



GOOSE ALGORİTMASI KULLANILARAK ÇİFT BANTLI MİKROŞERİT BAĞLANTILI KOMBİNE BANT GEÇİREN FİLTRE TASARIM PROBLEMİNDE DİZİ ARALIK SEÇİMİNİN SONUÇ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Ahmet ULUSLU^{1*}, Kervendurdy ALLABERDIYEV²

¹ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Çift Bant Geçiren Filtre, Bağlantılı Hat, GOOSE algoritması, Meta Sezgisel Optimizasyon, Dizi Aralık Seçimi.</i>	Çift bantlı mikrodalga bant geçiren filtreler, çok bantlı radyo dalgası ve kablosuz uygulamalardaki talebi karşılamak için son gelişmelerde büyük ilgi görmüştür. Bu ihtiyacı karşılamak için optimizasyon yöntemlerine sıkça başvurulmaktadır. Burada karşılaşılan bir diğer büyük problem ise optimizasyonda seçilecek giriş veri setlerinin değer genişlik aralığının seçimidir. Bu makalede, 5G kablosuz iletişim sistemleri için 2,8 GHz ve 3,3 GHz için spektrum bant geçiren kompakt bir mikroşerit bant geçiren filtre (BGF) optimizasyon problemi üzerinden giriş veri seti aralığının seçiminin optimizasyon problemi üzerindeki başarısının katkısı sunulmaktadır. Yapılan çalışmada giriş parametre sayısının yüksekliğinin yanı sıra seçilen filtre modelinin çift bantlı olması optimizasyon problemini oldukça zorlaştırmaktadır. Bu nedenle algoritma olarak güncel ve oldukça başarılı bir algoritma tercih edilmiştir. Tasarım sonuçları MATLAB programı kullanılarak filtrenin S (dB) parametreleri simülasyon olarak sergilenmiştir. Ayrıca seçilen aralıkların sonuçları tablo olarak ele alındığında oldukça değişken başarılar elde edildiği görülmektedir. Buda optimizasyon problemlerinde, giriş veri setinde genişlik aralık seçimi büyük önem arz ettiğini göstermektedir.

THE EFFECT OF SERIES RANGE SELECTION ON THE RESULT IN THE DESIGN PROBLEM OF A COMBLINE BAND PASS FILTER WITH DUAL BAND MICROSTRIP CONNECTION USING THE GOOSE ALGORITHM

Keywords	Abstract
<i>Dual Bandpass Filter, Connected Line, GOOSE algorithm, Metaheuristic Optimization, Series Range Selection.</i>	Dual-band microwave bandpass filters have attracted great attention in recent developments to meet the demand in multiband radio wave and wireless applications. Optimization methods are frequently used to meet this need. Another big problem encountered here is the selection of the value width range of the input data sets to be selected in optimization. In this article, the contribution of the success of the selection of the input data set range on the optimization problem through a compact microstrip bandpass filter (BPF) optimization problem with spectrum bandpass for 2.8 GHz and 3.3 GHz for 5G wireless communication systems is presented. In the study, the high number of input parameters as well as the fact that the selected filter model is dual-band makes the optimization problem very difficult. For this reason, an up-to-date and very successful algorithm was preferred. The design results of the filter's S (dB) parameters were simulated using the MATLAB program. In addition, when the results of the selected intervals are considered as a table, it can be seen that quite variable success has been achieved. This shows that in optimization problems, width range selection in the input data set is of great importance.

Alıntı / Cite

Uluslu, A., Allaberdiyev, K., (2024). GOOSE Algoritması Kullanılarak Çift Bantlı Mikroşerit Bağlantılı Kombine Bant Geçiren Filtre Tasarım Probleminde Dizi Aralık Seçiminin Sonuç Üzerindeki Etkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(3), 557-571.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. Uluslu, 0000-0002-5580-1687
K. Allaberdiyev, 0009-0000-2685-7860

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	24.04.2024
Revizyon Tarihi / Revision Date	28.06.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	23.08.2024
Yayın Tarihi / Published Date	26.09.2024

* İlgili yazar / Corresponding author: auluslu@iuc.edu.tr, +90-212-866-3700

THE EFFECT OF SERIES RANGE SELECTION ON THE RESULT IN THE DESIGN PROBLEM OF A COMBLINE BAND PASS FILTER WITH DUAL BAND MICROSTRIP CONNECTION USING THE GOOSE ALGORITHM

Ahmet ULUSLU^{1†}, Kervendurdy ALLABERDIYEV²

¹ Istanbul University-Cerrahpaşa, Department of Electronics and Automation, Istanbul, Türkiye

² Istanbul University-Cerrahpaşa, Institute of Graduate Studies, Istanbul, Türkiye

Highlights

- In the study, the difficult optimization problem of a dual-band microwave bandpass filter, which is a challenging design and can respond to the demands in wireless applications, was used to illuminate the selection of the optimal parameter range of the input set, which is a very new and never used in this field, by using an updated metaheuristic algorithm.
- The results obtained from the design are shown as simulation of the S (dB) parameters of the filter using the MATLAB program.
- As a result of the study, a study that can be used as a reference for input parameter data input range selection in future studies, just like the objective function selection study (Uluslu, 2023), has been revealed.
- After the study, the selection of the input data set range can be determined automatically at the beginning of the algorithm with the help of Latin Hypercube and Monte Carlo sampling methods.

Graphical Abstract

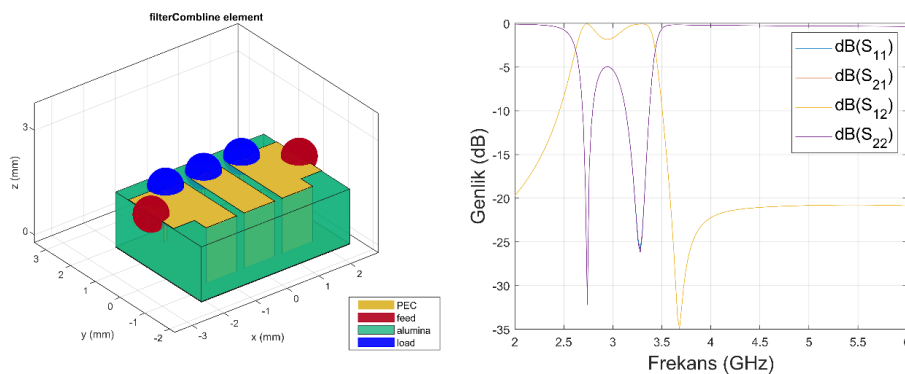


Figure. Using the GOOSE algorithm in dual bandpass combined filter design: (a) Schematic view of the filter (b) S parameter (dB) simulations [data set range (R) = 40%]

Purpose and Scope

The main purpose of this study is to shed light on the selection of the optimal parameter range of the input set, which creates a big question mark in the minds of designers in optimization problems.

Design/methodology/approach

Experiments have been made on the challenging optimization problem of a dual-band microwave bandpass filter, which is a challenging design and can meet the demands in wireless applications, using an updated metaheuristic algorithm that is very new and has never been used in this field. The results obtained are presented both as figures and tables.

Findings

As a result of the study, a study that can be used as a reference for input parameter data input range selection in future studies, just like the objective function selection study (Uluslu, 2023), has been revealed.

Research limitations/implications

The results obtained reached a value of 40% of the data set, which is neither small nor large. Therefore, the most successful results achieved remained within the limits of 20% and 50%. The results obtained from the design are shown as simulation of the S (dB) parameters of the filter using the MATLAB program.

Practical implications

After the study, the selection of the input data set range can be determined automatically at the beginning of the algorithm with the help of Latin Hypercube and Monte Carlo sampling methods.

Social Implications

Light has been shed on the selection of the optimal parameter range of the input set, which creates a big question mark in the minds of designers.

Originality

There is no similar study in the literature. In addition, the fact that the selected algorithm and filter are up-to-date supports the novelty of the study. The selected study topic is a reference for future studies.

[†] Corresponding author: auluslu@iuc.edu.tr, +90-212-866-3700

1. Giriş (Introduction)

Mikroşerit filtresi, geçiş bandı içinde istenen frekans sinyalini iletirken istenmeyen frekans sinyalini zayıflatan iki portlu bir ağıdır ve frekans tepkileri kontrol edilebilir (Pozar, 2011). Genel olarak mikrodalga filtreleri, düşük geçişli, yüksek geçişli, bant geçiren ve bant durdurucu filtreler olmak üzere dört tipik frekans karakteristiğine göre sınıflandırılabilir (Rezaei vd., 2012; Uluslu, 2021). Günümüzde mikrodalgalar, endüstriyel ve tıbbi kullanımlarda ısıtma, evsel mikrodalga fırınlarda hızlı pişirme ve çevresel uzaktan algılama için yaygın olarak kullanılmaktadır (Das & Das, 2010). Mühendisler, mikroşerit çizgileri, şerit çizgileri, koaksiyel çizgileri, yarık çizgileri, dalga kılavuzları ve mikrodalga kaynakları gibi mikrodalga destekli yapılar için yeni yöntemler geliştirmek için özel mikrodalga özelliklerinden yararlanılır. Mikrodalga bileşenleri, zayıflatıcılar, izolatörler, sirkülatörler, faz değiştiriciler, yön değiştiriciler, karıştırıcılar, faz değiştiriciler ve detektörler gibi dağıtılmış bileşenlerden oluşur ve cihazın fiziksel kapsamı boyunca voltaj veya akım fazı önemli ölçüde değişir.

