

# Çekicilik Fonksiyonu Tabanlı Bir Çok-Amaçlı Optimizasyon Algoritması: Dikdörtgen Yama Anten Tasarımı Problemi Üzerinde Örnek Bir Uygulama

Ö. Tolga ALTINÖZ, A. Egemen YILMAZ  
Ankara Üniversitesi  
Elektronik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Ankara  
taltinoz@ankara.edu.tr, aeyilmaz@eng.ankara.edu.tr

**Özet:** Bu çalışmada, çekicilik fonksiyonlarının dinamik kullanımına dayalı çok-amaçlı bir optimizasyon yöntemi geliştirilmiştir. Birbirleri ile çelişen veya aynı anda sağlanması güç olan birden fazla amacın birlikte sağlanabilmesi, ancak çok amaçlı optimizasyon yaklaşımlarından biri kullanıldığında mümkündür. Bu çalışmada, problem çözümünü basitleştirebilmek için, çok amaçlı bir optimizasyon problemi, çekicilik fonksiyonları yardımı ile birbirlerinden farklı tek amaç problemine indirgenmekte ve indirgenmiş her bir farklı durum için Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) yöntemi ile çözüm elde edilmektedir. Elde edilen çözümlerin Pareto cephesi üzerinde olduğunu göstererek çözüm kalitesini yorumlamak için önerilen yöntem, öncelikle genel kabul görmüş çok-amaçlı optimizasyon test problemlerine uygulanmıştır. Ardından söz konusu yöntem, dikdörtgen yama anten için istenilen rezonans frekansı değerini, mümkün olan en ince dielektrik alttaşı (*substrate*) ile sağlayan tasarımın yapılması amacıyla kullanılmıştır.

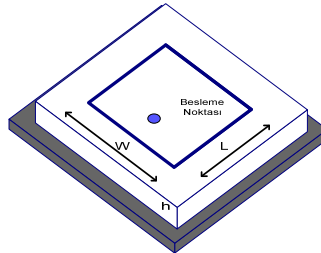
## 1. Giriş

Çok amaçlı optimizasyon algoritmaları, birbirleri ile çelişen iki veya daha fazla amaca eşzamanlı olarak ulaşmak için kullanılır. Bu algoritmalarından öne çıkanlar NSGA-II [1] ve SPEA-II [2] algoritmalarıdır. Bunların yanı sıra, birden fazla amacı ağırlıklandırarak tek bir amaç haline getirip, birleştirilmiş amacı tek amaçlı optimizasyon algoritmaları kullanarak çözen yaklaşımlar (*aggregation*) da bulunmaktadır. Bu çalışmada amaç-birleştirme işlemi, çekicilik fonksiyonları aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Söz konusu amaçlar, çekicilik fonksiyonları sayesinde [0,1] aralığına bağutulanıp çarpılarak tek bir amaç haline getirilmiştir. Elde edilen ve bu tanımlar uyarınca maksimize edilmek istenilen tek amaç ise, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) [3] algoritması kullanılarak sağlanmıştır. Tek-amaçlı optimizasyon algoritmalarında olduğu gibi, çok-amaçlı optimizasyon algoritmalarının performanslarını değerlendirebilmek ve yorumlayabilmek amacıyla tanımlanmış bir takım test problemleri bulunmaktadır. Bu problemler literatürde genel kabul gören fonksiyonlara dayalıdır. Bu çalışmada önerilen yöntemin ürettiği sonuçların doğruluğunu göstermek için, yöntem öncelikle bu test problemlerine uygulanmıştır. Performans değerlendirmeleri, literatürdeki en temel iki test problemi olan “Basit Dışbükey Problem” ve “Schaffer’in Test Problemi” üzerinden yapılmıştır.

Bu bildiri, giriş bölümü ile birlikte beş bölüme ayrılmıştır. İkinci bölümde dikdörtgen yama anten ve bu antenin matematiksel denklemleri verilecek, üçüncü bölümde kullanılan metodun analizi yapılacak, dördüncü bölümde uygulama gerçekleştirilip yorumlanacak ve son bölümde ise sonuçlar tartışılacaktır.

