

# Modifiye ABC Algoritması ile Eşit-Olmayan Aralıklı Dairesel Anten Tasarımı

## Design of Non-Uniform Circular Antenna Using a Modified ABC Algorithm

Bilal Babayiğit<sup>1</sup>, Resul Özdemir<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
Erciyes Üniversitesi  
bilalb@erciyes.edu.tr,

<sup>2</sup>ÜSET Meslek Yüksekokulu  
Nevşehir Üniversitesi  
resulozdemir@nevsehir.edu.tr

### Özet

Bu çalışmada eşit-olmayan aralıklı dairesel anten dizi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Dairesel dizi anten tasarımında dizi elemanlarının hem uyarım genlikleri hem de yerleri optimum olarak belirlenmiştir. Optimizasyon işlemi, sabit ana demet genişliği ile minimum yan demet seviyesine sahip ışma diyagramı elde etmek amaçlanmıştır. Dairesel dizi anten tasarımında geliştirilen bir yapay arı koloni (ABC) algoritması kullanılmıştır. Geliştirilen ABC algoritmasının performansı on elemanlı eşit-olmayan aralıklı dairesel anten dizisi için test edilmiştir. Elde edilen tasarım, standart ABC, genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu algoritmalarıyla yapılan tasarımlarla karşılaştırılmıştır. En düşük yan demet seviyesine sahip tasarım sunulan ABC algoritması ortaya koymuştur.

### Abstract

In this paper, design of non-uniform circular antenna is proposed. In circular antenna design, an optimum set of excitation amplitudes and element separations have been determined. Optimization process is carried out for maximum sidelobe level reduction with fixed beam bandwidth. A modified artificial bee colony (ABC) algorithm is presented for the optimization process. The performance of the modified ABC algorithm is tested on 10-element non-uniform circular antenna array design. The results obtained by modified ABC algorithm is compared with those obtained by standart ABC, Genetic Algorithm, and Particle Swarm Algorithm. Results reveal that the modified ABC provides a considerable sidelobe level reduction.

### 1. Giriş

Birçok uygulamada çok iyi yönlü karakteristiğine sahip uzun mesafe haberleşme gereksinimini karşılayabilen antenlerin tasarlanması gerekir. Farklı geometrilerde birden fazla ışma yapabilen anten elemanı bir arada kullanılarak anten dizisi oluşturulup istenen ışma karakteristikleri elde edilebilir [1-3]. Dairesel geometriye sahip anten dizileri (daireseel anten dizileri), mobil ve kablosuz haberleşme alanlarında özellikle yön bulma, hava ve uzay navigasyonu, ve radarlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Dairesel dizi anten tasarımında bantgenişliği, yan demet seviyesi, gürültü hassasiyeti ve yönlücilik gibi farklı ve birbiri ile çıkan çeşitli gereksinimlere dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada sabit ana demet genişliği ile minimum yan demet

seviyesine sahip ışma diyagramı elde etmek anten dizisinin performansını değerlendirmede tasarımı kriteri olarak dikkate alınmıştır. Bu durumda, anten dizi tasarım problemi minimum yan demet seviyesine sahip ışma diyagramını üreten anten dizi elemanlarının uyarım genlik ve yerlerinin bulunmasından oluşur.

Literatürde, eşit-olmayan aralıklı dairesel anten dizi tasarımında genetik algoritma (GA) [4] ve parçacık sürü optimizasyonu (PSO) [5] uygulanmıştır.

ABC algoritması [6], bal arılarının zeki yiyecek arama davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş bir optimizasyon tekniğidir. Özellikle son yıllarda araştırmacılar tarafından da farklı optimizasyon problemlerinin çözümünde başarı ile kullanılmıştır [7-9]. Bu çalışmada, ABC algoritmasının performansını artırmaya yönelik çeşitli değişikliklere sahip modifiye bir ABC algoritması sunulmuştur. Sunulan algoritma ABCinv olarak isimlendirilmiş ve performansı eşit-olmayan aralıklı dairesel anten dizi tasarımında gösterilmiştir.