Bant geçiren filtreler, frekansın belirli bir aralık içinde kalmasına izin verirken aynı zamanda bu aralık dışında kalan herhangi bir sinyali reddeder. Alçak geçiren filtreler ve yüksek geçiren filtreler, standart bir bant geçiren filtre oluşturmak için birleştirilebilir (Belen & Belen, 2023). Bununla birlikte, ISM bant filtresinin gelişmesi nedeniyle, mikroşerit çift bantlı bant geçiren filtre, çok bantlı antenler ve çok bantlı filtreler gibi ek donanıma ihtiyaç duyar (Göçen vd., 2022). Radyo frekansı enerjisinin endüstriyel, bilimsel, tıbbi, evsel veya benzeri amaçlarla yerel olarak kullanılmasını sağlamak için geliştirilen ekipmanın çalışması, ISM uygulamaları tarafından tanımlanmaktadır.

Günümüzde kablosuz iletişimdeki gelişmeler ve yeni sistemlerin ortaya çıkışı, uygun fiyatlı ve küçük çift bantlı mikrodalga filtrelerine olan talebin artmasına neden olmuştur. Çift bantlı bant geçiren filtreler yapmak için, iki farklı bant genişliğinde çalışan iki filtrenin birleştirilmesi veya bir geniş bantlı bant geçiren filtre ve bir bant durdurucu filtreden oluşan bir kademenin kullanılması gibi birçok yöntem vardır (Ragavi. vd., 2023). Sonuç olarak, mevcut filtrenin bu dezavantajlarını ele almak ve etkili bir çözüm elde etmek için, filtrenin toplam boyutunu, ağırlığını ve maliyetini azaltabilen ve ekleme kaybını azaltabilen bir mikroşerit çift bantlı bant geçiren filtreler önerilmiştir (Gomez-Garcia & Yang, 2021; B. P. Kumar & Baskar, 2022; N. Kumar & Kumar, 2015; Malki vd., 2022; Wan vd., 2023; Yang vd., 2024; Zhao vd., 2024).

ISM bandı genellikle kurallara uygun, lisanssız bir radyo frekansı spektrumudur. Bununla birlikte, ISM bandı kullanıcılarının diğer kullanıcıların müdahalesine karşı güvenli bir güvence yoktur. ISM bandı uygulamaları, radyo frekansındaki (RF) endüstriyel, bilimsel ve tıbbi ihtiyaçlar için uluslararası olarak ayrılmıştır. ISM ekipmanı aynı frekansı kullanırken elektromanyetik girişim radyo iletişimlerini kesintiye uğratar. Sonuç olarak, radyo bandı yalnızca belirli frekans bantlarıyla kullanılabilir. Yüksek hızlı kablosuz LAN'larda çalışan iki ISM frekansı olan 2,8 GHz ve 3,3 GHz bantlarında çalışacak şekilde çift bantlı bir mikroşerit bant geçiren bir filtre önerilmiş ve tasarlanmıştır. Ayrıca PCB üzerinde paralel çift mikroşerit filtrelerin imalatı daha kolaydır ve seri üretim daha ucuzdur. Kablosuz iletişimdeki son gelişmeler, RF devrelerinin çift bantlı bant geçirmesini zorunlu kılmıştır (Hong-Ming Lee vd., t.y.; Miyake vd., t.y.; Quendo vd., t.y.; Tsai & Hsue, 2004).

Çalışmada kullanılacak olan yeni bir meta sezgisel algoritma olan GOOSE algoritması kazın dinlenme ve yiyecek arama sırasındaki davranışına dayanan bir yöntemdir. Kaz tek ayak üzerinde durur ve sürüdeki diğer hayvanları korur. Genetik algoritma (GA), Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), Yusufçuk algoritması (YA) ve Uygunluğa bağlı optimize edici (UBO) ile karşılaştırmalı bir çalışma, GOOSE algoritmasını iyi bilinen 19 kıyaslama testi işleviyle karşılaştırılan bir çalışmada başarısı teyit edilmiştir (Hamad & Rashid, 2024). Ayrıca bu çalışmada 10 modern kıyaslama fonksiyonu üzerinde test edilmiş ve elde edilen sonuçlar Yusufçuk algoritması (YA), Balina optimizasyon algoritması (BOA) ve Salp sürüsü algoritması (SSA) gibi güncel üç algoritmayla karşılaştırılmıştır (Hamad & Rashid, 2024). Tüm bu elde edilen bulgular mühendislik vaka çalışmalarının sonuçları, önerilen yaklaşımın gerçek dünyada ortaya çıkan sorunlar için GOOSE algoritmasının rahatlıkla kullanılabileceğini göstermektedir.

Bu fikir doğrultusunda bu yazıda GOOSE algoritması, geliştirilmiş bir amaç fonksiyonu desteği ile mikroşerit çift bantlı filtre tasarımında başarıyla uygulanmaktadır. Bu algoritmayı kullanan tasarım süreci basittir ve en önemlisi zamandan tasarruf sağlamaktadır. Simülasyon sonuçları, algoritmanın geleneksel doğrudan optimizasyon yöntemine göre daha iyi bir filtre performansı sağlayabileceğini göstermektedir.

Özetle çalışmada öne çıkanlar:

- Çalışmada, zorlu bir tasarım olan ve kablosuz uygulamalardaki taleplere cevap verebilen çift bantlı mikrodalga bant geçiren filtrenin zor optimizasyon problemi, giriş setinin optimal parametre aralığının seçimini aydınlatmak amacıyla kullanılmıştır. Güncellenmiş bir meta-sezgisel algoritma kullanan, çok yeni ve bu alanda hiç kullanılmayan bir algoritmadır.

- Tasarımdan elde edilen sonuçlar, filtrenin S (dB) parametrelerinin MATLAB programı kullanılarak simülasyonu olarak gösterilmiştir.
- Çalışma sonucunda tıpkı amaç fonksiyonu seçimi çalışması gibi (Uluslu, 2023) gelecekteki çalışmalarda giriş parametresi veri giriş aralığı seçimi için referans olarak kullanılabilir bir çalışma ortaya çıkarılmıştır.
- Çalışmanın ardından giriş veri seti aralığının seçimi, Latin Hypercube ve Monte Carlo örnekleme yöntemleri yardımıyla algoritmanın başında otomatik olarak belirlenebilir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Literatürde yapılmış olan çalışmalarda mikroşerit hat filtreleri için firkete, tarak hattı, paralel bağlı hat, adım empedansı ve saplama empedansı gibi birçok farklı yapı ve teknikler önerilmiştir (BELEN & MAHOUTİ, 2019; Lin vd., 2007; Maharjan & Kim, 2014; Psychogiou vd., 2018; Rajendran, 2012; Saad vd., 2008; Shaman, 2012; ULUSLU, 2022; Yi-Ming Chen vd., 2007). Bir çalışmada, 2,40 GHz ila 2,48 GHz geçiş bandı için 0,5 dB dalgalanmalı bir Chebyshev mikroşerit filtresi önerilmiştir (Rajendran, 2012). Bir diğer çalışmada, yeni bir mikroşerit bağlantılı hat tekniği kullanılarak kompakt düzlemsel bant geçiren filtre (BGF) geliştirilmiştir (Shaman, 2012). Merkez frekansı yaklaşık 3,0 GHz olan bir filtre oluşturmak için çeyrek dalga boyu uzunluğunda üç paralel bağlı çizgiden oluşan iki bölüm kullanılmıştır. Başka bir yaklaşım, düşük sıcaklıkta ortak ateşlemeli seramik olarak bilinen, güvenilir elektromanyetik analiz yoluyla uygulanması daha uygun olan ve fiziksel boyutları en aza indiren filtre yapıları sağlamaktadır (Saad vd., 2008). Düzlemsel saç tokası rezonatörler, fiziksel olarak küçük bir bant geçiren filtreler kullanılmaktadır. T besleyiciler ile firkete şekli boyunca farklı bir birleştirme etkisi, firkete filtresinin yapımında kullanılmaktadır (Maharjan & Kim, 2014). RFID uygulamaları için gerekli olan simüle edilmiş 5,8 GHz merkez frekansından yaklaşık 0,2 GHz daha düşük bir frekans kullanılmaktadır. Kombine filtre tasarımı, küçük fiziksel boyutları ve düşük kayıp avantajları nedeniyle artık çok sayıda uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır (Lin vd., 2007; Yi-Ming Chen vd., 2007). Yapılan çalışmada, iki kutup ve 27,6 x 5 mm²'lik bir alan içeren yeni geliştirilmiş birleştirilmiş bant geçiren filtrenin çoklu iletim sınırları olduğu belirtilmektedir (Lin vd., 2007). 1,43 GHz merkez frekansı, 3 dB kesirli bant genişliği yaklaşık %11,51, ekleme kaybı yaklaşık 2,781 dB ve geçiş bandı dönüş kaybı yaklaşık 18,1 dB'dir. Kademeli impedanslı geliştirilmiş bir birleşik bant geçişi tasarlanmış ve açıklanmıştır (Yi-Ming Chen vd., 2007). Alt tabakaya entegre dalga kılavuzu teknolojisinde kompakt, tek katmanlı bir filtreleme güç bölücü sunulmuştur. Dağıtılmış birleştirme hattı rezonatörleri, Chebyshev filtreleme tepkisi ile bir güç bölücü oluşturmak için etkili bir şekilde uyarlanmıştır. Simülasyon ve deneysel sonuçlar iyi bir uyum içinde olan bu çalışma ile %50'lik bir boyut küçültme ile birlikte mükemmel seçicilik performansı sergilenmiştir (Farahani vd., 2021). 1,85GHz mikrodalga bant geçiş uygulamaları için Yüksek frekans yapı simülatörü (YFYS) kullanılarak dikdörtgen dalga kılavuzu boşlukları ve Çebişev yaklaşımına dayalı çok portlu bir tarak çizgisi filtresinin yeni bir geometrik boyutlandırma ve boyutlandırma ayarlama stratejisini önermektedir. Geliştirilen filtre tasarımı, diğer yeni yüksek performanslı filtre topolojilerinin tasarlanmasına olanak tanıyan uygulanan optimizasyon yönteminin doğru kullanılabilirliği nedeniyle diğer filtre prototiplerine kolayca uyarlanabilir (Damou vd., 2022). Eklemeli üretim için tasarlanan bu filtre, dikey olarak 3D yazdırılabilir bir geometri sağlamak için üçgen irisler ve boşluklar kullanılabilir (Sirci vd., 2021). Gelişmiş elektriksel tepkiye sahip dalga kılavuzu birleşik bant geçiren filtrelerin tasarlanması için çok etkili bir prosedür sunulmaktadır. Önerilen teknik, tasarım sürecini daha basit aşamalara bölerek optimize edilecek değişken sayısını azaltan bir segmentasyon stratejisine dayanmaktadır. Ayrıca, deneysel bir doğrulama olarak, simüle edilmiş ve deneysel veriler arasında iyi bir uyum gösteren simetrik filtrenin bir prototipi üretilmiştir (Jamshidi-Zarmehri vd., 2023).