## 2. Dikdörtgen Yama Anten Problemi

Yama antenler, kolay üretilebilir olmaları ve az yer kaplamaları nedeni ile günümüzün haberleşme alanının en önemli parçası haline gelmiştir. Yama antenler alacağı şekillere göre isimlendirilir. Şekil 1’de, bu çalışmanın ilgi alanı olan dikdörtgen yama anten (DYA) ve özellikleri görölmektedir. DYA’nın rezonans frekansı, Denklem (1) ile bulunabilir [4,5]:



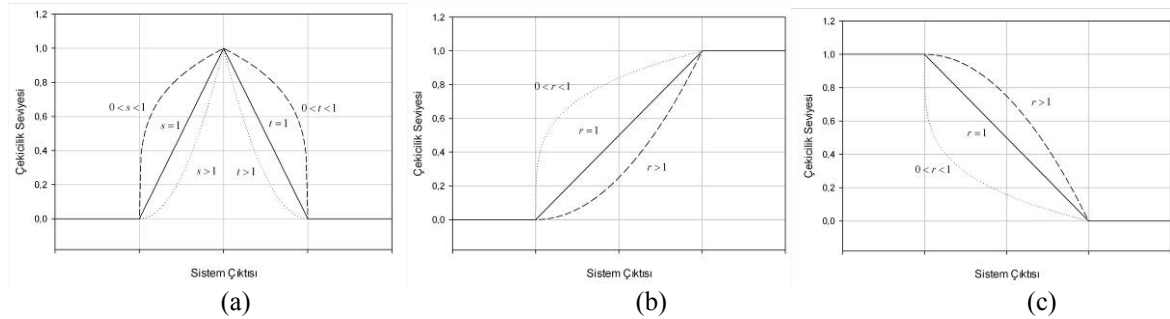
Şekil 1. Dikdörtgen yama anteni

$$f_r = \frac{c_0}{2(L + \Delta W)\sqrt{\epsilon_e(W)}}, \quad \epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\left(1 + \frac{10h}{W}\right)^{0.5}}, \quad \Delta W = 0.412h \frac{(\epsilon_e(W) + 0.3)(W/h + 0.264)}{(\epsilon_e(W) - 0.258)(W/h + 0.813)} \quad (1)$$

Dikdörtgen yama antenin (DYA) fiziksel yapısını belirten genişlik ( $W$ ), uzunluk ( $L$ ), dielektrik yüzey kalınlığı ( $h$ ) ve dielektrik sabiti ( $\epsilon$ ), antenin ışıma özelliklerini de belirlemektedir. DYA tasarım problemi, istenilen rezonans frekansını verecek fiziksel özelliklerin bulunmasıdır. Pratikte, genelde, eş-şekilli (konformal) olması ve hareketli platformlar üzerine aerodinamik yapıyı etkilemeden monte edilmesi istenilen bu antenlerin dielektrik alttaşın mümkün olduğunca ince olması da, ayrı bir tasarım hedefi olmaktadır. Böylelikle, bu çalışmada önerilen çok amaçlı optimizasyon yöntemi, istenilen rezonans frekansına sahip anteni, mümkün olan en ince alttaş ile elde etme problemine uygulanmıştır.

### 3. Çekicilik Fonksiyonu, Test Fonksiyonları ve Çok Amaçlı Optimizasyon Algoritması

Çekicilik fonksiyonu (ÇF), çok amaçlı optimizasyon sürecinde birden fazla amacın normalize edilerek birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Tek taraflı ve çift taraflı olmak üzere iki tip çekicilik fonksiyonu tanımı vardır. Şekil 2’de çekicilik fonksiyon grafikleri görülmektedir. Her çekicilik fonksiyonu, parametre değerlerine bağlı olarak ( $r$ ,  $t$ ,  $s$ ) bir yay/eğri çizebilir. Böylece nihai amacın sağlanmasındaki tolerans seviyeleri, parametrik olarak ayarlanabilir [6].

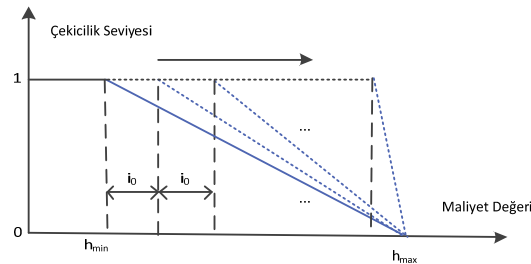


Şekil 2. Çekicilik fonksiyonları tanımları: (a) çift taraflı; (b) ve (c) tek taraflı fonksiyonlar