İkinci bölümde dairesel anten tasarımı, üçüncü bölümde ise sunulan ABCinv algoritması açıklanmıştır. Dördüncü bölümde eşit-olmayan aralıklı 10 elemanlı dairesel anten dizi tasarım örneği, beşinci bölümde de sonuçlar verilmiştir.

### 2. Dairesel Dizi Tasarımı

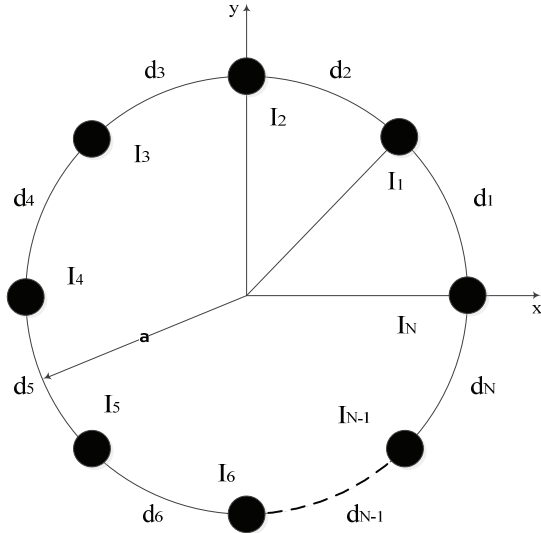
Şekil 1'de gösterildiği gibi  $x$ - $y$  düzlemine yerleştirilmiş eşit-aralıklı olmayan  $N$  tane yönsüz elemandan oluşan  $a$  yarıçaplı dairesel anten için dizi faktörü ifadesi [4] aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$AF(\theta, I, d) = \sum_{n=1}^N I_n \exp(jka \cos(\theta - \phi_n)) + \alpha_n \quad (1)$$

$$ka = \sum_{i=1}^N d_i \quad (2)$$

$$\phi_n = \frac{(2\pi \sum_{i=1}^n d_i)}{\sum_{i=1}^n d_i} \quad (3)$$

$$\alpha_n = -ka \cos(\theta_0 - \phi_n) \quad (4)$$



Şekil 1: Dairesel anten dizisi geometrisi

Eşitlik 1-4'te  $N$  eleman sayısı,  $I = [I_1, I_2, \dots, I_N]$  olmak üzere uyarım genliği,  $d = [d_1, d_2, \dots, d_N]$  olmak üzere iki eleman arasındaki mesafedir.  $I$  ve  $d$  optimize edilecek parametrelerdir.  $a$  daireSEL dizinin yarıçapı,  $k$  faz sabiti  $k=2\pi/\lambda$ 'dir.  $\lambda$  dalga boyunu temsil etmektedir.  $\phi_n$ ,  $n$ . elemanın geometrik yeri,  $\alpha_n$  de  $n$ . elemanın uyarım fazıdır.  $\theta_0$  ise maksimum ışın açısıdır. Diğer bir ifadeyle ana demetin maksimum olduğu açı değeridir.

Dairesel anten dizisi tasarım probleminde iki farklı kritere dikkat etmek gerekmektedir. Bunlardan birincisi; ana demetin dışında kalan sağ ve sol yan demet seviyesinin (Maximum Sidelobe Level, MSL) düşük olmasıdır. Optimize edilmesi gereken ikinci kriter ise sabit ana demet genişliğinin korunmasıdır. Problem için maliyet fonksiyonu şu şekilde yazılabilir.

$$F = w_1 * f_1 + w_2 * f_2 \quad (5)$$

Burada

$$f_1 = |AF(\theta_{msl}, I_n, d_n) / AF(\theta_0, I_n, d_n)| \quad (6)$$

$$f_2 = |BWFN_{uniL} - BWFN_L| + |BWFN_{uniR} - BWFN_R| \quad (7)$$

Eşitlik 6'da verilen  $f_1$  yan demetlerin seviyesini düşürmek için, Eşitlik 7'de verilen  $f_2$  ise ana demet genişliğini olması gereken değerine yakın biçimde optimize etmek için kullanılmaktadır. Eşitlik 5'teki  $w_1$  ve  $w_2$ ,  $f_1$  ve  $f_2$ 'nin maliyet fonksiyonu üzerindeki etkisini ayarlamaya yarayan ağırlık değerleridir.