Yapılan başka bir çalışmada, 2,47 – 2,68 GHz ve 5,04 – 5,29 GHz arasındaki frekanslar için çift bantlı bir mikroşerit bant geçiren filtrenin geliştirilmesini ve optimizasyonunu sunulmuştur. Filtreleme ve kablosuz iletişim alanına kısa bir girişle başlayarak, ANSYS HFSS yazılımını kullanarak sayısal modelleme incelenerek, ardından filtre parametrelerinin pratik uygulamasını ve ölçümü takip edilmiştir. Geometri, dielektrik ve bağlantıdaki değişikliklerin filtre performansını nasıl etkileyebileceğini ayrıntılarıyla anlatılmış ve simüle edilmiş verileri deneysel sonuçlarla karşılaştırarak sonuçlar sunulmuştur (Andreica vd., 2023).

Bir diğer çalışmada ise Z-domain yaklaşımı kullanılarak çift bantlı bant geçişli mikrodalga filtre tasarımı tanıtılmaktadır. Bu bildiriye önerilen tasarım tekniğinde, istenilen çift bant geçiş filtresinin analog özellikleri dijital özelliklerine dönüştürülmüştür. Dijital filtre sınırları uygun bir optimizasyon tekniği ile kaldırılmaktadır. Çift geçişli bant filtresinin istenen filtre katsayılarını elde etmek için genetik algoritma tabanlı optimizasyon tekniğini (DSP tabanlı) uygulanır. Filtre katsayıları ileri transfer saçılma matrisi (S_{21}) cinsinden hesaplanmıştır. Bu filtre katsayıları, açık devre koçanlarının, kısa devre koçanlarının ve iletim hattı bölümlerinin karakteristik empedansının uygun değerlerini verir. Teorik sonuç çift bant geçişli mikrodalga filtresi MATLAB ve HFSS Simülasyon aracında doğrulanmıştır (P. Kumar, 2015).

Bu makalede, 5G kablosuz iletişim uygulamalarına uygun, 2,8 ile 3,3 GHz frekans bandını kapsayacak şekilde MATLAB yazılım araçları kullanılarak fiziksel olarak küçük bir üçüncü dereceden mikroşerit kombi hattı BGF tasarlanmıştır. Bir dielektrik substratı kullanır. Filtre tasarımı ve performansı sonraki bölümlerde sunulmakta ve tartışılmaktadır.

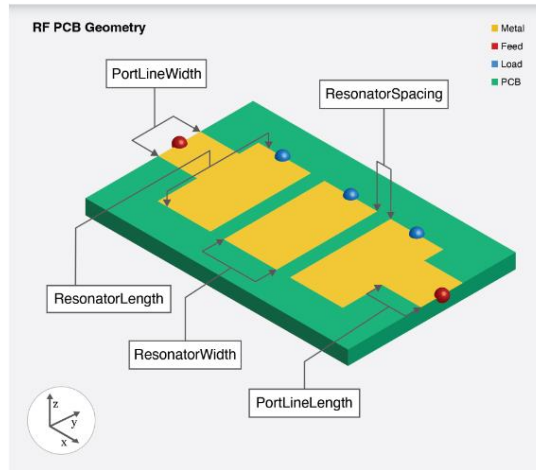
3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Matematiksel Model (Mathematical Model)

Kullanılan filtrenin tasarım temelinde, empedans ve frekans bakımından normalleştirilmiş bir Butterworth alçak geçiren filtre prototipiyle başlamaktadır. Daha sonra prototip tasarımını (BDF) istenilen frekans aralığına (BGF) dönüştürmek için dönüşümler uygulanır. Bu iki adım, toplu elemanların (kapasitörler ve indüktörler) devrelerine yol açmaktadır. Son olarak, toplu elemanları mikroşerit iletim hattına dönüştürmek için Richards dönüşümü kullanılır (Hong & Lancaster, 2001).

3.1.1. Filtre tasarımı (Filter design)

Düzlemsel filtre, her biri bir ucunda geçiş deliği topraklaması ve diğer ucunda giriş ve çıkış terminalleri için 50Ω iletim hattı empedanslarına sahip bir kapasitör ile sonlandırılan üç rezonatör kullanır. Hatlar arasındaki bağlantı, üçüncü dereceden bant geçiren Butterworth özellikleriyle merkez frekansta rezonansa girecek şekilde ayarlanır (Al-Yasir vd., 2018). Önerilen birleşik filtre, 6 tanesi değişken olmak üzere toplamda 13 farklı parametre barındırır. Bununla birlikte, MATLAB R2022B versiyonu itibarı ile kullanıma sunulan R2023B versiyonu kullanılarak simüle ve optimize edilmiştir. Filtre tasarımının şematığı ve tasarım parametreleri Şekil 1 ve Tablo 1'de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 1. Çift bantlı mikroşerit bağlantılı kombine bant geçiren filtrenin şematik görünümü (Schematic view of dual-band microstrip junction combline bandpass filter)

Tablo 1. Kombine filtre tasarımı için parametreler (Parameters for combline filter design)

Parametre	Merkez Değer	Değer Aralık	Tanım
ResonatorLength	3 (mm)	\mp %20, %30, %40, %50	Rezonatörün uzunluğu
ResonatorWidth	1,6 (mm)	\mp %20, %30, %40, %50	Rezonatörün genişliği
ResonatorSpacing	0,4 (mm)	\mp %20, %30, %40, %50	Rezonatörler arasındaki boşluk
PortLineLength	1.1 (mm)	\mp %20, %30, %40, %50	Giriş ve çıkış hatlarının uzunluğu
PortLineWidth	1,3 (mm)	\mp %20, %30, %40, %50	Giriş ve çıkış hatlarının genişliği
GroundPlaneWidth	5,0 (mm)	\mp %20, %30, %40, %50	Yer düzleminin genişliği
FilterOrder	3	Sabit	Filtre sırası
ResonatorOffset	0	Sabit	Her rezonatörün Y ofseti
FeedOffset	3,00E-01	Sabit	Giriş ve çıkış hatları için Y ofseti
Capacitor	1 pF	Sabit	Kapasitör değeri
Height	1,6 (mm)	Sabit	Kombine filtrenin zemin düzleminde yüksekliği
Substrate	dielektrik	Sabit	Dielektrik malzeme nesnesinin türü
Conductor	Metal	Sabit	Katman nesnesinin iletilmesinde kullanılan metal türü

Çift bantlı mikroşerit bağlantılı kombine bant geçiren filtre tasarım optimizasyonu Tablo 1'de verilen optimizasyon değişkenleri kullanılarak GOOSE algoritması ile yapılmıştır.

3.2. Önerilen Yöntem (Proposed Method)

Bu çalışmada, bir çift bantlı mikroşerit bağlantılı kombine bant geçiren filtre tasarımının optimizasyon problemi ile çözerken henüz çok yeni olan ve bu alanda kullanılmamış olan GOOSE algoritması kullanılarak giriş veri seti aralık seçiminin optimizasyon problemi üzerindeki etkisi ölçülecektir. Seçilen algoritma literatür taramasında bulunan çalışmada farklı problemler için diğer algoritmalar karşısında oldukça başarılı sonuçlar vermiştir (Hamad & Rashid, 2024). Giriş veri seti değer aralıkları Tablo 1'de belirtildiği gibi değişken olan 6 parametre için merkez değeri (varsayılan) baz alınarak $\pm\%20$, $\pm\%30$, $\pm\%40$ ve $\pm\%50$ olacak şekilde test edilecektir. Her bir sonuç ayrı ayrı ele alınıp elde edilen veriler sonuçlar kısmında detaylı olarak belirtilecektir. Çalışmanın en sonunda ise en düşük maliyet fonksiyonuna sahip sonuçlar tasarım sonucu olarak simüle edilerek sonuçları sunulur. Aşağıdaki alt bölümlerde GOOSE optimizasyon algoritması kısaca özetlenerek bu optimizasyonda kullanılacak olan amaç ve maliyet fonksiyonları hakkında detaylı bilgi verilecektir.

