



## DOĞRUSAL ANTEN DİZİLERİNDE OPTİMUM DEMET ŞEKİLLENDİRME AMACIYLA KARINCA KOLONİ OPTİMİZASYON ALGORİTMASININ KULLANILMASI

Nurhan KARABOĞA<sup>a\*</sup>, Kerim GÜNEY<sup>a</sup>, Ali AKDAĞLI<sup>a</sup>, Derviş KARABOĞA<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Erciyes Üniversitesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, 38039 KAYSERİ

<sup>b</sup>Erciyes Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 38039 KAYSERİ

### ÖZET

Bu çalışmada, nümerik optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilen karınca koloni optimizasyon algoritması, doğrusal anten dizilerinin şekillendirilmiş demet diyagram sentezinde eleman genlik, faz ve/veya pozisyonlarının belirlenmesi için kullanılmıştır. Kosekant, sektörel ve kalem diyagram örnekleri ile kullanılan optimizasyon algoritmasının performansı gösterilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Anten dizi diyagram sentezi, Demet şekillendirme, Karınca koloni optimizasyon algoritması.

### USING ANT COLONY OPTIMIZATION ALGORITHM FOR OPTIMUM BEAM SHAPING OF LINEAR ANTENNA ARRAYS

#### ABSTRACT

In this work, the ant colony optimization algorithm, which is developed for solving the numerical optimization problems, is used for determining the element amplitude, phase and/or positions for shaped beam pattern synthesis of linear antenna arrays. The cosecant, sectoral and pencil beam are considered in order to show the performance of presented optimization algorithm.

**Keywords :** Antenna array pattern synthesis, Beam shaping, Ant colony optimization algorithm.

## 1. GİRİŞ

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. 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, faz ve/veya pozisyonlarının belirlenmesi için kullanılmıştır.

## 2. FORMÜLASYON

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

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

Burada,  $u=\sin(\theta)$ ,  $d_k$ ,  $a_k$  ve  $\delta_k$ , sırasıyla, dizi merkezi ile  $k$ . eleman arasındaki mesafe,  $k$ . elemanın genliği ve  $k$ . elemanın faz uyarımıdır. Karınca koloni optimizasyon algoritması ile doğrusal anten dizisinin şekillendirilmiş demet sentezini gerçekleştirmek için Denklem 1'de verilen her bir dizi elemanın genlik ( $a_k$ ) ve faz ( $\delta_k$ ) yarımları optimum olarak belirlenecektir. Üretilen diyagramı, şekillendirme ve yan demet bölgelerinde ayrı ayrı kontrol edebilmek amacıyla KKOA ile minimize edilecek maliyet fonksiyonuna  $A_1$  ve  $A_2$  ağırlık faktörleri de dahil edilmiştir.

$$MF = A_1(u) \left| DF_o(u) - DF_d(u) \right| + A_2(u) \left| MYDS_o(u) - MYDS_d(u) \right| \quad (2)$$

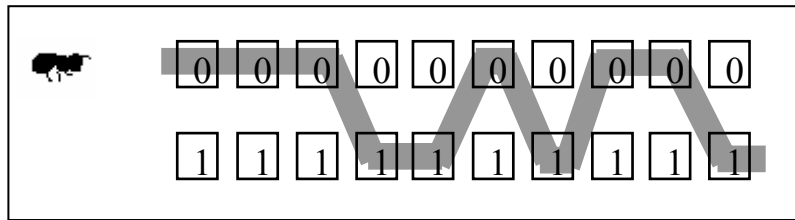
Burada,  $DF_o$ ,  $DF_d$ ,  $MYDS_o$  ve  $MYDS_d$ , sırasıyla, KKOA ile elde edilen diyagram, arzu edilen diyagram, KKOA ile elde edilen maksimum yan demet seviyesi ve arzu edilen maksimum yan demet seviyesidir.

### 3. KARINCA KOLONİ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI (KKOA)

KKOA, gerçek karınca kolonilerinin davranışlarının matematiksel modelleri üzerine dayanan bir algoritmadır. İlk çalışma, Dorigo ve arkadaşları tarafından 1991 yılında yapılmıştır [5]. 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 değildirler. 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 yenisi kaynak [7]'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.

Bu yapıda 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.