Eşitlik 6'da;  $AF$  fonksiyonu, Eşitlik 1'de yer alan denklemi temsil etmektedir.  $\theta_{msl}$ ,  $[-\pi, \pi]$  aralığında en yüksek yan demet hizasının bulunduğu açıdır.  $\theta_0$  açısı ise ana demetin x-ekseni boyunca yönünü ( $\theta_0 = 0$ ) gösterir.

Eşitlik 7'de;  $BWFN_{uniL}$ , ışın diyagramında ana demetin sol tarafının en alt noktasına denk gelen açı değerini,  $BWFN_L$  ise optimizasyon işlemi ile elde edilen ana demetin sol tarafının en alt noktasına gelen açı değeridir.  $BWFN_{uniR}$  ve  $BWFN_R$  de sırasıyla standart tasarımda ve optimizasyon

işlemi sırasında bulunan tasarımlarda ana demetin sağ tarafında en alt seviyeye denk gelen açı değerleridir.

Optimize edilecek parametreler olan  $I$  ve  $d$  için alt ve üst limitler  $d \in [0.3, 2\lambda)$  ve  $I \in [0, 1]$  olacak şekilde seçilmiştir.  $d$ 'nin 0.3'ten daha düşük seçilmemesinin sebebi dizi elemanlarının karşılıklı etkileşimini (mutual coupling) engellemektir.

### 3. ABCinv Algoritması

ABC algoritmasında yapay arı kolonisi üç tür arıdan oluşmaktadır: görevli arılar, gözcü arılar ve kâşif arılar. Bir yiyecek kaynağının konumu olası bir çözümü, o kaynaktaki bulunan nektar miktarı ise çözümün kalitesini göstermektedir.

Görevli arılar birer yiyecek kaynağı seçerler ve nektar depolayıp kovana dönerler. Gözcü arılar kovana gelen görevli arıların danslarını izleyerek belirli olasılık ile yiyecek kaynağını seçerler. Seçilen yiyecek kaynağına yönelen gözcü arılar, görevli arılar gibi nektar depolamaya başlar. Belirli bir deneme sayısı içerisinde yiyecek kaynaklarını tüketen görevli arılar yeni kaynaklar aramak için kâşif arı olurlar. Kâşif arılar da rastgele bir yiyecek kaynağı bularak nektar depolama işlemine devam eder.

ABC algoritmasında iki adet kontrol parametresi bulunmaktadır: "popsize" ve "limit". "popsize" popülasyonun sayısı, "limit" ise görevli arıların yiyecek kaynağını bırakması için belirlenmiş eşik değeridir. Görevli ve gözcü arıların sayısı birbirine eşittir. Aynı zamanda görevli arıların sayısı yiyecek kaynaklarının sayısına ( $NS$ ) eşittir. Yiyecek kaynaklarının sayısı popülasyon sayısının yarısıdır ( $NS = popsize/2$ ).

ABCinv algoritması, standart ABC algoritmasında gözcü arıların seleksiyonda kullandıkları ve çözümün kalitesiyle ters orantılı olan yeni bir olasılık hesaplama yöntemi ve yeni arama mekanizmalarına sahip modifiye bir ABC algoritmasıdır. Standart ABC algoritmasının temel işleyişi ve ABCinv algoritması ile yapılan değişiklikler şu şekildedir.

ABC algoritmasında, başlangıçta

$$x_{i,j} = x_j^{min} + rand(0,1)(x_j^{max} - x_j^{min}) \quad (8)$$

ile yiyecek kaynakları oluşturulur. Eşitlik 8'de,  $i = 1 \dots NS$ ,  $j = 1 \dots D$  dir.  $NS$  yiyecek kaynaklarının sayısını,  $D$  ise optimize edilecek olan problemin parametre sayısını ifade eder.  $x^{min}$  ve  $x^{max}$  sırasıyla  $j$ . sıradaki parametrenin alt ve üst limitleridir. Başlangıçta bütün yiyecek kaynakları için geliştirilememe sayıcı ( $trial$ ) sıfırlanır.