3.2.1. GOOSE algoritması (GOOSE algorithms)

GOOSE algoritması ilk olarak popülasyonu, yani X matrisini başlatır. X , bir kazın konumunu temsil eder. Popülasyon başlatıldıktan sonra, arama alanı dışına çıkan arama ajanları yani kazlar geri döndürülür. Her yineleme için her arama ajanının uygunluğu standart test fonksiyonları aracılığıyla belirlenir. Aramadaki her ajanın (X matrisindeki her satır) uygunluk değeri ölçülerek en iyi uygunluk ($BestFitness$) ve en iyi konum ($BestX$) değerlerini bulmak için diğer ajanların ($diğer satırlar$) uygunluk değerleriyle karşılaştırılır. $BestFitness$ ve $BestX$, her bir mevcut satırın uygunluğunu ($fitness_{i+1}$) bir önceki satırın uygunluğuyla ($fitness_i$) karşılaştıran işlemlerdir. Sonraki adımlarda, keşif ve kullanım aşamaları bir koşul ve rastgele bir değişken kullanılarak dengelenir. Bu değişken, yineleme sayısına göre aşamaları eşit olarak dağıtmayı amaçlamaktadır. "rnd" olarak adlandırılan rastgele değişken kullanılarak kazda keşif veya kullanım için %50 olasılık verilir. Koşullu bir ifade ile yinelemeler keşif ve kullanım arasında eşit olarak bölünür. Ayrıca, "pro", "rnd" ve "coe" gibi rastgele değerler alan başka değişkenler de vardır. "Pro", "rnd" ve "coe" değişkenlerinin değerleri 0 ile 1 arasında bulunur. "Coe" değerinin 0,17'den küçük veya eşit olup olmadığını kontrol etmek için bir koşul belirlenir; aksi takdirde, değer 0,17'ye eşitlenir. "Pro" değişkeninin işlevi, hangi denklemin çalışacağını belirlemektir. Ayrıca, kazın ayağıyla taşıdığı taşın ağırlığını temsil eden değişken de bulunur. Keşif ve kullanım aşamaları ileri kısımlarda ayrıntılı olarak tartışılacaktır (Hamad & Rashid, 2024).

3.2.1.1 Kullanım aşaması (Usage phase)

Bölüm 3.2.1'de açıklandığı gibi, grupları koruma olasılığı, kullanım aşaması için sahip olduğumuz bir ön koşuldur. Hedef kazın ayağında tuttuğu taşın ağırlığını bulmaktır. Bu ağırlığın 5 ile 25 kg arasında olduğu tahmin edilmektedir. Denklem (1) aracılığıyla, herhangi bir yineleme için taşın ağırlığını rastgele bulunur. Bu değişken, yineleme sayısını gösterir.

$$Stone_Weight_{it}=randi([5,25],1,1) \quad (1)$$

Daha sonra, Denklem (2)'de, taş düştüğünde yere ulaşması için gereken süre olan " $Time_of_Arrive_Object_{it}$ "i bulunmalıdır. Bu süre, döngüdeki her yineleme için 1 ile boyut sayısı arasında rastgele bir değerdir.

$$Time_of_Arrive_Object_{it}=rand(1, dim) \quad (2)$$

Denklem (3)'te, nesne yere çarptığında ve bir ses çıkarıp sürüdeki bireysel kaza iletildiğinde geçen süre olan " $Time_of_Arrive_Sound_{it}$ "i bulunur.

$$Time_of_Arrive_Sound_{it}=rand(1, dim) \quad (3)$$

Bir sonraki denklemden, yinelemeler boyunca sesin yayılması ve sürüdeki bireysel kaza ulaşması için gereken toplam süre keşfedilir. Denklem (4)'te gösterildiği gibi, toplam süre boyut sayısına bölünür. Gerekli ortalama süreyi elde etmek için toplam süre 2'ye bölünür. Denklem (5) adımları açıklayan kısımdır.

$$Total_time=\frac{\sum(Time_of_Arrive_Sound_{it})}{dim} \quad (4)$$

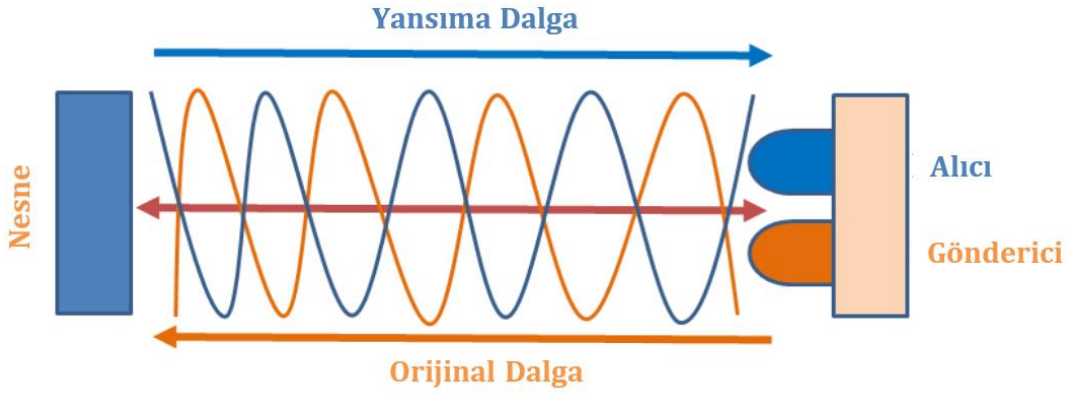
$$Total_Avarage=\frac{Total_time}{2} \quad (5)$$

Önceki bölümlerde gösterildiği gibi, kullanım ve keşif aşamalarının dağılımından sorumlu rastgele bir değişken olan "rnd" mevcuttur. "pro" değişkeninin değeri [0, 1] aralığından rastgele bir değer seçilir. "pro" değişkeninin değerinin 0,2'den büyük ve "Stone_Weight_{it}" (taş ağırlığı) değerinin 12'den büyük veya eşit olduğu varsayılır. Denklem (6)'da, "Time_of_Arrive_Object_{it}" (nesnenin yere ulaşma süresi), nesnenin 9,81 m/s²'lik ivmesine bölünen "Stone_Weight_{it}" (taş ağırlığı) değerinin karekökü ile çarpılmaktadır. Gruptaki bireyi korumak ve uyandırmak için bu denklemler çözülmelidir.

$$Free_Fall_Speed = Time_of_Arrive_Object_{it} * \frac{\sqrt{Stone_Weight_{it}}}{9,81} \quad (6)$$

Denklem (7)'de, sesin kat ettiği mesafeyi (*Distance_S_Travel_{it}*) bulmak için, havadaki ses hızı (*Speed_Sound*) ile sesin seyahat süresi (*Time_of_Arrive_Sound_{it}*) çarpılmaktadır. Havadaki ses hızı 343,2 metre/saniyedir. Şekil 2, sesin kat ettiği mesafeyi açıklamaktadır (Hamad & Rashid, 2024).

$$Distance_S_Travel_{it} = Speed_Sound * Time_of_Arrive_Sound_{it} \quad (7)$$



Şekil 2. Havadaki sesin kat ettiği mesafe (Distance traveled by sound in air)

Bu adımda, nöbetçi kaz ile dinlenen veya beslenen diğer kaz arasındaki mesafe (*Distance_Goose_{it}*) bulunur. Denklem (8)'de, sesin kat ettiği mesafeyi (*Distance_S_Travel_{it}*) 0,5 ile çarpılır çünkü sesin geri dönüş süresine değil sadece sesin gitme süresine ihtiyaç vardır.

$$Distance_Goose_{it} = 0,5 * Distance_S_Travel_{it} \quad (8)$$

Popülasyonda yeni bir X değeri belirlemek, yani sürüdeki bireyi uyandırmak için, Denklem (9)'da gösterildiği gibi bir *BestX_{it}* (en iyi konum) değeri bulunmalıdır. Bu denklem, düşen nesnenin hızını (*Free_Fall_Speed*) ile kazın mesafesinin (*Distance_Goose_{it}*) çarpımının, ortalama sürenin karesi (*TimeL_Avarage²*) ile toplamından oluşur.

$$X_{(it+1)} = Free_Fall_Speed + Distance_Goose_{it} * TimeL_Avarage^2 \quad (9)$$

Aksine, eğer hem taşın ağırlığı (*Stone_Weight_{it}*) 12'den küçük ve hem de "pro" değişkeni 0,2'den küçük veya eşitse, yeni X değerini aşağıdaki Denklem (11)'de gösterildiği gibi bulunur. Düşen bir nesnenin hızını (*Free_Fall_Speed*) elde etmek için veya nesneye ulaşmak için geçen süre (*Time_of_Arrive_Object_{it}*) ile taşın ağırlığının (*Stone_Weight_{it}*) yerçekimine bölünmesiyle çarpılır. Ayrıca, sesin kat ettiği mesafe (*Distance_S_Travel_{it}*) ve kazın mesafesini (*Distance_Goose_{it}*) belirlemek için, önceki denklemler (7) ve (8) kullanılır.

$$Free_Fall_Speed = Time_of_Arrive_Object_{it} * \frac{Stone_Weight_{it}}{9,81} \quad (10)$$

Diğer bir yöntemle, yeni bir matematiksel denklem kullanarak yeni bir X değeri bulunur. Bu denklemde, düşen nesnenin hızı, kazın mesafesi, ortalama süre ve "coe" değişkeni sırasıyla çarpılır.

$$X_{(it+1)} = Free_Fall_Speed * Distance_Goose_{it} * TimeL_Avarage^2 * Coe \quad (11)$$

Kullanım aşamasında, yeni bir X değeri bulmak için iki denklem kullanılır. Örneğin Denklem (9) ve Denklem (11). "pro" ve (*Stone_Weight_{it}*) (taş ağırlığı) değişkenlerinin değerleri, hangi denklemin kullanılacağını belirler (Hamad & Rashid, 2024).

