalga uygulamalarındaki önemi oldukça fazladır. Bant durdurucu filtreler biyomedikal cihazlarda da sıklıkla kullanılmaktadır. Biyomedikal cihazlarda ölçüm yapılırken havada dolaşan istenmeyen sinyallerin sapsmalarına neden olmaması için, cihazlara bu frekansdaki sinyalleri durdurucu filtreler konulmaktadır. WLAN uygulamalarından olan IEEE 802.11b azami 11Mbit/s'lik bir hızla sahiptir ve orijinal standartta aynı cihazları bağlamak için kullanılmaktadır. IEEE 802.11b standardında çalışan aygıtlar, 2.45 GHz ile çalışan diğer aygıtlardan (mikrodalga fırın, Bluetooth aygıtları, kablosuz telefonlar) dolayı bir parazitlenme yaşamaktadır. Bu çalışmanın ana hedefi; bu girişimlerin engellenmesi amacıyla, 2.45 GHz frekansında bant durdurucu filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu bant durdurucu filtre tasarımları sayesinde; istenmeyen sinyaller filtrelenmiş, istenilen sinyallerin başarılı bir şekilde iletilmesi sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İletim Hatları, Mikroşerit Filtre, Optimum Bant Durdurucu Filtre, ADS

## Design and Optimization of Microstrip Optimum Band-Stop Filter at 2.45 GHz

### ABSTRACT

The importance of filter structures in RF/microwave applications is very high. Band-stopping filters are also frequently used in biomedical devices. When measuring biomedical devices, filters that stop signals at this frequency are placed on the devices so that unwanted signals circulating in the air do not cause deviations. IEEE 802.11 b has a maximum speed of 11mbits/s, and is used to connect the same devices to the original standard. IEEE 802.11 b standard devices are experiencing interference due to other devices running at 2.45 GHz (microwave oven, Bluetooth devices, wireless phones). The main objective of this work is; In order to prevent these interferences, band stop filter design at 2.45 GHz frequency was realized. Thanks to the filter designs that stop this band, unwanted signals have been filtered and the desired signals have been successfully transmitted.

**Keywords:** Transmission Line, Microstrip Filter, Optimum Band-Stop Filter, ADS

### GİRİŞ

Günümüz uzak mesafe haberleşme sistemlerinde büyük bir sorun olarak görülen istenmeyen sinyaller (gürültü), bu sinyalleri bastırmak, iletilmesi istenen sinyalin havada dolaşan sinyaller ile karışmasını engellemek amacıyla

mikrodalga filtre yapıları önem arz etmektedir. Bu çalışma ile özellikle uzak mesafe haberleşmelerinde karşılaşılan bu sorunu çözmek hedeflenmiştir.

Mikrodalga filtrelerin RF ve mikrodalga uygulamalarında ki önemi çok büyüktür. Birbirinden farklı frekansları birleştirir veya ayırırlar. Filtre yapıları mikrodalga sistemlerinde, özellikle de uydu ve mobil haberleşme sistemlerinde sıkça kullanılmaktadır. Bu filtre yapılarında; yüksek performans, düşük kayıp, küçük boyut ve düşük maliyet gereksinimleri aranmaktadır. Genel olarak osilatör ve mikser gibi cihazlarda; istenmeyen sinyalleri engellemek için, bant durduran filtreler yapılara eklenmektedir. Bunlar gibi birçok mikrodalga sistemleri bant durduran filtre yapıları içermektedir. Bu bağlamda oluşan gereksinimleri karşılamak adına filtreler toplu eleman ve ayırık eleman devreleri olarak tasarlanır. Bu tasarımlar dalga kılavuzu, koaksiyel hat ve mikroşerit iletim hatlarından oluşmaktadır.

Günümüzde kullanılan filtreler şu an ihtiyacı karşılıyor da olsa tam manasıyla filtre karakteristiklerinde kazanç ve geri dönüş kaybı istenilen seviyede değildir. Bu da eldeki filtrelerin daima daha iyi olmasını gerektirmektedir. Yaptığımız bu çalışma ile literatürden farklı olarak 3 farklı "Optimum Bant Durduran Filtre" tasarımı yapılmış olup her biri için birden fazla parametre göz önünde bulundularak analizler yapılmış ve kendi içlerinde değerlendirilmişlerdir. Bu tasarımları yapmaktaki asıl amacımız daha yüksek performans, daha düşük geri dönüş kaybına sahip ve daha kompakt ve kullanılabılır boyutlarda bant durduran filtre tasarlamaktır.

Literatürde mikroşerit hatlar ile tasarlanmış birçok çalışma vardır.

