

# Eşit Aralıklı Olmayan Doğrusal Anten Dizilerinde Demet Şekillendirme Sentezi İçin Karınca Koloni Optimizasyon Algoritması İle Performans İyileştirme

Kerim Güney, Derviş Karaboğa\*, Ali Akdağlı

Erciyes Üniversitesi  
Elektronik Mühendisliği Bölümü  
38039 Kayseri  
kguney@erciyes.edu.tr, akdagli@erciyes.edu.tr

\*Erciyes Üniversitesi  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
38039 Kayseri  
karaboga@erciyes.edu.tr

**Özet:** Bu çalışmada, nümerik optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilen karınca koloni optimizasyon algoritması, doğrusal anten dizilerinin şekillendirilmiş demet diyagram sentezinde eleman genlik ve/veya pozisyonlarının belirlenmesi için kullanılmıştır. Sektörel diyagram, dizi antenin eşit aralıklı ve eşit aralıklı olmadığı durumlarda elde edilmiş ve eşit aralıklı olmayan dizi diyagramının yan demet seviyesi bakımından eşit aralıklı dizi diyagramına göre daha iyi bir performansta olduğu gösterilmiştir.

## 1. Giriş

Doğrusal anten dizi sentezinde genel amaç, istenilen bir diyagramı elde etmek için dizi elemanlarının uyarım genliklerini, uyarım fazlarını ve pozisyonlarını optimum olarak belirlemektir. Literatürde doğrusal anten dizilerinde demet şekillendirme probleminin çözümü için sunulan metotların bir çoğu, sadece eşit aralıklı diziler için geçerlidir [1-4]. Eşit aralıklı dizilerde elemanlar arasındaki mesafenin eşit olması, eşit aralıklı olmayan dizilere göre matematiksel bakımdan basitlik sağlamaktadır. Ancak, eşit aralıklı olmayan diziler ile istenilen diyagramı üretmek için eleman genlik ve/veya fazları belirlemenin yanında en uygun eleman pozisyonları da belirlendiğinden problemin mümkün çözüm uzayı artmakta ve böylece yapılan tasarım iyileşmektedir [5]. Dizi eleman yerlerinin belirlenmesi problemi doğrusal olmayan bir problem olduğundan, eleman pozisyonlarının belirlenmesinde kullanılacak metot, doğrusal olmayan problemler için çözüm üretebilen bir metot olmalıdır [5]. Literatürde doğrusal olmayan problemlerin çözümü için sunulan kesin kurallara dayalı klasik optimizasyon metotlarının temel dezavantajları, yerel optimum noktalara takılma ve başlangıç şartlarına fazla bağımlılıktır. Bu metotlar, hızlı olmalarına rağmen genel ve esnek bir çözüm elde etme açısından da yetersiz kalmışlardır. Genelde, verilen bir problem için üretilen çözüm de tekdir.

Modern sezgisel optimizasyon algoritmaları [6], hiç bir matematiksel ön hesaplama gerektirmeksizin probleme kolaylıkla uygulanabilme, esnek ve doğru çözümler üretebilme gibi avantajlara sahiptirler. Bu durum, özellikle son yıllarda araştırmacıları doğrusal veya doğrusal olmayan anten sentez problemlerinin çözümünde, klasik optimizasyon metotlarından ziyade sezgisel optimizasyon metotlarının kullanımına sevk etmiştir. Karınca koloni optimizasyon algoritması (KKOA) [7], sezgisel optimizasyon algoritmalarının en yenilerinden birisidir. Bu algoritma, gerçek karınca kolonilerinin yaşadıkları bölgeden besin kaynaklarına ulaşırken en kısa yolu bulma yeteneklerini simüle etmektedir. Karıncaların bu şekilde en kısa yolu bulabilmesi, aslında doğal bir optimizasyon işlemi olduğundan, bundan esinlenerek, ayrık zamanda yaşayan yapay karıncalar kullanan karınca koloni optimizasyon algoritması geliştirilmiştir [7]. Karınca koloni optimizasyon algoritmasının ayrık optimizasyon problemlerinin çözümüne ilişkin bir çok modeli ve uygulaması olmasına rağmen nümerik optimizasyon problemleri için geliştirilmiş sadece bir kaç modeli mevcuttur [8-12]. Sunulan çalışmada, nümerik optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilen bir karınca koloni optimizasyon algoritması, doğrusal anten dizilerinin şekillendirilmiş demet diyagram sentezinde eleman genlik ve/veya pozisyonlarının belirlenmesi için kullanılmıştır.