3.2.1.2 Keşif aşaması (Exploration)

Bu aşamada, rastgele uyanma veya bireyi korumayı düzenlemek için, kazın şimdiye kadar keşfedilen en iyi konumu takip edilerek rastgele uyandırılır. Kaz ayağında taş taşımıyorsa, sürüdeki bireyler rastgele uyandırılır. Sürüdeki kazlardan biri uyandığında, sürüdeki tüm bireyleri korumak için bağırma başlar. Önceki kısımlarda bahsedildiği gibi, "rnd" değişkeninin değeri 0,5'ten küçükse, Denklem (3) ve Denklem (4) gibi denklemler uygulanır. Ayrıca, minimum sürenin (*Minimum_Time*) toplam süreden (*Total_Time*) büyük olup olmadığı kontrol edilir ve eğer büyükse, minimum süre toplam süreye eşitlenir. "alpha" değişkeninin değeri 2'den 0'a kadar değişebilir. Bu değer, döngüdeki her yinelemede önemli ölçüde azalır. Denklem (12), arama uzayında yeni bir X değerinin sonucunu iyileştirmek için kullanılır.

$$\alpha = \left(2 - \left(\frac{\text{loop}}{\frac{\text{Max_It}}{2}} \right) \right) \quad (12)$$

Burada "Max_It", yapılabilecek yineleme sayısıdır. Arama aşamasını en uygun çözüm olma olasılığı en yüksek olan çözüme doğru kaydırmak için, *Minimum_Time* ve *alpha* parametrelerini hesaplamak önemlidir. Kazın, arama uzayındaki diğer bireyleri rastgele keşfetmesini sağlamak için "randn(1, dim)" fonksiyonu kullanılır. Bununla birlikte, *Minimum_Time* ve *alpha* değişkenleri, GOOSE'un arama yeteneğini geliştirmek için kullanılır. Denklem (13)'te, minimum süre ve *alpha*, rastgele bir sayı ile çarpılır ve ardından arama uzayındaki en iyi konuma eklenir.

$$X_{(it+1)} = \text{randn}(1, \text{dim}) * (\text{Minimum_Time} * \alpha) + \text{Best_pos} \quad (13)$$

Burada "dim", problem boyutlarının sayısını ve "Best_pos", arama alanında bulduğumuz en iyi X veya en iyi konumu temsil eder.

Özetle, kaz algoritması popülasyonları rastgele oluşturarak başlar. Ardından, ilk yinelemede, sınırların dışındaki değerleri düzeltmek için sürüdeki popülasyon değerlerini gözden geçirir. Ayrıca, arama sınırları içindeki en iyi puanı ve en iyi konumu belirlemek için amaç fonksiyonlarını uygular. Kullanım ve keşif aşamalarını kontrol etmek için, rastgele seçilen değerlere sahip "rnd" adında bir rastgele değişken kullanılır. Rnd değeri 0,5'ten büyük veya eşitse, keşif aşaması etkinleştirilir. Bu koşul dahilinde, "pro" ve taşın ağırlığı "Stone_Weight" gibi iki rastgele değişken daha vardır. "Pro" 0,2'den büyük ve taşın ağırlığı 12'den büyük veya eşitse, (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8) ve (9) denklemleri uygulanır. Öte yandan, "pro" 0,2'den küçük veya eşit ve taşın ağırlığı "Stone_Weight" 12'den küçükse, (1), (2), (3), (4), (5), (7), (8), (10) ve (11) denklemler uygulanır. Rnd'nin 0,5'ten küçük olduğu bir senaryoda ise keşif aşaması başlatılır. Bunu göstermek için, "Time_of_Arrive_Sound", "Total_Time" ve "alpha" değişkenleri kullanılır. Bu durumda, (3), (4), (12) ve (13) denklemleri sırayla uygulanır. Ayrıca, bu algorithma arama uzayında yeni bir X bulmak için üç yöntem uyarlanmıştır. Kullanım aşamasında, örneğin Denklem (9) ve Denklem (11) gibi iki denklem kullanılır. Ancak, keşif aşamasında yeni bir X tespit etmek için sadece Denklem (13) kullanılır (Hamad & Rashid, 2024).

3.2.2. Amaç ve maliyet fonksiyonları (Objective and cost functions)

Filtrenin tasarımında kullanılan amaç fonksiyonları için, belirtilen frekans (*f*) değerindeki saçılma parametrelerinden S_{11} (dB) ve S_{21} (dB) referans noktaları olarak belirlenerek optimizasyon işlemi yapılmıştır. Bu belirlenen değerlere göre amaç fonksiyonlar şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\text{Eğer } f < f_{kesimalt} \text{ ve } f > f_{kesimüst} \text{ ise } AF_1 = |S_{11}dB|^2 + \left(\frac{1}{|S_{21}dB|}\right)^2 \quad (14)$$

$$\text{Eğer } f > f_{kesimalt} \text{ ve } f < f_{kesimüst} \text{ ise } AF_1 = |S_{21}dB|^2 + \left(\frac{1}{|S_{11}dB|}\right)^2 \quad (15)$$

burada *f* (GHz) mevcut hesaplanan frekans değerimi ve $f_{kesimalt}$, $f_{kesimüst}$ (GHz) ise filtrenin kesim veya iletim yapacağı rezonans frekansını belirtmektedir. Amaç fonksiyonları filtrenin geçiren kısımlarında S_{11} 'in (dB) maksimum ve S_{21} 'in (dB) ise minimum olacak şekilde dizayn edilmiştir. Benzer bir şekilde filtrenin durduran kısımlarında S_{11} 'in (dB) minimum ve S_{21} 'in (dB) ise maksimum olacak şekilde dizayn edilmiştir. Kullanılan algoritma tek amaçlı olduğundan dolayı maliyet fonksiyonu ise 2 GHz – 6 GHz aralığında 0,1 basamak adımları ile her iki amaç fonksiyonun (14)-(15) toplanması sonucu oluşturulur.

Bu belirlenen değerlere göre maliyet fonksiyonu (16) şu şekilde tanımlanmıştır:

$$Maliyet = \sum_{f=2.0}^{f=6.0} AF_1 + AF_2 \quad (16)$$

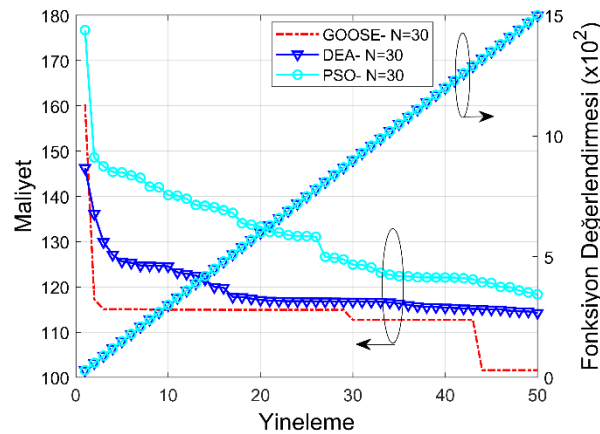
2,8 GHz ve 3,3 GHz kesim frekansları önceden tanımlanmış olup, iletim bant genişliği her bir kesim frekansına $\pm 0,1$ GHz gelecek şekilde toplamda 0,2 GHz olarak belirlenmiştir. Optimizasyon algoritmaları rastgele başlayan süreçler olduğundan ve dolayısı ile her çalışmada farklı performanslar sergileyebilecek olduklarından dolayı belirlenen amaç fonksiyonlarının toplanması sonucu elde edilen hedef fonksiyonu ile 10 çalıştırma üzerinden alınan minimum maliyet (16) ile sonuç belirlenmeye çalışılmıştır. Ek olarak kullanılan amaç fonksiyonları literatürde başarısını ispatlamış bir çalışmada (Uluslu, 2023) en başarılı olan seçilerek yapılmıştır. Yapılan tüm optimizasyon süreçleri için karar değişkenleri sırasıyla saçılma parametreleri S_{11} (dB) ve S_{21} (dB) dir. Bant geçiren filtrenin performans kriterleri Tablo 2'de detaylı sergilenmiştir.

Tablo 2. Çift bant geçiren filtrenin performans kriterleri (Performance criteria of dual bandpass filter)

	İletim Bandı		Durdurma Bandı		
Frekans (GHz)	2,7 - 2,9	3,2 - 3,4	0 - 2,7	2,9 - 3,2	3,4 - ∞
S_{11} (dB)	$f < -10$		$f = 0$		
S_{21} (dB)	$f = 0$		$f < -10$		

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Ana çalışmaya başlamadan önce seçilen algoritmanın yaygın kullanılan Diferansiyel evrim algoritması (DEA) ve Parçacık sürü optimizasyonu algoritması (PSO) ile performans karşılaştırması yapılmış ve sonuçlar Şekil 3'te verilmiştir. Burada maksimum iterasyon 50 ve popülasyon ise 30 olarak seçilmiştir. Şekilde de görüleceği üzere önerilen algoritma diğer rakipleri karşısında daha başarılı olmuştur. Ana çalışma kısmı 3 ana kısımdan oluşmaktadır. Öncelikle belirlenen tasarım için kullanılacak filtre optimizasyonunda kullanılacak olan algoritma için varsayılan parametreler yerine ideal parametrelerin seçimi ile başlayacaktır. Bir sonraki kısımda seçilen bu parametreler ile belirlenen matematiksel modelden uyarlanmış olan özgün amaç fonksiyonu kullanılarak çalışmanın temelini oluşturan giriş veri seri aralıkları değiştirilerek bu durumun optimizasyonun başarısı üzerindeki değişimi sergilenecektir. En son kısımda ise en başarılı sonuçlar için 3D EM simülasyonu ile sonuçlar sergilenecektir. Çalışmada kullanılan yöntemler skolastik olması dolayısı her bir optimizasyon için kod 10 farklı çalışmadan seçilen en iyi performans dikkate alınmıştır. Ayrıca tüm süreçler eşit koşullar altında ve sırası ile gerçekleştirilmiştir.