Hsieh ve ark. (2005) yılında yaptıkları çalışmalarında kompakt boyutlu geniş bant genişliği ve düşük ekleme kaybı özelliklerini sunan yeni bir tek kesitli bant durdurucu filtre üretmişlerdir. Bu bant durdurucu filtre, bir ucunda kısa devre olan bir bölüm anti-couple hatlı tek bir çeyrek dalga boyulu rezonatör kullanılarak yapılandırılmıştır. Bu tip bant durdurucu filtrelerin zayıflatma-kutup özellikleri TEM iletim hattı modeli kullanılarak araştırılmıştır. Simülasyon sonuçları ve deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyum oluşturmuşlardır (Hsieh ve Wang, 2009).

Tu ve Chang (2006) yılında yaptıkları çalışmalarında bant durdurma filtrelerinin bant geçişi veya bant geçiren filtrelere entegrasyonunu sunmuşlardır. Hat üzerindeki geleneksel çeyrek dalga boyulu saplamaları T şeklindeki hatlarla değiştirmişlerdir. İletim hattı modeli hesaplamasını eşdeğer T şeklindeki hatların tasarım denklemlerini türetmek için kullanmışlardır. Daha sonra tasarım ve ölçümler yapmışlardır (Tu ve Chang, 2006).

Shaman ve ark. (2007) yılında yaptıkları çalışmalarında çapraz bağlanmış mikroşerit bant durduran filtre için ge-

nel bir devre konfigürasyonu önermişlerdir. 4 GHz merkez frekansında yaklaşık olarak %80 bant genişliği gözlemlemişlerdir. Önerdikleri filtre yapısı teorik olarak başarıyla gerçekleştirilmiş simülasyon ve deneylerle doğrulanmıştır (Shaman ve Hong, 2007).

Habibi ve ark. (2012) yılında yaptıkları çalışmalarında X bantta kullanılmak üzere geniş bantlı bir bant durdurma filtresi tasarlamışlardır. Tasarımlarını mikroşerit hat üzerine 5 çift L şeklinde saplamalar yaparak oluşturmuşlardır. Oluşturulan filtrenin çalışma frekansı L şeklindeki saplamaların boyutlarını değiştirerek kontrol etmişlerdir. Simülasyon sonuçları ve deneysel sonuçları mükemmel uyum göstermiştir (Habibi ve ark., 2012).

BalaSenthilMurugan ve ark. (2012) yılında yaptıkları çalışmalarında WLAN uygulamalarında kullanılmak üzere L şekilli rezonatör yapıları kullanarak bant durdurucu filtre tasarlamışlardır. Tasarımlarını 2.45 GHz frekansında yapmışlardır ve -60 dB zayıflama elde etmişlerdir. Tasarımlarını FR4 malzemesi kullanarak ADS (Gelişmiş Tasarım Sistemi) programında simüle etmişlerdir (BalaSenthilMurugan ve ark., 2012).

Yang (2015) yılında yaptığı çalışmasında kompakt çift bantta çalışan mikroşerit bant durdurucu filtre tasarımı yapmıştır. Tasarımında açık devre saplamalı yapı kullanılmıştır. Tasarımında dielektrik sabiti 9.9 olan Rogers TMM10i substrat malzemesini kullanmıştır. İletim hatları boyutlarını AppCAD programı yardımıyla hesaplamıştır. ABCD matrisi analizi ile T-şekilli hatların parametrelerini hesaplamıştır. İki adet T şekilli yapıyı birleştirerek çift bant T şekilli yapı oluşturarak 2.0 GHz ve 3.0 GHz merkez frekanslarında çift bantta çalışan bant durdurucu filtre tasarlamıştır (Yang, 2015).

Liu ve ark. (2017) yılında yaptıkları çalışmalarında iletim hattına L şeklinde bağlanmış mikroşerit rezonatörlere dayanan bir dar bant durdurma filtresi tasarlamışlardır. Gevşek biçimde bağlanmış üç mikroşerit rezonatör bant durdurma filtre devresi oluşturmak için kademeli bir şekilde bağlamışlardır. Devrenin boyutunu etkili bir şekilde azaltmak için açık bir radyal yama kullanmışlardır. Tasarlanan devreyi Rogers RO4350B substrat malzeme üzerinde üretmişlerdir. Sonuç olarak üç aşamalı rezonatörlü dar bant emici bir bant durdurma filtresinin 2.23 GHz merkez frekansı için tasarlamışlardır. Merkez frekansında ve 20 MHz'lik bantta geri dönüş kaybı 30 dB'den daha iyi olarak ölçmüşlerdir (Liu ve ark., 2017).