ABC'de, görevli arılar birer yiyecek kaynağı seçerler ve ABCinv'de ABC'den farklı olarak komşuluk araştırmasını

$$v_{i,j} = x_{k,j} + \phi_1(x_{k,j} - x_{m,j}) \quad (9)$$

ile yaparlar. Eşitlik 9'da;  $k$  ve  $m$   $[1, NS]$  aralığında rastgele seçilmiş indekslerdir.  $x_k$  ve  $x_m$  birbirinden ve görevli arının sahip olduğu çözümünden ( $x_i$ ) farklı çözümlerdir.  $v_i$  ise Eşitlik 9 ile bulunmuş yeni bir çözümdür.  $j$   $[1, D]$  aralığında seçilmiş rastgele bir tam sayıdır ve optimize edilecek problemin bir parametresini belirtir. Denklemde kullanılan  $\phi_1$  ise  $[-1, 1]$  aralığında rastgele seçilmiş bir katsayıdır.

Görevli arılar araştırmalarını tamamladıktan sonra gözcü arılar belirli bir olasılığa göre yiyecek kaynakları içinden seçim yaparlar. ABCinv için olasılık hesabı şu şekilde yapılır:

$$p_i = (1 + fit_i) \exp(-fit_i). \quad (10)$$

Eşitlik 10'da;  $fit_i$  normalize edilmiş maliyet fonksiyonu değeridir.  $p_i$  değeri de çözümün seçilme olasılığıdır. Burada olasılık değerleri çözümün kalitesiyle ters orantılıdır ve kaliteli çözümlerin yanında düşük kaliteli çözümlere de şans verilmektedir.

Gözcü arılar hesaplanan olasılık değerlerine göre seleksiyon işlemi yaparlar. Seçmiş oldukları çözümü kullanarak görevli arılar gibi gözcü arılar da Eşitlik 9 ile çözüm üzerinde değişiklik yaparlar. Ayrıca görevli arılardan farklı olarak gözcü arılar çözümün ikinci bir parametresini daha değiştirir. Bu işlemi ise şu şekilde yaparlar:

$$v_{i,n} = x_{best,n} + \varphi_1(x_{k,n} - x_{m,n}) \quad (11)$$

Eşitlik 11'de  $x_k$  ve  $x_m$  Eşitlik 9'da kullanılan, gözcü arının sahip olduğu o anki çözümünden farklı rastgele seçilmiş çözümlerdir.  $v_i$  ise gözcü arının sahip olduğu çözümün seçilişinde yer alan yeni bir çözümdür.  $n [1, D]$  aralığında seçilmiş rastgele bir tam sayıdır ve Eşitlik 9'da kullanılan  $j$  parametresinden farklı bir parametredir. Eşitlikte kullanılan  $\varphi_1$  ise Eşitlik 9'da kullanılmış ve rastgele seçilmiş katsayıdır.

Bütün görevli arılar arama işlemlerini tamamladıktan sonra her bir çözümün geliştirilemeye sayacı kontrol edilir. Eğer sayacı değeri  $limit$  değerine ulaşan çözüm varsa, o kaynağı kullanan görevli arı kâşif arı olur ve Eşitlik 8'i kullanarak çözüm uzayında yeni bir noktaya yönelerek araştırmasına bu noktadan devam eder. Bütün bu işlemler maksimum çevrim sayısına veya maksimum maliyet fonksiyonu kullanım sayısına ulaşıncaya kadar devam eder.