## 2. Formülasyon

Genlik uyarımları dizi merkezi civarında simetrik  $2N$  tane yönsüz elemandan oluşan doğrusal anten dizisi için dizi faktörü ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$DF(u) = 2 \sum_{k=1}^N a_k \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} d_k u\right) \quad (1)$$

Burada  $u = \sin\theta$ ,  $\lambda$ ,  $d_k$ , ve  $a_k$ , sırasıyla, dalga boyu, dizi merkezi ile  $k$ . eleman arasındaki mesafe ve  $k$ . elemanın uyarım genliğidir. Karınca koloni optimizasyon algoritması ile doğrusal anten dizisinin şekillendirilmiş demet sentezini gerçekleştirmek için Denklem (1)'de verilen her bir dizi elemanının genlik ( $a_k$ ) ve yerleri ( $d_k$ ) optimum olarak belirlenecektir. Üretilecek diyagramı kontrol edebilmek amacıyla KKOA ile minimize edilecek maliyet fonksiyonuna  $A_1$  ağırlık faktörü de dahil edilmiştir.

$$MF = A_1(u) |DF_o(u) - DF_d(u)| \quad (2)$$

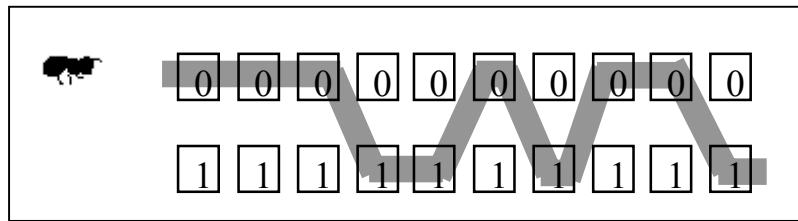
Burada  $DF_o$  ve  $DF_d$ , sırasıyla, KKOA ile elde edilen diyagram ve arzu edilen diyagramdır.

## 3. Karınca Koloni Optimizasyon Algoritması (KKOA)

KKOA, gerçek karınca kolonilerinin davranışlarının matematiksel modelleri üzerine dayanan bir algoritmadır. İlk çalışma, Dorigo ve arkadaşları tarafından 1991 yılında yapılmıştır [7]. Dorigo ve arkadaşları, kendi sistemlerini karınca sistemi, ortaya çıkan algoritmayı ise karınca algoritması olarak tanımlamışlardır. Karınca kolonilerinin davranışlarının tam olarak modellenmesi yerine yapay karınca kolonilerinin bir optimizasyon aracı olarak değerlendirilmesinden dolayı, önerilen algoritmalar gerçek karınca davranışlarından biraz farklı yapıda olmaktadır. Örneğin, yapay karıncalar belirli bir hafızaya sahiptirler ve tamamen kör değillerdir. Ayrıca, yapay karıncalar ayrık zamanlı bir çevrede yaşamaktadırlar.

Literatürde bulunan karınca algoritma uygulamalarının çoğu ayrık optimizasyon problemleriyle ilgilidir. Sürekli optimizasyon problemleri için geliştirilen modeller ve bunların mühendislik uygulamaları ile ilgili ancak bir kaç tane çalışma mevcuttur [6]. Bu çalışmalardan en yenilerinden birisi kaynak [8]'de tanımlanan "Touring Ant Colony Optimisation" (TACO) algoritmasıdır. Bu algoritmada her bir çözüm, binary bitlerin dizisi ile temsil edilmektedir. Bundan dolayı yapay karıncalar bit dizisindeki bitlerin değerlerine karar vermeye çalışırlar. Bu yaklaşımın temel fikri Şekil 1'de gösterilmektedir.

TACO algoritmasında karıncalar, bitlerin değerine karar vermek için sadece feromon (pheromone) bilgisini kullanırlar. Dizideki tüm bitlerin değerlerine karar verildikten sonra problem için çözüm adayı üretilmiş demektir. Üretilen çözüm adayı problemde değerlendirilir ve bu çözüm adayına ait kalite değeri hesaplanır ve kalite değerinden faydalanılarak, çözümü üreten yapay karıncanın geçmiş olduğu yola bırakılacak yapay feromon maddesinin miktarı hesaplanır.



Şekil 1. Bir karınca tarafından oluşturulan çözüm.