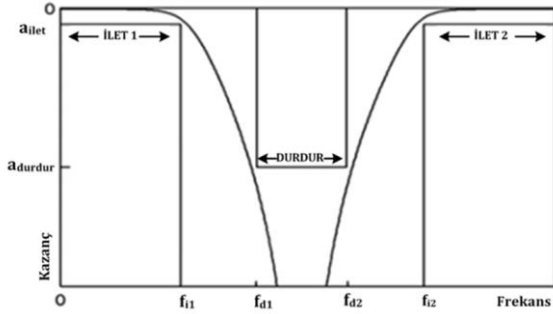
Kusama ve Isozaki (2019) yılında yaptıkları çalışmalarında kompakt ve geniş bantlı bir bant durdurma filtresi tasarlamışlardır. Filtre tasarımı yaparken ana iletim hattı üzerine çeyrek dalga boyulu açık devre saplamaları eklemişlerdir. Önerdikleri yapı ile radyo frekansı sinyalinin doğru akım kaynağına ters akışını önlemek amaçlı açık

devre saplama ile T eğilimini elde etmek olmuştur. Tasarımlarında FR4 malzemesi kullanmış ve HFSS programını kullanarak analizlerini yapmışlardır. Sonuç olarak 2.5 GHz merkez frekansında geniş bantta çalışan bant durdurucu filtre tasarımı yapmışlardır (Kusama ve Isozaki, 2019).

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Bant Durduran Filtre Yapısı

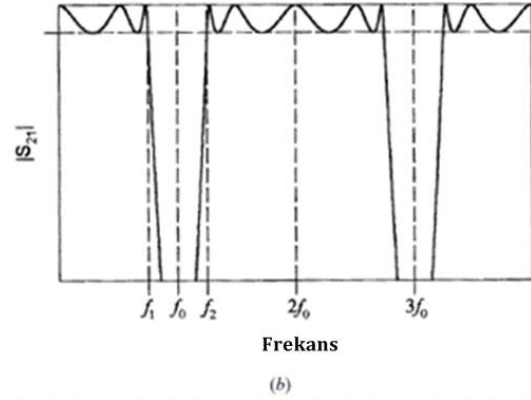
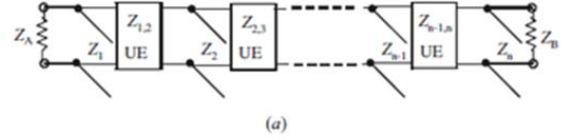
Bant durdurucu filtrelerde asıl amaç istenmeyen ve belirlenen frekans aralığını bastırırken kalan frekans değerlerinin iletimini sağlamaktır. Bant durdurucu filtrelerde durdurma bandı iki iletim bandı arasında tanımlanır. Durdurma bandı, bandın alçak kesim frekansı  $f_{durdur1}$  ile bandın yüksek kesim frekansı  $f_{durdur2}$  arasında kalan bölgedir. Bant durdurucu filtrelerin iki adet iletim bandı vardır. Alçak iletim bandı 0'dan başlayarak  $f_{ilet1}$ 'e kadar devam ederken yüksek iletim bandı  $f_{ilet2}$ 'den başlayarak sonsuza kadar (analog filtreler için) devam eder. Durdurma kazanç parametresi  $a_{durdur}$  (dB)'dir. İletim bandı kazanç parametresi ise alçak ve yüksek iletim bantları için sırasıyla  $a_{ilet1}$  (dB) ve  $a_{ilet2}$  (dB) olarak gösterilebilir (Şekil 1).



Şekil 1. Bant Durduran Filtre Frekans Cevabı

### Optimum Bant Durduran Filtre

Eğer geniş bant kullanılacaksa Şekil 2.a'daki gibi açık devre saplamalar yapılması gerekir. Tasarıma birim elemanlar eklenerek, yedek birim elemanları ile tasarlanan filtreler için mümkün olan sayıdan daha fazla saplama yapılarak daha hızlı zayıflatma özellikleri elde edilebilir.



Şekil 2. a) Açık devre saplamalar içeren bant durdurucu filtrenin iletim hattı karakteristiği b) Filtrenin frekans tepkisi

N adet saplama ile tasarımı yapılacak olan optimum bant durdurucu filtre için Şekil 2.a'daki devredeki optimum transfer fonksiyonuna bakılarak aşağıdaki gibi sentezlenir.

$$|S_{21}(f)|^2 = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 F_N^2(f)} \quad (1)$$

Burada  $\varepsilon$  geçiş bandı dalgalanma sabitidir ve  $F_N$  filtreleme fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