Bu çalışmada Denklem (2) ile verilen iki amaç fonksiyonunu ( $h$  parametresini minimize etmek; ölçülen ( $f_o$ ) ve istenilen ( $f_v$ ) rezonans frekansları arasındaki mutlak farklı minimize etmek) maksimize etmek amacı ile hem çift taraflı, hem de tek taraflı çekicilik fonksiyonu kullanılmıştır. Her amaç için ayrı bir fonksiyon ( $f_1, f_2$ ) tanımlanarak çekicilik değerleri ( $D(f_1), D(f_2)$ ) hesaplanmış; elde edilen değerlerin geometrik ortalaması ise nihai olarak maksimize edilecek değer ( $J$ ) olarak seçilmiştir. Denklem (3)’te, söz konusu  $J$  değerinin tanımı görülmektedir:

$$f_1 = \min(h), \quad f_2 = \min(|f_v - f_o|) \quad (2)$$

$$J = (D(f_1) \times D(f_2))^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$



Şekil 3. Her adımda daralan çekicilik fonksiyonu

Çok amaçlı problemin baskılanmayan çözümler kümesini (yani Pareto cephesini) sistematik ve tam olarak bulmak amacıyla, algoritmanın her adımında çekicilik fonksiyonlarının her birinin Şekil 3’teki gibi sistematik olarak daraltılması gerekmektedir. Tablo 1’de performans değerlendirmesi için seçilen test fonksiyonları ve bu fonksiyonların sahip olduğu Pareto cephelerinin analitik çözümleri görülmektedir.

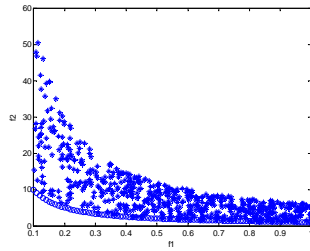
### 4. Uygulama Verileri ve Sonuçlar

Önerilen yöntem, Tablo 1’de verilen test fonksiyonlarına uygulanarak yöntemin performansı gösterilmiştir. Şekil 4’te test problemlerinin gerçek Pareto cepheleri ile önerilen yöntemin ürettiği tüm çözümler birlikte görülmektedir. Şekillerde, önerilen yöntemin ürettiği herhangi bir çözüm ‘\*’, Pareto cephesi üzerindeki her bir nokta ise ‘o’ işareti

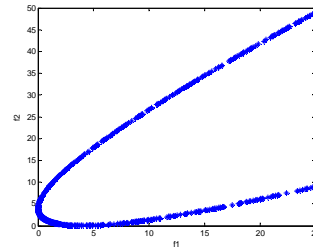
ile gösterilmektedir. Görüldüğü gibi, önerilen yöntem, Pareto cephesini taramakta, ya da yakın sonuçlar vermektedir.

**Tablo 1.** Çok-amaçlı optimizasyon algoritmalarının karşılaştırılmasında kullanılan iki test fonksiyonu

Test Fonksiyonu	Basit Dışbükey Problemi	Schaffer'in Test Problemi
Matematiksel Denklemi	$f_1 = x_1$ $f_2 = \frac{1+x_2}{x_1}$ $0.1 < x_1 < 1$ $0 < x_2 < 5$	$f_1 = x^2$ $f_2 = (x-2)^2$ $-5 < x < 5$
Pareto Cephesi'nin Analitik İfadesi	$f_{2p} = \frac{1}{f_{1p}}$	$f_{2p} = (\sqrt{f_{1p}} - 2)^2$ $0 < x_p < 2$



(a)

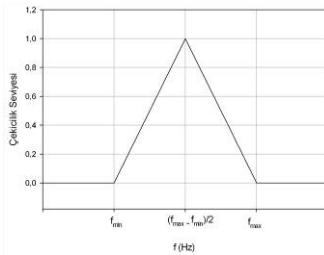


(b)

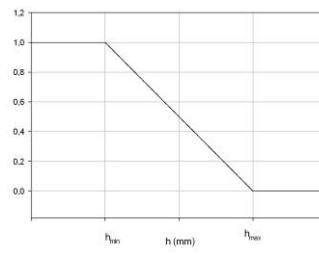
**Şekil 4.** Çok-amaçlı test fonksiyonlarından elde edilen Pareto cepheleri, a) Basit Dışbükey problemdeki tüm çözümler ve b) Schaffer'in Test Problemdeki tüm çözümler

Dikdörtgen yama anten problemi için ise ihtiyaç duyulan çekicilik fonksiyonları Şekil 5'te, matematiksel denklemleri ise Denklem (4)'te verildiği gibi tanımlanmış; uygulama, literatürde bulunan dokuz antenin değerleri kullanılarak [7] yapılmıştır. Elde edilen tüm sonuçlar, Tablo 2'de verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere tüm durumlarda, istenilen rezonans frekansları, oldukça küçük kalınlık ('h') değerleri için elde edilebilmiştir.