ABCinv algoritmasının sözde kodu şu şekildedir:

*Algoritma 1: ABCinv algoritması sözde kodu*

- 1: Başlangıç yiyecek kaynaklarının Eşitlik 8 ile rastgele belirlenmesi
- 2: **do**
- 3: Görevli arıların yiyecek kaynaklarına gönderilmesi ve Eşitlik 9 ile yeni yiyecek kaynakları aramaları
- 4: Seçilim işlemi için gerekli olan yiyecek kaynaklarına ait olasılık değerlerinin Eşitlik 10 ile hesaplanması
- 5: Gözcü arıların seçim işlemi yaptıktan sonra Eşitlik 9'u ve Eşitlik 11'i kullanarak yeni yiyecek kaynakları aramaları
- 6: Kaşif arıların Eşitlik 8'i kullanarak yeni yiyecek kaynaklarını bulmaya çıkması
- 7: **while** (sonlandırma koşulu sağlandı mı?)

#### 4. Dairesel Anten Dizisi Tasarımı

Bu bölümde, 10 elemandan oluşan dairesele anten dizisi tasarımı standart ABC ve ABCinv algoritmalarıyla elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde GA ve PSO algoritmalarıyla elde edilmiş değerlerle karşılaştırılmıştır.

Standart ABC ve ABCinv algoritmalarıyla yapılan tasarımlarda  $popsiz$  = 50,  $NS$  = 25 ve  $limit$  = 50 olarak belirlenmiştir. Maliyet fonksiyonu değerlendirme sayısı 30.000 olarak seçilmiştir. Ayrıca ağırlık değerleri  $w_1 = 0.8$  ve  $w_2 = 0.2$  olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler sezgisel olarak belirlenmiş ve etkinliği deneysel olarak ispat edilmiştir.

Yapılan tasarımlarda, maksimum yan demet seviyesi (MSL), dizi elemanlarının yerleşiminde kapladığı alan (aperture, açıklık), maksimum ve minimum genlik değerleri arasındaki oran (Dynamic Range Ratio, DRR) ve ana demetin genişliği (BWFN) değerleri kaydedilmiştir. 10 elemanlı tasarımın sonuçları Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1: 10 elemanlı dairesele anten dizisi sonuçları

Algoritma	MSL	Açıklık	DRR	BWFN
GA[4]	-10,86	6.09λ	3.94	55.85
PSO[5]	-12,31	5.90λ	1.98	55.85
ABC	-11,40	5.83λ	2.24	56
ABCinv	<b>-12,61</b>	5.93λ	2.17	<b>56</b>

Tasarımlar sonucunda standart ABC ve ABCinv algoritmalarıyla bulunan parametreler Çizelge 2'de yer almaktadır. 10 elemanlı tasarımın ışınma diyagramları Şekil 2'de verilmiştir.

Çizelge 2: ABC ve ABCinv ile elde edilen 10 elemanlı dairesele anten dizisi parametreleri

Algoritma	I	d (λ)
ABC	0.7262, 0.4000, 0.4385, 0.6715, 0.8950, 0.5861, 0.5401, 0.5657, 0.8486, 0.6730	0.3000, 0.3561, 0.6456, 0.4200, 0.9636, 0.5963, 0.6342, 0.7938, 0.7432, 0.3839
ABCinv	0.8012, 0.4716, 0.4137, 0.8985, 0.5721, 0.4249, 0.5528, 0.5024, 0.7030, 0.6921	0.3001, 0.9038, 0.5153, 0.9745, 0.4364, 0.3895, 0.8152, 0.3701, 0.7892, 0.4404

Çizelge 1'de yer alan sonuçlar incelendiğinde ABCinv algoritması MSL değerini daha aşağı seviyeye çekmiştir. Ayrıca ABCinv algoritmasıyla yapılan tasarımda ana demetin genişliği korunmuştur. Şekil 2'de görülebileceği gibi tasarımlara ait ışınma diyagramları elde edilen sonuçları desteklemektedir.