Örneğin, bir bit dizisinin herhangi bir pozisyonunda bulunan 0-1 bitleri arasındaki bağlantının (0→1) tercih edilme olasılığı

$$p_{01} = \frac{\tau_{01}}{\tau_{01} + \tau_{00}} \quad (3)$$

ifadesi ile hesaplanır. Burada  $p_{01}$ , (0→1) bağlantısının seçilme olasılığı,  $\tau_{00}$  ve  $\tau_{01}$  sırasıyla, (0→0) ve (0→1) bağlantılarının yapay feromon miktarlarıdır. Yapay feromon miktarı aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\Delta\tau_{01}^k(t, t+1) = \begin{cases} \frac{Q}{MF_k} & \text{şayet k. karınca } (0 \rightarrow 1) \text{ alt-yolundan geçerse} \\ 0 & \text{geçmezse} \end{cases} \quad (4)$$

Burada  $\Delta\tau_{01}^k$ , (0→1) bağlantısına k. karınca tarafından yapııştırılan yapay feromon miktarı, Q pozitif bir sabit ve  $MF_k$  ise maliyet fonksiyonunun değeridir.

Kolonide bulunan M tane karınca araştırma işlemini tamamladıktan ve çözümleri ürettikten sonra (0→1) bağlantısına t-(t+1) zaman aralığında yapııştırılacak feromon miktarı

$$\Delta\tau_{01}(t, t+1) = \sum_{k=1}^M \Delta\tau_{01}^k(t, t+1) \quad (5)$$

ifadesi ile hesaplanır ve (t+1) anında (0→1) ara bağlantısında bulunan feromon miktarı ise

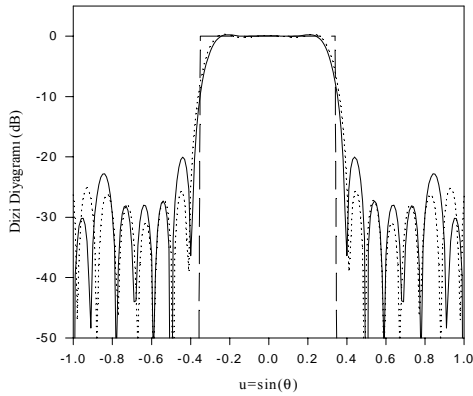
$$\tau_{01}(t+1) = \rho \tau_{01}(t) + \Delta\tau_{01}(t, t+1) \quad (6)$$

ile belirlenir. Burada  $\rho$  buharlaşma parametresini ve  $(1-\rho)$  ise feromonun buharlaşma miktarını temsil etmektedir.

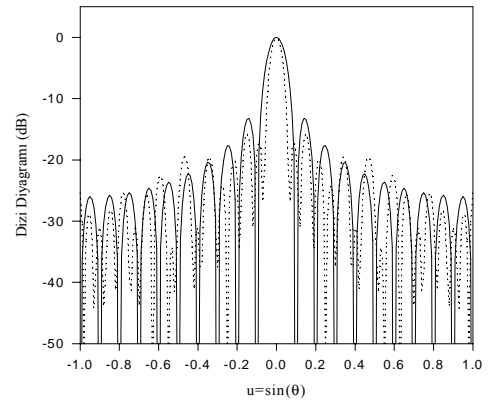
Sürekli optimizasyon problemleri için yukarıda tanımlanan algoritmanın temel dezavantajı, yön tayin ederken sadece koku miktarını kullanmasıdır. Bu sebeple bazı optimizasyon problemlerinde erken yakınsama ve bölgesel minimuma takılma problemiyle karşı karşıya kalınmaktadır. Bu dezavantajı gidermek amacıyla, alt-yolların koku miktarının rasgele değişimine dayanan bir strateji geliştirilmiştir [10]. Bu çalışmada, kaynak [10]'da önerilen stratejiye dayanan KKOA kullanılmıştır.

#### 4. Sayısal Örnekler

Eşit aralıklı aralarındaki mesafe  $0.5\lambda$  olan 20 yönsüz kaynaklı doğrusal anten dizisi ile elde edilen sektörel diyagram [12], elemanlar arasındaki mesafenin eşit olmadığı durum için ele alınmıştır. Eleman genlik ve yer değerlerinin KKOA ile belirlenmesiyle elde edilen sektörel diyagram, eşit aralıklı durumda üretilen sektörel diyagram [12] ve arzu edilen diyagram Şekil 2'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.** Arzu edilen diyagramın zarfı (- -), KKOA ile dizinin eşit aralıklı (—) ve eşit aralıklı olmadığı (...) durumlar için elde edilen sektörel diyagramlar.