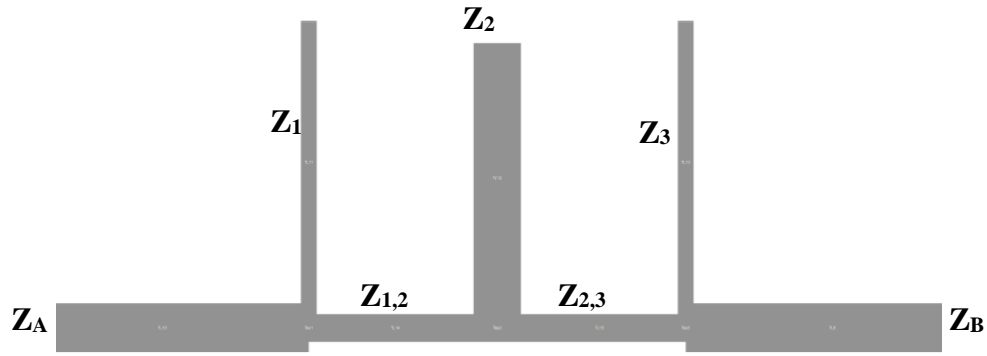
$$F_N = T_N \left( \frac{1}{t_c} \right) T_{n-1} \left( \frac{t \sqrt{1-t_c^2}}{t_c \sqrt{1-t^2}} \right) - U_n \left( \frac{t}{t_c} \right) U_{n-1} \left( \frac{t \sqrt{1-t_c^2}}{t_c \sqrt{1-t^2}} \right) \quad (2)$$

Burada  $t$  Richard'ın transform değişkenidir.

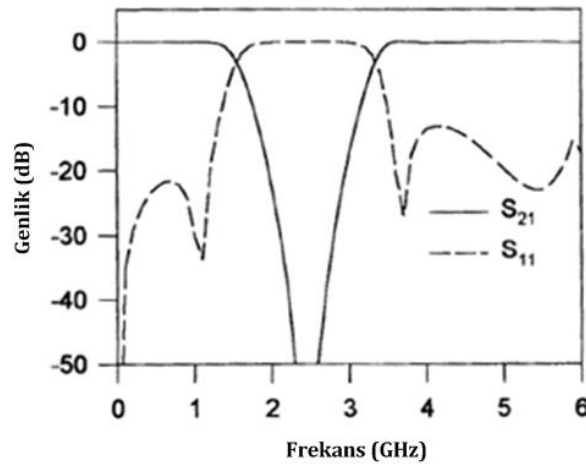
$$t = j \tan \left( \frac{\pi f}{2 f_0} \right) \quad (3)$$

ve

$$t_c = j \tan \left( \frac{\pi}{4} \right) (2 - KBG) \quad (4)$$



(a)



(b)

**Şekil 3. a)** Mikroşerit bant durdurucu filtre **b)** Filtrenin frekans tepkisi

Burada  $f_0$  bant durdurucu filtrenin merkez frekansı olup KBG (FBW-Fractional Bandwidth) kısmi bant genişliğidir.  $T_n(x)$  ve  $U_n(x)$ , birinci ve ikinci türdeki  $n$ 'lerin Chebyshev fonksiyonlarıdır:

$$T_n(x) = \cos(ncos^1x) \quad (5)$$

$$U_n(x) = \sin(ncos^1x) \quad (6)$$

Kolaylık sağlamak için, Şekil 2.a'daki devrenin eleman değerleri ( $g_x, j_{x,y}$ ) iki, üç ve dört saplamalı optimum bant durdurucu filtrelerin tasarımlarında kullanılmak üzere Tablo 1, 2 ve 3'te verilmiştir. Bu tablolardaki değerler -20 dB'lik bir geri dönüş kaybı ve %30 ile %150 kısmi bant genişlikleri için verilmiştir.

**Tablo 1.**  $n=2$  ve  $\mathcal{E}=0.1005$  için optimum bant durdurucu filtrenin eleman değerleri

KBG (%)	$g_1=g_2$	$J_{1,2}$
30	0.16989	0.98190
40	0.23418	0.93880
50	0.30386	0.89442
60	0.38017	0.84857
70	0.46470	0.80106
80	0.55955	0.75173
90	0.66750	0.70042
100	0.79244	0.64700
110	0.93992	0.59137
120	1.11821	0.53346
130	1.34030	0.47324
140	1.62774	0.41077
150	2.01930	0.34615

**Tablo 2.** n=3 ve  $\mathcal{E}=0.1005$  için optimum bant durdurucu filtrenin eleman değerleri

KBG (%)	$g_1=g_3$	$g_2$	$J_{1,2}=J_{2,3}$
30	0.16318	0.26768	0.97734
40	0.23016	0.38061	0.92975
50	0.37754	0.63292	0.83956
60	0.46895	0.79494	0.78565
70	0.56896	0.97488	0.73139
80	0.67986	1.17702	0.67677
90	0.80477	1.40708	0.62180
100	0.94806	1.67311	0.56648
110	1.11601	1.98667	0.51082
120	1.15215	2.06604	0.49407
130	1.37952	2.49473	0.43430
140	1.67476	3.05136	0.37349
150	2.07059	3.79862	0.31262