#### 5. Sonuçlar

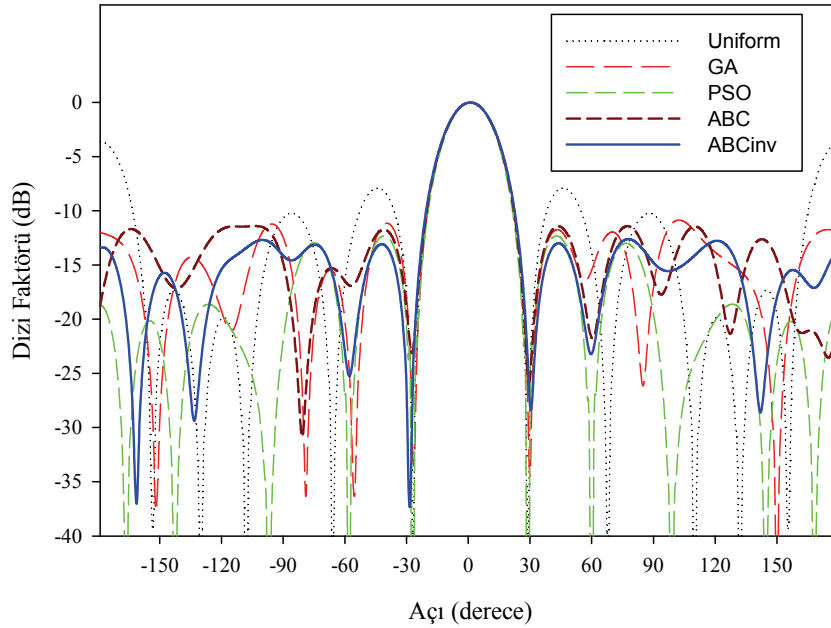
Bu çalışmada, ABCinv algoritması 10-elemanlı eşit-olmayan aralıklı dairesele anten dizi tasarımına uygulanmıştır. Sabit ana demet genişliği ile minimum yan demet seviyesi ve ağırlık etmenleri dahil edilerek esnek bir tasarım sunulmuştur. ABCinv algoritmasının performansı standart ABC algoritması ile literatürde GA ve PSO algoritmaları ile

yapılmış tasarımlarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuç ABCinv algoritması ile yapılan tasarımda yan demet seviyesinde önemli bir azalma olduğunu ortaya koymaktadır. Gelecek çalışmalar farklı geometriler için anten tasarımları gerçekleştirmek olacaktır.

## 6. Kaynaklar

- [1] Babayigit, B., Akdagli, A. ve Guney, K., "A clonal selection algorithm for null synthesizing of linear antenna array by amplitude control", *J. Electromagn. Waves Appl.*, 20, 1007–1020, 2006.
- [2] Akdagli, A., Guney, K. ve Babayigit, B., "Clonal selection algorithm for design of reconfigurable antenna array with discrete phase shifters", *J. Electromagn. Waves Appl.*, 21, 215–227, 2007.
- [3] Guney, K. ve Babayigit, B., "Amplitude-only pattern nulling of linear antenna arrays with the use of an immune algorithm", *Int. J. RF Microwave Computer-Aided Eng.*, 18, 397–409, 2008.
- [4] Panduro, M.A., Mendez, A.L., Domingez, R. ve Romero G., "Design of non-uniform circular antenna arrays for side lobe reduction using the method of genetic

- algorithms", *Int. J. Electron. Commun.*, 60, 713–717, 2006.
- [5] Shihab, M., Najjar, Y., Dib, N. ve Khodier, M., "Design of non-uniform circular antenna arrays using particle swarm optimization", *J. Electrical Eng.*, 59, 216–220, 2008.
- [6] Karaboga, D., "An idea based on honey bee swarm for numerical optimization", *Technical Report TR06*, Erciyes University, Engineering Faculty Computer Engineering Department, 2005.
- [7] Karaboga, N., "A new design method based on artificial bee colony algorithm for digital IIR filters", *J. Franklin I.*, 346 (4), 328–348, 2009.
- [8] Ma, M., Liang, J., Guo, M., Fan, Y. ve Yin, Y., "SAR image segmentation based on artificial bee colony algorithm", *Appl. Soft Comput.*, 11, 5205–5214, 2011.
- [9] Kashan, M.H., Navahandi, N. ve Kashan, A.H., "Design and economic optimization of shell and tube heat exchangers using artificial bee colony (abc) algorithm", *Appl. Soft Comput.*, 12, 352–352, 2012.



Şekil 2: 10 elemanlı dairesel anten dizilerinin ışma diyagramı