$$D(f_1) = \begin{cases} 1 & f_1 < h_{\min} \\ \left( \frac{f_1 - h_{\max}}{h_{\min} - h_{\max}} \right) & h_{\min} < f_1 < h_{\max} \\ 0 & f_1 > h_{\max} \end{cases}, \quad D(f_2) = \begin{cases} 0 & f_2 < h_{\min} \\ \left( \frac{f_2 - h_{\min}}{h_{\max} - h_{\min}} \right) & h_{\min} < f_2 < \frac{h_{\max} - h_{\min}}{2} \\ \left( \frac{f_2 - h_{\max}}{h_{\min} - h_{\max}} \right) & \frac{h_{\max} - h_{\min}}{2} < f_2 < h_{\max} \\ 0 & f_2 > h_{\max} \end{cases} \quad (4)$$



(a)



(b)

**Şekil 5.** Dikdörtgen yama anteni probleminde a) Rezonans frekansı için tanımlanan çift taraflı çekicilik fonksiyonu b) Dielektrik alttaş kalınlığı için tanımlanan tek taraflı çekicilik fonksiyonu

## 5. Sonuçlar ve Değerlendirmeler

Bu çalışmada, çekicilik fonksiyonlarının dinamik kullanımına dayalı çok-amaçlı bir optimizasyon yöntemi geliştirilmiştir. Çekicilik fonksiyonlarının tanım kümelerinin sistematik olarak daraltılması sayesinde, tüm Pareto cephesinin taranması mümkün olmaktadır. Yöntemin başarısı, öncelikle çok-amaçlı optimizasyon test problemlerinde; ardından da, dikdörtgen yama anten tasarımı problemine gösterilmiştir. Görülen sonuçların ışığında, önerilen yöntemin birden fazla amaçlı bir çok değişik optimizasyon problemine uygulanabileceği ve tatmin edici sonuçlar elde edilebileceği söylenebilir. Ayrıca önerilen yaklaşımda, PSO algoritmasının yerine başka yöntemlerin kullanılması ve belirli problemlerde daha iyi sonuçlar alınması da mümkündür. Gelecek çalışmalarda önerilen yöntem, literatürdeki daha karmaşık ve zor test problemlerine uygulanacak; ayrıca yöntemin performansının artırılmasına yönelik analizler yapılacaktır.