**Tablo 3.** n=4 ve  $\mathcal{E}=0.1005$  için optimum bant durdurucu filtrenin eleman değerleri

KBG (%)	$g_1=g_4$	$g_2=g_3$	$J_{1,2}=J_{3,4}$	$J_{2,3}$
30	0.23069	0.40393	0.93372	0.91337
40	0.31457	0.55651	0.87752	0.85157
50	0.40366	0.72118	0.82172	0.79093
60	0.49941	0.90054	0.76623	0.73145
70	0.60366	1.09802	0.71101	0.67313
80	0.71884	1.31815	0.65598	0.61597
90	0.79436	1.46655	0.62025	0.57951
100	0.99642	1.85355	0.54634	0.50503
110	1.10390	2.06672	0.50871	0.46793
120	1.37861	2.59505	0.43702	0.39831
130	1.55326	2.94111	0.39654	0.35972
140	1.97310	3.74861	0.32781	0.29526
150	2.43047	4.63442	0.27321	0.24488

Bu tablo elemanları ve belirlenen bir referans empedansı ( $Z_0$ ) ile birlikte eşitlik (7), (8), (9)'da verilen empedans değerleri bulunur (Hong and Lancaster, 2001).

$$Z_A=Z_B=Z_0 \quad (7)$$

$$Z_i=Z_0/g_i \quad (8)$$

$$Z_{i+1}=Z_0/J_{i,i+1} \quad (9)$$

## ARAŞTIRMA BULGULARI

Tasarımları yapılmış olan devrelerde substrate malzeme olarak FR4 malzemesi seçilmiştir. Bu malzemenin bağıl geçirgenlik katsayısı 4.5 kayıp tanjantı 0.022 ve H yüksekliği 1.6'dır. Bu tasarımların hepsinde merkez frekansı 2.45 GHz seçilmiştir. İletim hatları  $\lambda/4$  uzunluğundadır. Mikrodalga devre analizi yapabilen bir bilgisayar destekli tasarım aracı (ADS) kullanarak saçılma parametreleri ve merkez frekansları hesaplanmıştır. Bant genişlikleri (BG) eşitlik (10) kullanılarak yüzde olarak hesaplanmıştır.  $f_2$  ve  $f_1$  gücün yarıya düştüğü -3 dB'de ölçülen frekans değerleridir.

$$BG = \frac{f_2 - f_1}{f_0} \times 100 \quad (10)$$

3 farklı optimum bant durdurucu filtre tasarımı yapılmıştır. Bu tasarımlarda kısmi bant genişliği % 50 olarak seçilmiştir. Tasarımlarda referans empedans değeri olan  $Z_0$  50  $\Omega$  olarak seçilmiş olup eşitlik (7)'de görüldüğü gibi  $Z_A$  ve  $Z_B$  değerleri de  $Z_0$  değerine bağlı olarak 50  $\Omega$  olarak hesaplanmıştır. Her bir tasarım için analizler tablolar halinde verilmiştir.

İlk olarak n=2 olarak seçilmiş ve buna göre Tablo 1'de bulunan değerlere göre hatların empedansları eşitlik (7),(8),(9)'a göre hesaplanmıştır.

$$Z_A=Z_B=50 \Omega$$

$$Z_1=Z_2=164.55 \Omega$$

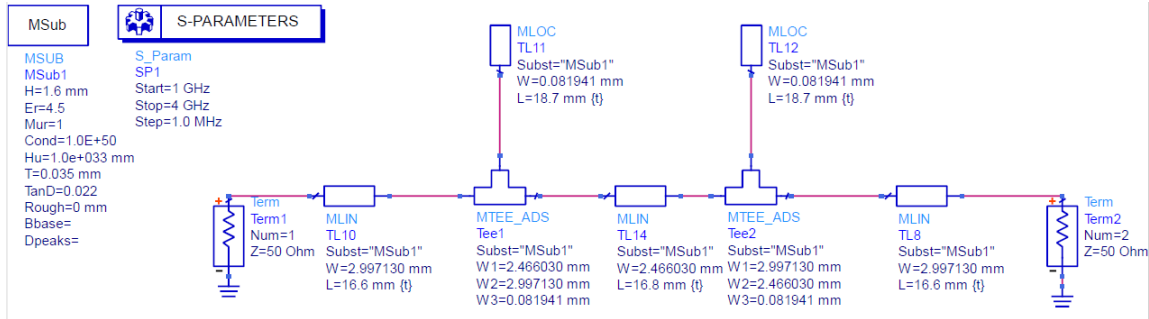
$$Z_{1,2}=55.9 \Omega$$

Bu empedanslara göre hat genişlikleri ve uzunlukları hesaplanmış ve Tablo 4'te değerler verilmiştir.