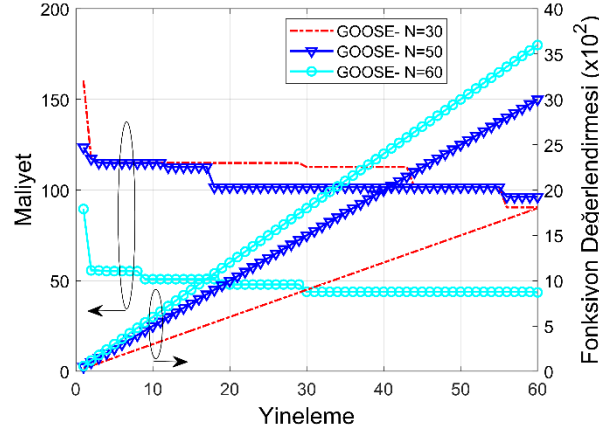


Şekil 3. Kombine filtre tasarımında farklı algoritmalar için 10 çalışmadan seçilen optimizasyonun en iyi performansının yinelemeli tipik maliyet ve FD varyasyonları (Typical iterative cost and FE variations of the best performance of optimization selected from 10 studies for different algorithms in combined filter design)

4.1. GOOSE Algoritması için İdeal Parametre Seçimi (Ideal Parameter Selection for the GOOSE Algorithm)

Meta sezgisel algoritmalarda popülasyon çeşitliliği, optimizasyon başarısını derinden etkinliği için kritik öneme sahiptir. Popülasyon tabanlı bir algoritma olduğu varsayılan bir algoritmadır. Meta sezgisel algoritmalar genellikle doğru en iyi sonuçları bulmamızı engeller çünkü yalnızca tek bir çözüme yakınsamaya yatkındırlar. Tüm bu nedenlerle, popülasyon boyutunu doğru seçmek çok önemlidir. Popülasyon büyüklüğünün yüksek seçilmesi hem çözüm sürecini uzatacak hem de kaynakları israf edecektir. Bununla birlikte, daha düşük seçimler, yerel optimuma takılma ve küresel optimumun bulunamaması sonucunu doğurur (Uluslu, 2022). Sonuç olarak, üç farklı değer için

en iyi popülasyon parametresini bulmak için işlem tamamlandı. Performans karşılaştırmaları, önceki bölümlerde detaylandırılan amaç fonksiyon çifti AF_1 - AF_2 (14, 15) kullanarak Maliyet (16) fonksiyonu üzerinden gerçekleştirildi. Optimizasyon algoritmaları rastgele başlatılmış koşullara ve sürece dayalı olduğundan, algoritma kodu, sabit maksimum yineleme ve farklı popülasyon parametreleri için diğer optimizasyon sorunlarında olduğu gibi on kere koşturulmuştur. Şekil 4'de bulunan sonuçlar, on farklı çalışmadan en iyi performansın maliyet-fonksiyon değerlendirme numarası/yineleme varyasyonları olarak gösterilmiştir. Tablo 3'de ayrıca Şekil 4'de gösterilen maliyet ve fonksiyon değerlendirme numarası değişimleri de gösterilmektedir. Bu çalışma için elde edilen sonuçlar, optimum popülasyon (N) değerinin 60 olduğunu göstermektedir, bu da en uygun maliyetli sonucu sağlar.



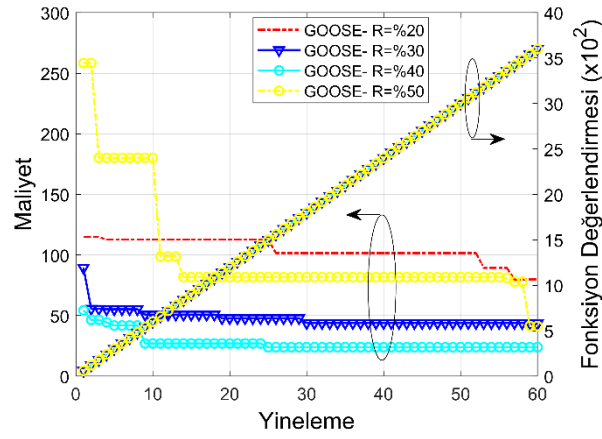
Şekil 4. Kombine filtre tasarımında GOOSE algoritması için popülasyona göre 10 çalışmadan seçilen optimizasyonun en iyi performansının yinelemeli tipik maliyet ve FD varyasyonları (Typical iterative cost and FE variations of the best performance of the optimization selected from 10 studies by population for the GOOSE algorithm in combined filter design)

Tablo 3. Kombine filtre tasarımında GOOSE algoritması için popülasyona göre optimizasyonun performans değerlendirmeleri (Performance evaluations of population-based optimization for the GOOSE algorithm in combined filter design)

Popülasyon		Ortalama	Maksimum	Minimum
30	Maliyet	110,52	160,39	90,43
	FDN	1800	30	1680
50	Maliyet	104,91	123,52	96,28
	FDN	3000	50	2800
60	Maliyet	47,89	89,57	43,57
	FDN	3600	60	3600

4.2. İdeal Veri Seti Giriş Aralığı Seçimi (Selection of the Ideal Data Set Input Range)

Tıpkı algoritma parametre seçimi gibi bir başka derin önemli konuda giriş veri setlerinin değer genişlik aralıklarının seçimidir. Giriş veri seti aralığı sonuçları doğrudan etkiler. Veri seti aralığının küçük seçilmesi olası daha iyi sonuçları kaçırmamızı sağlarken, çok geniş seçilmesi ise aralardaki iyi sonuçları atlamamıza neden olabilir. Aralıkların dar seçilmesi veya geniş seçiminin optimizasyon problemi üzerindeki etkisi görmek açısından burada 6 farklı giriş parametresi için verilen merkez değerden belirlenen 4 farklı yüzde (%20, %30, %40 ve %50) için sonuçlar sergilenecektir. Sonuç olarak, dört farklı yüzde değerinde en optimum maliyeti bulmak için işlem tamamlandı. Performans karşılaştırmaları, tıpkı bir önceki kısımdaki gibi amaç fonksiyon çifti AF_1 - AF_2 (14, 15) kullanarak Maliyet (16) fonksiyonu üzerinden gerçekleştirildi. Algoritma kodu, sabit maksimum yineleme ve sabit popülasyon parametreleri için diğer optimizasyon sorunlarında olduğu gibi on kere koşturulmuştur. Şekil 5'de bulunan sonuçlar, on farklı çalışmadan en iyi performansın maliyet-fonksiyon değerlendirme numarası/yineleme varyasyonları olarak gösterilmiştir. Tablo 4'de ayrıca Şekil 5'de gösterilen maliyet ve fonksiyon değerlendirme numarası değişimleri de gösterilmektedir. Bu çalışma için elde edilen sonuçlar, en optimum değer aralığının %40 olduğunu göstermektedir, bu da bize en uygun maliyetli sonucu sağlar.



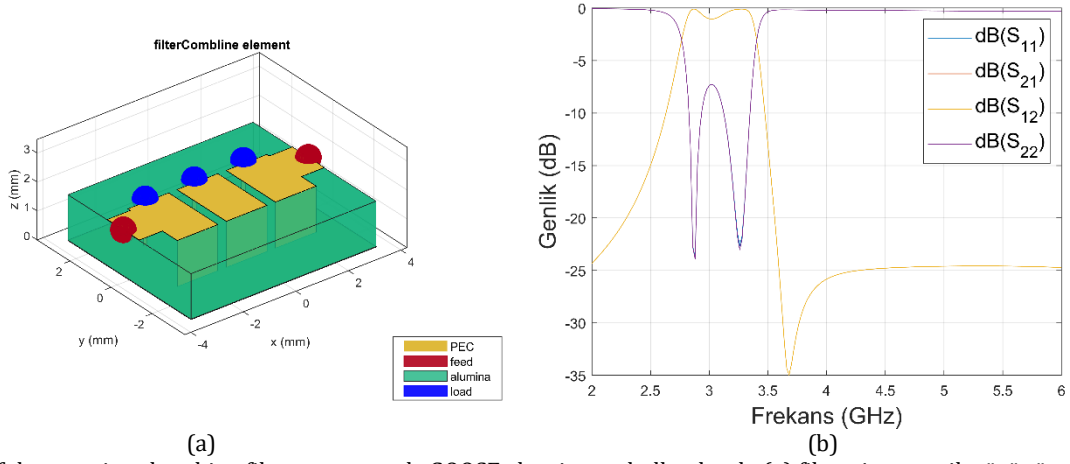
Şekil 5. Kombine filtre tasarımında GOOSE algoritması için veri seti aralıklarına göre 10 çalışmadan seçilen optimizasyonun en iyi performansının yinelemeli tipik maliyet ve FD varyasyonları (Iterative typical cost and FE variations of the best performance of the optimization selected from 10 studies according to data set ranges for the GOOSE algorithm in combined filter design)

Tablo 4. Kombine filtre tasarımında GOOSE algoritması için veri seti aralıklarına göre optimizasyonun performans değerlendirmeleri (Performance evaluations of optimization according to data set ranges for the GOOSE algorithm in combined filter design)

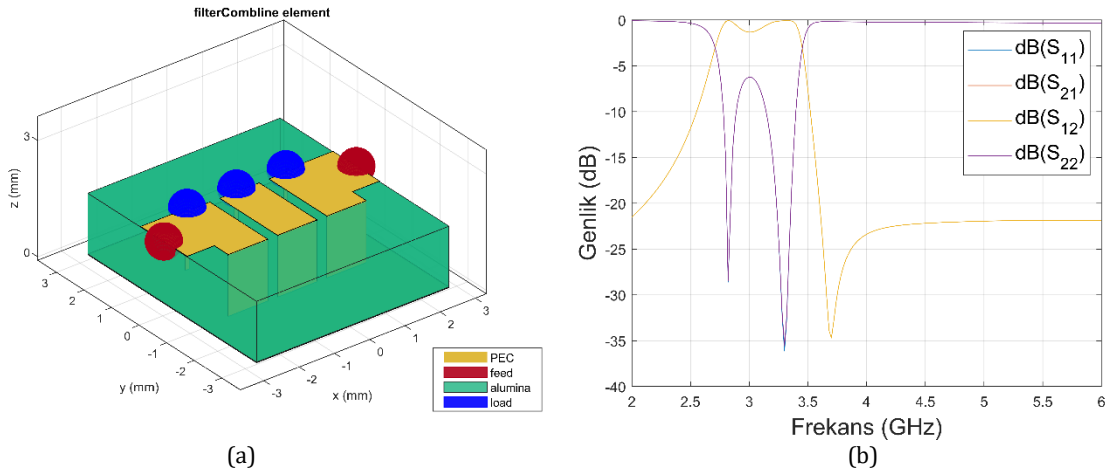
Aralık		Ortalama	Maksimum	Minimum
%20	Maliyet	104,09	114,97	79,91
	FDN	3600	60	3420
%30	Maliyet	47,89	89,57	43,57
	FDN	3600	60	3600
%40	Maliyet	27,57	54,40	23,94
	FDN	3600	60	1500
%50	Maliyet	100,12	258,41	41,40
	FDN	3600	60	3540