**Tablo 2.** Dikdörtgen yama anteni problem çözümü

Ant.No	<i>Deneyisel Sonuçlar</i>			<i>Sabitler</i>				<i>Elde Edilen Sonuçlar</i>			
	$f_v$ (GHz)	$\epsilon_r$	$h$ (mm)	$h_{min}$ (mm)	$h_{maks}$ (mm)	$f_{rmin}$ (GHz)	$f_{rmaks}$ (GHz)	$L$ (mm)	$W$ (mm)	$h$ (mm)	$f_o$ (GHz)
1	6.2	2.55	2	0	1	0	12.4	15.1505	12.4020	0.0335	6.1985
2	8.45	2.22	0.17	0	1	0	16.9	11.9140	7.4600	0.0326	8.4502
3	7.74	2.22	0.17	0	1	0	15.48	13.0108	6.7063	0.0315	7.7421
4	3.97	2.22	0.79	0	1	0	7.94	25.3585	8.5161	0.0305	3.9745
5	5.06	2.33	1.57	0	1	0	10.12	19.4206	10.9950	0.0022	5.0601
6	5.6	2.55	1.63	0	1	0	11.2	16.7739	21.3412	0.0711	5.5896
7	4.805	2.33	1.57	0	1	0	9.61	20.4510	10.0055	0.6240	4.8090
8	5.27	2.5	3	0	1	0	10.54	18.0016	8.8164	0.0545	5.2771
9	5.9	2.2	3	0	1	0	11.8	17.1407	1.9108	0.0024	5.9042
1	6.2	2.55	2	0	2	0	12.4	15.1497	15.4377	0.0199	6.1980
2	8.45	2.22	0.17	0	2	0	16.9	11.9139	7.8999	0.0962	8.4437
3	7.74	2.22	0.17	0	2	0	15.48	13.0137	6.3538	0.0762	7.7472
4	3.97	2.22	0.79	0	2	0	7.94	25.3586	6.5678	0.0015	3.9704
5	5.06	2.33	1.57	0	2	0	10.12	19.4206	19.2110	0.1439	5.0468
6	5.6	2.55	1.63	0	2	0	11.2	16.7736	7.4886	0.0902	5.6169
7	4.805	2.33	1.57	0	2	0	9.61	20.4512	14.4012	0.0012	4.8050
8	5.27	2.5	3	0	2	0	10.54	18.0016	5.9659	0.0756	5.2936
9	5.9	2.2	3	0	2	0	11.8	17.1425	1.9626	0.0325	5.9477
1	6.2	2.55	2	0	3	0	12.4	15.1506	7.9384	0.0555	6.2083
2	8.45	2.22	0.17	0	3	0	16.9	11.9134	7.9222	0.0201	8.4498
3	7.74	2.22	0.17	0	3	0	15.48	13.0069	5.2031	0.0029	7.7411
4	3.97	2.22	0.79	0	3	0	7.94	25.3586	3.3278	0.0087	3.9756
5	5.06	2.33	1.57	0	3	0	10.12	19.4206	7.9677	0.0329	5.0656
6	5.6	2.55	1.63	0	3	0	11.2	16.7739	6.8674	0.1448	5.6297
7	4.805	2.33	1.57	0	3	0	9.61	20.4505	19.0740	0.0087	4.8046
8	5.27	2.5	3	0	3	0	10.54	17.9983	6.3957	0.1360	5.3041
9	5.9	2.2	3	0	3	0	11.8	17.1415	6.7806	0.0668	5.9126
1	6.2	2.55	2	0	4	0	12.4	15.1506	10.2024	0.0105	6.2004
2	8.45	2.22	0.17	0	4	0	16.9	11.9143	13.1444	0.0055	8.4481
3	7.74	2.22	0.17	0	4	0	15.48	13.0077	6.2220	0.0360	7.7465
4	3.97	2.22	0.79	0	4	0	7.94	25.3587	16.9565	0.1409	3.9682
5	5.06	2.33	1.57	0	4	0	10.12	19.4211	12.3601	0.0055	5.0600
6	5.6	2.55	1.63	0	4	0	11.2	16.7742	7.6732	0.0359	5.6069
7	4.805	2.33	1.57	0	4	0	9.61	20.4512	6.8709	0.0100	4.8075
8	5.27	2.5	3	0	4	0	10.54	18.0018	1.2043	0.0251	5.3352
9	5.9	2.2	3	0	4	0	11.8	17.1408	6.4742	0.0161	5.9039
1	6.2	2.55	2	0	5	0	12.4	15.1511	0.4350	0.0018	6.2175
2	8.45	2.22	0.17	0	5	0	16.9	11.9120	8.2206	0.0198	8.4504
3	7.74	2.22	0.17	0	5	0	15.48	13.0069	7.9790	0.1317	7.7368
4	3.97	2.22	0.79	0	5	0	7.94	25.3584	20.3025	0.0043	3.9699
5	5.06	2.33	1.57	0	5	0	10.12	19.4207	1.4033	0.0018	5.0642
6	5.6	2.55	1.63	0	5	0	11.2	16.7739	12.8955	0.0172	5.5997
7	4.805	2.33	1.57	0	5	0	9.61	20.4513	1.9151	0.0074	4.8161
8	5.27	2.5	3	0	5	0	10.54	18.0011	6.4406	0.3245	5.3250
9	5.9	2.2	3	0	5	0	11.8	17.1403	1.9842	0.0074	5.9121

**Kaynaklar**

- [1] Deb K., Pratap A., Agarwal S., Meyarivan T., "A fast and elitist multi-objective genetic algorithm NSGA-II", IEEE Transactions on Evolutionary Computing, 6(2), s. 182-197, 2002.
- [2] Zitzler E. ve Thiele L., "Multiobjective optimization using evolutionary algorithms-A comparative case study", Problem Solving from Nature, 1998, Almanya, s. 292-301.
- [3] Eberhart R.C., Kennedy J., "A new optimizer using particle swarm theory", Proceedings of the Sixth International Symposium on Micromachine and Human Science, 1995, Nagoya, Japonya, s. 39-43.
- [4] E. Chang E., Long S.A., Richards W.F., "An experimental investigation of electrically thick rectangular microstrip antennas", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 34(6), s. 767-772, 1986.
- [5] Kara M., "The resonant frequency of rectangular microstrip patch antenna elements with various substrate thickness", Microwave and Optical Technology Letters, 2(11), s. 55-59, 1996.
- [6] Harrington, E.C., "The desirability function", Industrial Quality Control, 21, s. 494-498, 1965.
- [7] Weile D.S., Michielssen E., "Genetic algorithm optimization applied to electromagnetics", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 45, 1997, s. 343-353.