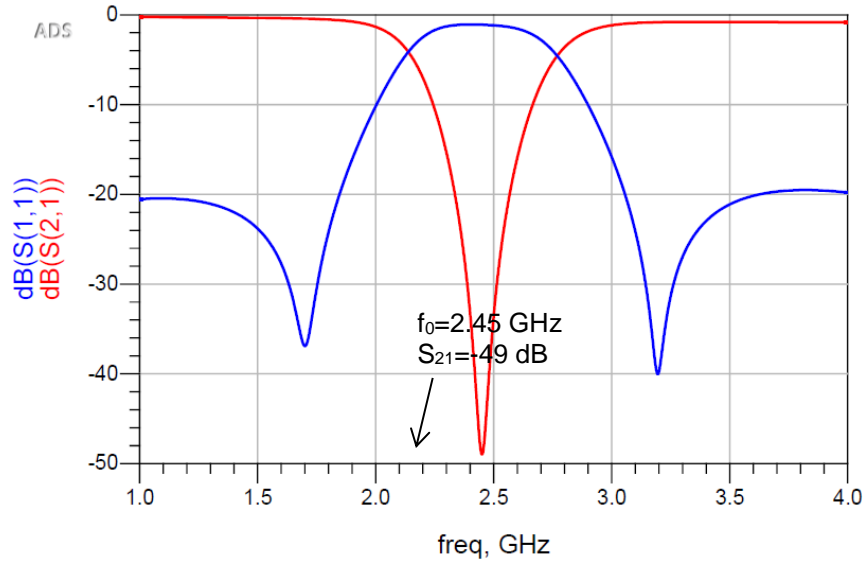
**Tablo 4.** n=2 için empedansların hat genişlik ve uzunluk değerleri

Hat/Hat- lar	W(mm)	$\Lambda_{g0}/4$ (mm)
$Z_A, Z_B$	2.99	16.6
$Z_1, Z_2$	0.081	18.7
$Z_{1,2}$	2.46	16.8

Daha sonra bu değerlere göre devre tasarlanmıştır. Devrenin şematiği Şekil 4'teki gibidir. S-parametre değeri Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Optimum bant durduran filtre tasarımı şematığı (n=2 için)



Şekil 5. Optimum bant durduran filtre  $S_{11}$  ve  $S_{21}$  değeri simülasyon sonucu (n=2 için)

Tasarımı yapılan devrede merkez frekansını 2.45 GHz'de  $S_{21}$  değeri -49 dB olarak ölçülmüştür. Tasarıma ait yüzde bant genişliği eşitlik (10)'dan yararlanılarak %29.4 olarak hesaplanmıştır.

Bir diğer tasarımda n=3 olarak seçilmiş ve buna göre Tablo 2'de bulunan değerlere göre hatların empedansları eşitlik (7),(8),(9)'a göre hesaplanmıştır.

$$Z_A = Z_B = 50 \Omega$$

$$Z_1 = Z_3 = 132.43 \Omega$$

$$Z_{1,2} = Z_{2,3} = 78.9 \Omega$$

$$Z_2 = 59.5 \Omega$$

Bu empedanslara göre hat genişlikleri ve uzunlukları hesaplanmış ve Tablo 5'te değerler verilmiştir.

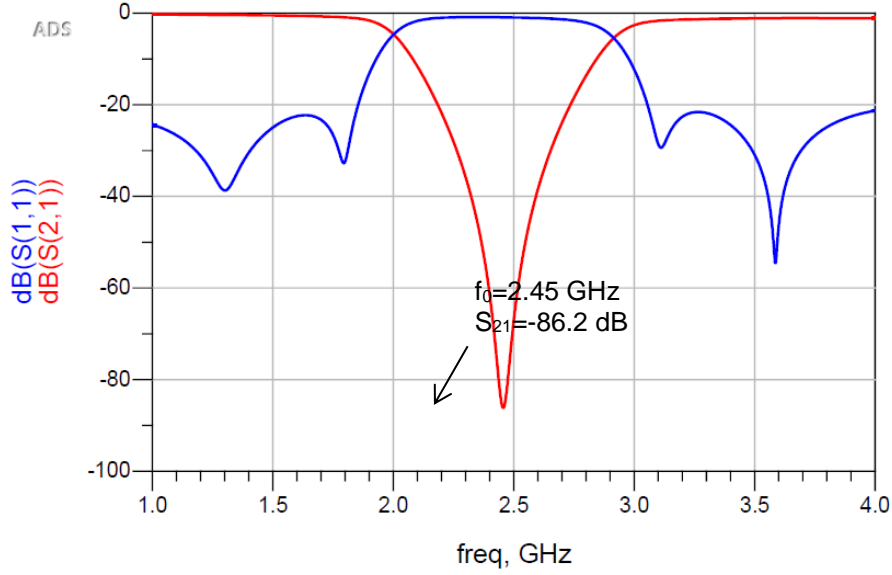
Tablo 5. n=3 için empedansların hat genişlik ve uzunluk değerleri

Hat/Hatlar	W(mm)	$\Lambda_{g0}/4$ (mm)
$Z_A, Z_B$	2.99	16.6
$Z_1, Z_3$	0.24	18.1
$Z_{1,2}, Z_{2,3}$	2.2	17
$Z_2$	1.21	17.6