**Şekil 3.** Eşit aralıklı (—) ve eşit aralıklı olmayan (...) üniform uyarımlı dizi diyagramları.

Şekil 2'den görüldüğü gibi eşit aralıklı olmayan dizi diyagramının maksimum yan demet seviyesi açısından daha iyi bir performansta olduğu gözükmemektedir. Genliklerin değişmediği durumda da sadece eleman yerlerinin belirlenmesiyle dizi diyagramında iyileştirilmenin yapılabileceğini göstermek için, diyagramı Şekil 3'de verilen eşit aralıklı ( $0.5\lambda$ ) ve düzgün uyarımlı doğrusal dizinin eleman yerleri KKOA ile belirlenmiş ve eşit aralıklı olmayan bu düzgün uyarımlı dizi için elde edilen diyagram yine Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekil 3'de verilen bu

diyagramlardan eşit aralıklı olmayan dizi diyagramının yan demet seviyesi ve demet genişliği bakımından daha iyi bir performansta olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, daha iyi özelliklere sahip diyagramı üretmek için optimal eleman yerlerinin belirlenmesidir. Sektörel diyagram ve üniform dizi diyagramı örneklerinden farklı olarak kalem diyagram, eşit aralıklı ve eşit aralıklı olmayan dizi yapıları ile de üretilmiş ve eşit aralıklı olmayan dizi ile elde edilen dizi diyagramının daha iyi bir performansta olduğu görülmüştür. Şekil 2 ve 3’de verilen diyagramlar için KKOA ile belirlenen eleman genlik ve yer değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Şekil 2 ve 3’de verilen diyagramlar için genlik ve yer değerleri.

k	Şekil 2		Şekil 3
	$a_k$	$d_k (\lambda)$	$d_k$ ( $a_k=0.05$ )
±1	0.3090	0.2386	0.04093
±2	0.2141	0.7185	1.0452
±3	0.0635	1.2315	1.6069
±4	-0.0526	1.7909	2.4243
±5	-0.0551	2.2681	3.2665
±6	-0.0222	2.7063	4.1727
±7	0.0253	3.2488	5.0729
±8	0.0289	3.7240	5.9634
±9	0.0168	4.2583	6.8458
±10	-0.0216	4.7886	7.6255

## 5. Sonuçlar

Eşit aralıklı olmayan doğrusal anten dizileri için demet sentezi, karınca koloni optimizasyon algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Sektörel diyagram ve eşit aralıklı olmayan üniform dizi diyagramı örnekleri ile eşit aralıklı olmayan dizi ile yapılan tasarımın eşit aralıklı olan diziler ile yapılarına göre daha iyi performansta olduğu gösterilmiştir.

## Kaynaklar

- [1]. Balanis C. A., Antenna Theory Analysis and Design. John Wiley and Sons, 1982.
- [2]. Elliot R. S. ve Stern J. G., “A new technique for shaped beam synthesis of equispaced arrays”, IEEE Trans. Antennas and Propagation, AP-32, s.1129-1133, 1984.
- [3]. Orchard H. J., Elliot R. S. ve Stern J. G., “Optimizing the synthesis of shaped beam antenna patterns”, IEE Proceedings, Pt. H, 132, s.63-68, 1985.
- [4]. Mailloux R. J., Phased Array Antenna Handbook. Artech House, MA, ABD, 1994.
- [5]. Kumar B. P. ve Branner G. R., “Design of unequally spaced arrays for performance improvement”, IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-47, s.511-523, 1999.
- [6]. Corne D., Dorigo M. ve Glover F., New Ideas In Optimization. McGraw-Hill, 1999.
- [7]. Dorigo M., Maniezzo V. ve Colomi A., Positive Feedback as a Search Strategy, Teknik Rapor, N. 91-016 Politecnico di Milano, 1991.
- [8]. Hiroyasu T., Miki M., Ono Y. ve Minami Y., “Ant colony for continuous functions”, The Science and Engineering, Doshisha University, XX (Y), 2000.
- [9]. Wodrich M., Ant Colony Optimization, Bitirme tezi, University of Cape Town, Department of Electrical and Electronic Engineering, Güney Afrika, 1996.
- [10]. Kalınlı A., Karaboga N. ve Karaboga D., “A modified touring ant colony optimisation algorithm for continuous problems”, The Sixteenth Int. Symp. on Computer and Information Sciences (ISCIS-XVI), Kasım 2001, Türkiye, s.437-444.
- [11]. Karaboga N., Güney K. ve Akdağlı A., “Null steering of linear antenna arrays by using modified touring ant colony optimisation algorithm”, International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, 12(4), s.375-383, 2002.
- [12]. Karaboga D., Akdağlı A. ve Güney K., “Karınca koloni optimizasyon algoritması ile doğrusal anten dizilerinin şekillendirilmiş demet sentezi”, 10. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU’2002), Haziran 2002, Denizli, s.1086-1091.