4.3. En Başarılı Sonuçlar için S Parametrelerinin Simülasyonu (Simulation of S Parameters for Best Results)

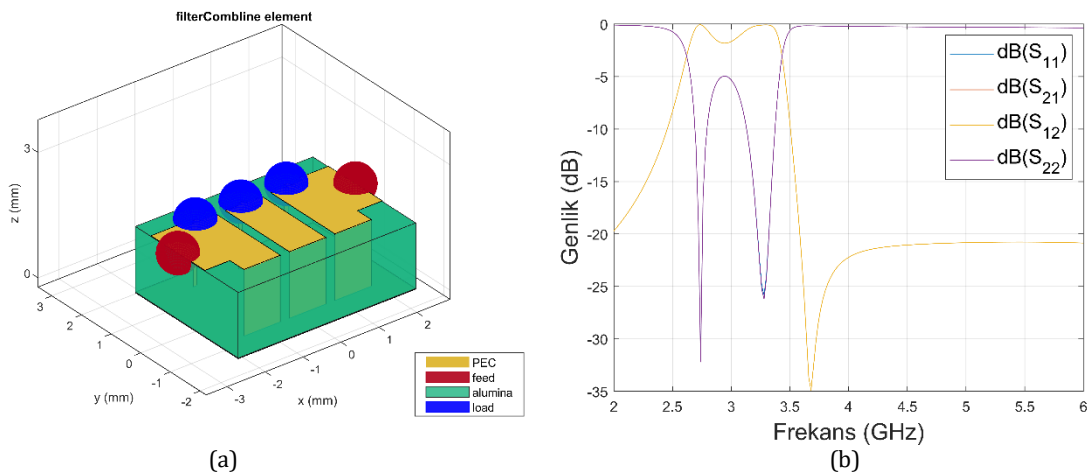
Şu ana kadar en optimum sonuçlara ulaşabilmek için MATLAB programında bulunan filtre araç kutusu yardımı ile farklı parametre ve veri seti giriş aralıkları kullanarak çeşitli denemeler yapılmış ve bunlara ait maliyet ve fonksiyon değerlendirme numaraları ortalama, maksimum ve minimum olarak sunulmuştur. Bu kısımda Tablo 4'de sunulan 4 farklı aralık için minimum maliyete sahip sonuçlara ait filtrenin şematik görüntüsü ve S (dB) parametreleri 2 GHz ile 6 GHz arasında olacak şekilde değişimi tipik genlik-frekans olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlar %20, %30, %40 ve %50 veri giriş aralığına sahip olacak şekilde sırası ile Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9 da sunulmuştur. Şekil 6a'da filtrenin şematik görünümü yer almaktadır. Şekil 6b'de ise şekil 6a'da şematığı verilen filtrenin tipik genlik frekans değişimi sergilenmiştir. Filtreler S_{11} -10 dB ve altı geçirgenlik gösterdiğinden istenilen bant aralığında çalıştığı görülmektedir. Şekil 7a'da ise %30 veri giriş aralığına sahip optimizasyondan elde edilen en başarılı sonuç için filtrenin şematik görünümü gösterilmektedir. Şekil 7b'de ise Şekil 7a'daki şematığa sahip filtre için genlik frekans değişimi gösterilmiştir. Şekil 7b'de S_{11} parametresi bir önceki şekle göre daha derinlere indiği gözlenmektedir. Akabinde %40 veri girişinden elde edilen en başarılı sonuç Şekil 8a'da ve %50 veri giriş aralığına sahip filtre şematığı ise Şekil 9a'da gösterilmiştir. Bu şematıklara ait genlik frekans değişimleri ise sırası ile Şekil 8b ve Şekil 9b de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlardan Şekil 8b tıpkı maliyet fonksiyonuna paralel biçimde en dengeli ve en derin S (dB) parametre grafiği ile en başarılı sonuca sahip olduğu görülmektedir.



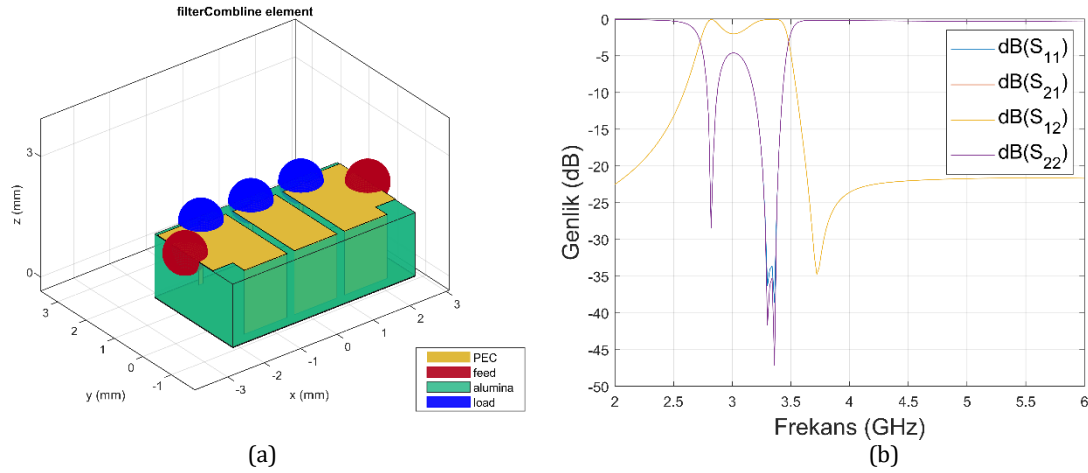
Şekil 6. Çift bant geçiren kombine filtre tasarımında GOOSE algoritması kullanılarak: (a) filtrenin şematik görünümü (b) S (dB) parametre simülasyonları [veri seti aralığı (R) = %20] (Using the GOOSE algorithm in dual bandpass combined filter design: (a) Schematic view of the filter (b) S (dB) parameter simulations [data set range (R) = 20%])



Şekil 7. Çift bant geçiren kombine filtre tasarımında GOOSE algoritması kullanılarak: (a) filtrenin şematik görünümü (b) S (dB) parametre simülasyonları [veri seti aralığı (R) = %30] (Using the GOOSE algorithm in dual bandpass combined filter design: (a) Schematic view of the filter (b) S (dB) parameter simulations [data set range (R) = 30%])



Şekil 8. Çift bant geçiren kombine filtre tasarımında GOOSE algoritması kullanılarak: (a) filtrenin şematik görünümü (b) S (dB) parametre simülasyonları [veri seti aralığı (R) = %40] (Using the GOOSE algorithm in dual bandpass combined filter design: (a) Schematic view of the filter (b) S (dB) parameter simulations [data set range (R) = 40%])



Şekil 9. Çift bant geçiren kombine filtre tasarımında GOOSE algoritması kullanılarak: (a) filtrenin şematik görünümü (b) S (dB) parametre simülasyonları [veri seti aralığı (R) = %50] (Using the GOOSE algorithm in dual bandpass combined filter design: (a) Schematic view of the filter (b) S (dB) parameter simulations [data set range (R) = 50%])