Daha sonra bu değerlere göre devre tasarlanmıştır. Devrenin şematığı Şekil 6'daki gibidir. S-parametre değeri Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Optimum bant durdurucu filtre tasarımı (n=3 için)



Şekil 7. Optimum bant durdurucu filtre  $S_{11}$  ve  $S_{21}$  değeri simülasyon sonucu (n=3 için)

Tasarımı yapılan devrede merkez frekansı 2.45 GHz'de  $S_{21}$  değeri -86.2 dB olarak ölçülmüştür. Tasarıma ait yüzde bant genişliği eşitlik (10)'dan yararlanılarak %41.6 olarak hesaplanmıştır.

Son olarak tasarımda n=4 olarak seçilmiş ve buna göre Tablo 3'te bulunan değerlere göre hatların empedansları eşitlik (7),(8),(9)'a göre hesaplanmıştır.

$$Z_A=Z_B=50 \Omega$$

$$Z_1=Z_4=123.9 \Omega$$

$$Z_2=Z_3=69.3 \Omega$$

$$Z_{1,2}=Z_{3,4}=60.85 \Omega$$

$$Z_{2,3}=63.2 \Omega$$

Bu empedanslara göre hat genişlikleri ve uzunlukları hesaplanmış ve Tablo 6'da değerler verilmiştir.

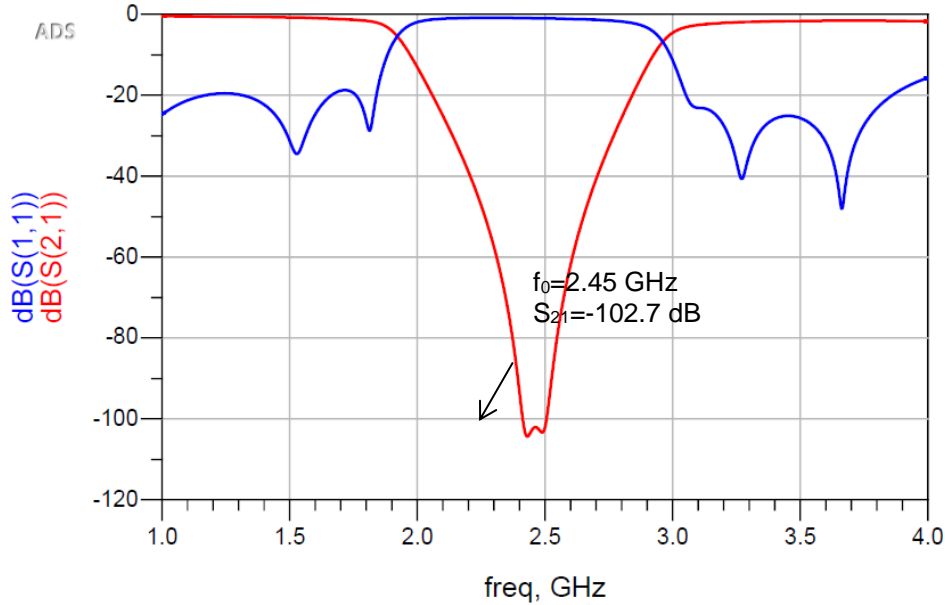
Tablo 6. n=4 için empedansların hat genişlik ve uzunluk değerleri

Hat/Hatlar	W(mm)	$\Lambda_{g0}/4$ (mm)
$Z_A, Z_B$	2.99	16.6
$Z_1, Z_4$	0.31	18.15
$Z_2, Z_3$	1.62	17.2
$Z_{1,2}, Z_{3,4}$	2.1	17
$Z_{2,3}$	1.95	17.2

Daha sonra bu değerlere göre devre tasarlanmıştır. Devrenin şematiği Şekil 8'deki gibidir. S-parametre değeri Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 8. Optimum bant durdurucu filtre tasarımı (n=4 için)

Şekil 9. Optimum bant durdurucu filtre  $S_{11}$  ve  $S_{21}$  değeri simülasyon sonucu (n=4 için)

Tasarımı yapılan devrede merkez frekansı 2.45 GHz'de  $S_{21}$  değeri -102.7 dB olarak ölçülmüştür. Tasarıma ait yüzde bant genişliği eşitlik (10)'dan yararlanılarak %48.4 olarak hesaplanmıştır.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, 2,45 GHz merkez frekansına sahip 3 farklı optimum bant durdurucu filtre tasarımı yapılmıştır. Filtre tasarımlarında en yaygın yaklaşımlardan chebyshev kullanılarak, mikroşerit bir hat üzerine eklenen açık devre saplamalar ile optimum bant durdurucu filtre tasarımları yapılmıştır. Bunlar iki, üç ve dört adet saplama sayısı ile gerçekleştirilmiştir. Tasarım yapılırken mikrodalga devre analizi yapabilen bir bilgisayar destekli tasarım aracı (ADS) kullanılarak saçılma parametreleri, merkez frekansları ve tasarıma ait uzunluk bilgilerine ulaşılmıştır. S-parametrelerinden yararlanarak tasarımlara ait yüzde bant genişlikleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bütün değerler Tablo 7'de özet olarak verilmiştir.

Tablo 7. Tasarımlara Ait Sonuçlar

	n=2	n=3	n=4
$S_{21}$ (dB)	-49	-86.2	-102.7
$S_{11}$ (dB)	-1.01	-0.96	-0.93
Bant Genişliği (%)	29.4	41.6	48.4
Uzunluk (mm)	50	69	88
$f_0$ Merkez Frekansı (GHz)	2,45	2,45	2,45

Tablo 7'de verilen tasarımlara ait sonuçlar incelendiğinde; ölçülen yüzde bant genişlikleri saplama sayısı (n) arttıkça tasarım yapılmadan önce seçilen kısmi bant genişliğine (KBG) yakınsamıştır. Tasarımlarda saplama sayısı arttıkça  $S_{21}$  araya girme kaybı (insertion loss) değerinde daha iyi sonuçlar elde edilmiş olup buna paralel olarak  $S_{11}$  geri yansımaya kaybı (return loss) 0'a yakınsamıştır. Bu sonuçlar bant durdurucu filtrelerde olması beklenen değerlerdir. Tasarımları yapılmış olan filtrelerdeki en büyük avantaj bant genişliği dahilinde araya girme kaybının ( $S_{21}$ ) ve geri yansımaya kaybının ( $S_{11}$ ) ideal'e yaklaşmasıdır. Saplama sayısı arttıkça yüzde bant genişliği



artmıştır. Fakat kullanım yeri açısından mikrodalga devre tasarımlarında devre boyutun önemli büyüktür. Saplama sayısının artması ile birlikte tasarım, mikrodalga devrelerde olması istenen kompakt boyuttan uzaklaşmıştır. Kullanılacak yere, istenilen bant genişliğine ve istenilen performansa göre tasarım parametreleri belirlenebilir.

Filtre tasarımlarında ideal filtreye en yakın tasarımın gerçekleşmesi hedeflenir. Bunun için de geliştirilmiş farklı yaklaşım metodları vardır. Bu çalışma ile chebyshev yaklaşım metodu kullanılarak optimum bant durdurucu filtre tasarımları yapılmış ve sonuçlar beklenen değerlere yakın olarak şekillenmiştir. Tasarım yapılırken mikrodalga devre analizi yapabilen bir bilgisayar destekli tasarım aracı olan ADS kullanılarak tasarım parametreleri bu program üzerinden ölçülmüştür.

### KAYNAKLAR

BalaSenthilMurugan, L., Antony Anbu Raja, S., Deeban Chakravarthy, S., Kanniyappan, N. (2012). Design and Implementation of a Microstrip Band-Stop Filter for Microwave Applications, International Conference on Modelling Optimisation and Computing, 10-11 April 2012, Kumarakoil, INDIA, 1346-1351.

- Habibi, R., Ghobadi, Ch., Nourinia, J., Ojaroudi, M., Ojaroudi, N. (2012). Very compact broad band-stop filter using periodic L-shaped stubs based on self-complementary structure for X-band application, *Electronics Letters*, 48(23):1481-1482
- Hong, J., Lancaster, M. J. (2001). *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*, John Wiley & Sons, New York.
- Hsieh, M., Wang, S. (2005). Compact and Wideband Microstrip Bandstop Filter, *IEEE Microwave And Wireless Components Letters*, Vol. 15, No. 7, 472-474
- Kusama, Y., Isozaki, R. (2019). Compact and Broadband Microstrip Band-Stop Filters with Single Rectangular Stubs. *Applied Sciences MDPI Journals*, 9(2): 248
- Liu, G., Xu, J., Liu, Z. (2017). A Narrowband Absorptive Band-Stop Filter Based on a Resistor-Loaded Compact Resonator. 2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS), 22-25 May, St. Petersburg, Russia
- Shaman, H., Hong, J. (2007). Wideband Bandstop Filter with Cross-Coupling, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 55( 8):1780-1785.
- Thede, L. (2004). *Practical Analog and Digital Filter Design*, Artech House Inc., Ohio.
- Tu, W., Chang, K., (2006). Compact Second Harmonic-Suppressed Bandstop and Bandpass Filters Using Open Stubs, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 54(6): 2497-2501
- Yang, S. (2015). A Dual-Band Bandstop Filter Having Open Stubs and Two Equivalent T-Shaped Lines. *International Journal of Electromagnetics and Applications*, 5(3): 108-111.