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Yapılan çalışmada, zorlu bir tasarım olan ve kablosuz uygulamalardaki taleplere yanıt verebilecek çift bantlı bir mikrodalga bant geçiren filtrenin zorlu optimizasyon probleminde henüz çok yeni ve bu alanda hiç kullanılmamış güncel bir meta sezgisel algoritma kullanılarak tasarımcıların aklında büyük soru işareti oluşturan giriş seti optimal parametre aralık genişliği seçimine ışık tutulmuştur. Bu kapsamda algoritmanın optimum parametreleri tespit edilmiş ve daha sonra bu parametreler üzerinden denemeler yapılmıştır. Optimizasyonda kullanılan amaç fonksiyonları literatürde başarısını ispatlamış bir çalışmada (Uluslu, 2023) en başarılı olan seçilerek yapılmıştır. Problemin çift bantlı olması optimizasyonu bir üst seviyeye taşımıştır. Elde edilen sonuçlar veri setinin ne küçük nede büyük sayılabilecek bir oran olan %40'lık bir değere ulaştırmıştır. Tasarım elde edilen sonuçlar MATLAB programı kullanılarak filtrenin S (dB) parametreleri simülasyonu olarak gösterilmiştir. Ayrıca seçilen aralıkların sonuçları tablo olarak ele alındığında oldukça değişken başarılar elde edildiği görülmektedir. Yapılan çalışma neticesinde tıpkı amaç fonksiyonu seçimi çalışmasında (Uluslu, 2023) olduğu gibi bundan sonraki çalışmalarda giriş parametre veri girişi seçimine referans gösterilebilecek bir çalışma ortaya çıkarılmıştır. Çalışmanın bir sonrasında giriş veri seti aralığının seçiminin Latin Hiperküp ve Monte Carlo örnekleme yöntemleri yardımı ile algoritmanın başında otomatik olarak tespiti çalışması yapılabilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Al-Yasir, Y., Abd-Alhameed, R. A., Noras, J. M., Abdulkhaleq, A. M., & Parchin, N. O. (2018). Design of Very Compact Comblined Band-Pass Filter for 5G Applications. Loughborough Antennas & Propagation Conference 2018 (LAPC 2018), 61 (4 pp.)-61 (4 pp.). <https://doi.org/10.1049/cp.2018.1482>
- Andreica, S., Munteanu, C., Gliga, M., Giurgiuman, A., Pacurar, C., & Contantinescu, C. (2023). Development and Optimization of a Broadside-Coupled Dual-Band Microstrip Bandpass Filter for Wireless Communication Systems. 2023 10th International Conference on Modern Power Systems (MPS), 1-4. <https://doi.org/10.1109/MPS58874.2023.10187504>
- Belen, A., & Belen, M. A. (2023). Data-driven modeling of band-pass filter for sub-5G applications. Microwave and Optical Technology Letters, 65(8), 2210-2216. <https://doi.org/10.1002/mop.33704>
- Belen, M. A., & Mahouti, P. (2019). 2.4ghz Akıllı Haberleşme Sistemleri İçin Sarmal Şekilli Frekans Seçici Yüzey Tasarımı. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(2), 381-385. <https://doi.org/10.21923/jesd.468281>
- Damou, M., Chetoui, M., Gouni, S., Boudkhil, A., Bouhmid, R., & Bouras, B. (2022). Optimization of Multi-Ports Comblined Filter Using Admittance Extraction Technique. 2022 International Conference of Advanced Technology in Electronic and Electrical Engineering (ICATEEE), 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICATEEE57445.2022.10093720>
- Das, A., & Das, S. K. (2010). Microwave Engineering. Tata McGraw Hill Education Private Limited.
- Farahani, H. S., Rezaee, B., & Bosch, W. (2021). Compact Filtering Power Divider with Distributed Comblined Coupled-Resonators. 2021 IEEE MTT-S International Microwave Filter Workshop (IMFW), 85-87. <https://doi.org/10.1109/IMFW49589.2021.9642331>
- Gomez-Garcia, R., & Yang, L. (2021). Spurious-Free Signal-Interference Dual-Band Bandpass Filters. 2021 IEEE MTT-S International Wireless Symposium (IWS), 1-3. <https://doi.org/10.1109/IWS52775.2021.9499377>

- Göçen, C., Akdag, I., Belen, M. A., Mahouti, P., Kaya, A., & Palandöken, M. (2022). ISM 2.4 GHz Band Antenna Model for RF Energy Harvesting Systems. *European Journal of Science and Technology*. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1202107>
- Hamad, R. K., & Rashid, T. A. (2024). GOOSE algorithm: a powerful optimization tool for real-world engineering challenges and beyond. *Evolving Systems*. <https://doi.org/10.1007/s12530-023-09553-6>
- Hong, J., & Lancaster, M. J. (2001). *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/0471221619>
- Hong-Ming Lee, Chung-Rung Chen, Chin-Chuan Tsai, & Chih-Ming Tsai. (t.y.). Dual-band coupling and feed structure for microstrip filter design. 2004 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (IEEE Cat. No.04CH37535), 1971-1974. <https://doi.org/10.1109/MWSYM.2004.1338997>
- Jamshidi-Zarmehri, H., San-Blas, Á. A., Neshati, M. H., Cogollos, S., Sharma, A., Boria, V. E., & Coves, Á. (2023). Efficient Design Procedure for Comblin Bandpass Filters With Advanced Electrical Responses. *IEEE Access*, 11, 52168-52184. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3278791>
- Kumar, B. P., & Baskar, R. (2022). Design of Dual Band Bandpass Filter for Reduced Insertion Loss and Comparison with Ultra Wide Band Filter. 2022 2nd International Conference on Technological Advancements in Computational Sciences (ICTACS), 38-41. <https://doi.org/10.1109/ICTACS56270.2022.9988240>
- Kumar, N., & Kumar, M. (2015). Dual-band bandpass filter for WLAN application using coupled three-line microstrip structure. 2015 2nd International Conference on Electronics and Communication Systems (ICECS), 868-870. <https://doi.org/10.1109/ECS.2015.7125038>
- Kumar, P. (2015). Design of dual-band band pass filter using transmission line sections. 2015 Annual IEEE India Conference (INDICON), 1-4. <https://doi.org/10.1109/INDICON.2015.7443421>
- Lin, S.-C., Wang, C.-H., Chen, Y.-W., & Chen, C. H. (2007). Improved Comblin Bandpass Filter with Multiple Transmission Zeros. 2007 Asia-Pacific Microwave Conference, 1-4. <https://doi.org/10.1109/APMC.2007.4554864>
- Maharjan, R. K., & Kim, N.-Y. (2014). Microstrip Bandpass Filters Using Window Hairpin Resonator and T-Feeder Coupling Lines. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(5), 3989-3997. <https://doi.org/10.1007/s13369-014-0997-7>
- Malki, M., Yang, L., & Gomez-Garcia, R. (2022). Input-Reflectionless Two-Branch Channelized Passive Dual-Band Bandpass Filters. 2022 52nd European Microwave Conference (EuMC), 325-328. <https://doi.org/10.23919/EuMC54642.2022.9924315>
- Miyake, H., Kitazawa, S., Ishizaki, T., Yamada, T., & Nagatomi, Y. (t.y.). A miniaturized monolithic dual band filter using ceramic lamination technique for dual mode portable telephones. 1997 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, 789-792. <https://doi.org/10.1109/MWSYM.1997.602908>
- Pozar, D. M. (2011). *Microwave Engineering* (4th.). John Wiley & Sons.,
- Psychogiou, D., Gomez-Garcia, R., & Peroulis, D. (2018). RF Wide-Band Bandpass Filter With Dynamic In-Band Multi-Interference Suppression Capability. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 65(7), 898-902. <https://doi.org/10.1109/TCSII.2017.2726145>
- Quendo, C., Rius, E., & Person, C. (t.y.). An original topology of dual-band filter with transmission zeros. IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, 2003, 1093-1096. <https://doi.org/10.1109/MWSYM.2003.1212559>
- Ragavi, B., Sharmila, S., Dharani, J., & Deepthika, K. (2023). Design of Dielectric coupled Line Resonator with Defector Ground Structure for Microwave frequency with Double Band Pass filter. 2023 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI), 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICCCI56745.2023.10128197>
- Rajendran, J. (2012). Design and Optimization of Band Pass Filter for SoftwareDefined Radio Telescope. *International Journal of Information and Electronics Engineering*. <https://doi.org/10.7763/IJIEE.2012.V2.180>
- Rezaei, B., Pooyan, M., & Ershadi, T. Z. (2012). Using Microstrip Elements in Dual-band Bandpass Filter with Parallel Coupled-Lines and Space Mapping Technique. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:55592881>
- Saad, M. R., Ambak, Z., Alias, R., Ibrahim, A., Shapee, S. M., Yusoff, M. Z. M., Yahya, M. R., & Mat, A. F. A. (2008). Designing 5GHz microstrip coupled line bandpass filter using LTCC technology. 2008 International Conference on Electronic Design, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICED.2008.4786774>
- Shaman, H. N. (2012). New S-Band Bandpass Filter (BPF) With Wideband Passband for Wireless Communication Systems. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 22(5), 242-244. <https://doi.org/10.1109/LMWC.2012.2190269>
- Sirci, S., Menargues, E., & Berry, S. (2021). Triangular Comblin Filters Conceived for Additive Manufacturing. 2021 IEEE MTT-S International Microwave Filter Workshop (IMFW), 151-154. <https://doi.org/10.1109/IMFW49589.2021.9642360>
- Tsai, L.-C., & Hsue, C.-W. (2004). Dual-Band Bandpass Filters Using Equal-Length Coupled-Serial-Shunted Lines and Transform Technique. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 52(4), 1111-1117. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2004.825680>
- Uluslu, A. (2021). Design of Microstrip Filter by Modeling with Reduced Data. *The Applied Computational Electromagnetics Society Journal (ACES)*. <https://doi.org/10.13052/2021.ACES.J.361109>
- Uluslu, A. (2022). Chameleon Swarm Algorithm Assisted Optimization of U-Slot Patch Antenna for Quad-Band Applications. *IEEE Access*, 10, 74152-74163. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3190378>
- Uluslu, A. (2022). Çok Amaçlı Evrimsel Algoritmalar İle Filtre Tasarımı. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(1), 201-216. <https://doi.org/10.21923/jesd.935175>
- Uluslu, A. (2023). Fitting nonlinear mathematical models to the cost function of the quadrafilar helix antenna optimization problem. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 115(3), 307-318. <https://doi.org/10.1007/s10470-023-02174-8>
- Wan, Y., Zhou, J., Rao, Y., Xie, J., Li, Q., & Luo, X. (2023). Independently Tunable Compact Dual-Band Bandpass Filter With High Selectivity and Wide Stopband Using Multilayer Folded Dual-Mode SIDGS Resonator. 2023 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium - IMS 2023, 827-830. <https://doi.org/10.1109/IMS37964.2023.10187986>

- Yang, L., Malki, M., & Gómez-García, R. (2024). Multilayer Dual-Band Bandpass Filter Using Microstrip-to-Slotline Transitions and Transversal Signal-Interference Microstrip Lines. 2024 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS), 79-82. <https://doi.org/10.1109/RWS56914.2024.10438619>
- Yi-Ming Chen, Sheng-Fuh Chang, Chia-Chan Chang, & Tin-Jae Hung. (2007). Design of Stepped-Impedance Compline Bandpass Filters With Symmetric Insertion-Loss Response and Wide Stopband Range. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 55(10), 2191-2199. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2007.906482>
- Zhao, X.-B., Wei, F., Yang, L., & Gómez-García, R. (2024). Planar-Magic-T-Based Dual-Band Bandpass Filters. 2024 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS), 75-78. <https://doi.org/10.1109/RWS56914.2024.10438662>