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

Burada,  $\Delta\tau_{01}^k$ , (0→1) bağlantısına k. karınca tarafından yapıştırılan 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 yapıştırılacak 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. SİMÜLASYON SONUÇLARI

##### 4.1 Genlik ve Fazların Optimizasyonu

Arzu edilen diyagramı elde etmek için dizi elemanlarının hem genlikleri hem de genlik ve fazları; kosekant, sektörel ve kalem diyagram örnekleri kullanılarak belirlenmiştir [12]. Şekillendirilmiş demet sentezinin KKOA ile başarılı bir şekilde gerçekleştirilebildiğini göstermek için, dizi elemanları arasındaki mesafe yarım dalga boyu olan 20 yönsüz kaynaklı doğrusal anten dizisinin hem eleman genlikleri, hem de genlik ve fazları çeşitli arzu edilen diyagram örnekleri için belirlenmiştir. Birinci örnekte, Denklem 7 ile tanımlanan ve radar uygulamalarında yaygın olarak kullanılan kosekant diyagramını üretmek için dizi eleman genlik ve fazları belirlenmiştir.

$$DF_d(u) = \begin{cases} \text{Kosekant}(u) & 0.1 \leq u \leq 0.5 \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (7)$$

KKOA ile minimize edilecek maliyet fonksiyonu içerisindeki diğer tasarım parametreleri aşağıdaki şekilde seçilmiştir.

$$A_1(u) = \begin{cases} 10 & 0.1 \leq u \leq 0.5 \\ 1 & \text{diğer} \end{cases} \quad (8)$$

$$MYDS_d(u) = -25 \quad u \leq 0 \quad \text{ve} \quad u \geq 0.6 \quad (9)$$

$$A_2(u) = \begin{cases} 1000 & MYDS_o(u) > MYDS_d(u) \\ 1 & MYDS_o(u) \leq MYDS_d(u) \end{cases} \quad (10)$$

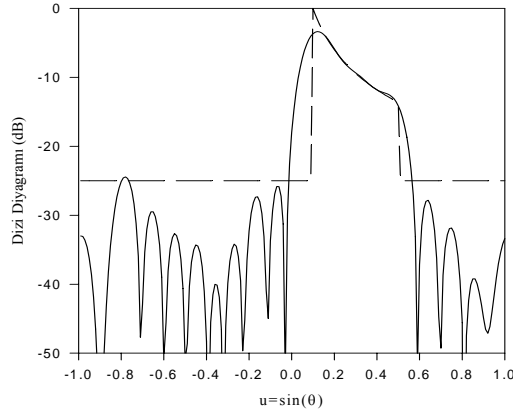
Denklem 7-10 ile verilen parametre değerleri esas alınarak KKOA ile belirlenen genlik ve faz değerlerinin Denklem 1'de yerine konulması sonucu elde edilen kosekant diyagramı, arzu edilen diyagramın zarfı ile birlikte Şekil 2'de gösterilmiştir.

KKOA ile demet şekillendirmede, dizi yapısının elverdiği ölçülerde istenilen bölgelerde farklı yan demet seviyeleri elde etmek de mümkündür. İstenilen bölgelerde farklı yan demet seviyelerine sahip kosekant diyagramını üretmek için Denklem 9'da tanımlanan maksimum yan demet seviyesi ( $MYDS_d$ ) aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

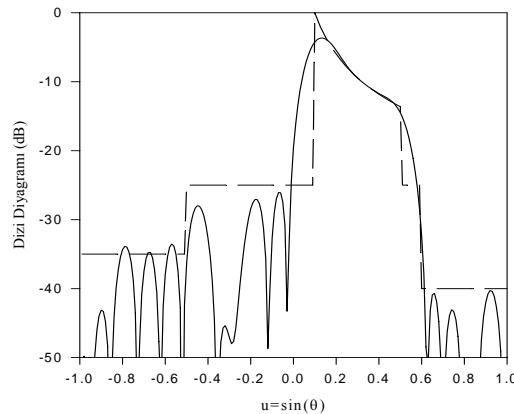
$$MYDS_d(u) = \begin{cases} -35 & u \leq -0.5 \text{ ve } u \geq -1 \\ -25 & u < 0 \text{ ve } u > -0.5 \\ -40 & u \leq 1 \text{ ve } u \geq 0.6 \end{cases} \quad (11)$$

Denklem 11 ile tanımlı maksimum yan demet seviyesi değerleri esas alınarak KKOA ile elde edilen diyagram Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3'den görüldüğü gibi, üretilen diyagramlar, hem şekillendirme bölgesinde hem de yan demet bölgelerinde istenilen kriterleri genel olarak sağlamaktadır.

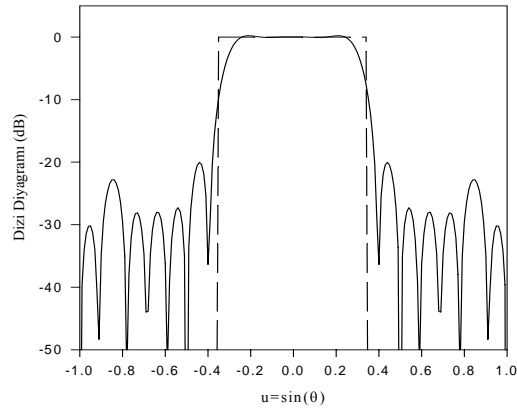
Algoritmanın performansını farklı arzu edilen diyagram örnekleri için göstermek amacıyla, üçüncü örnek olarak sektörel diyagram, dördüncü ve son örnek olarak da kalem diyagram seçilmiştir. KKOA ile elde edilen maksimum yan demet seviyeleri  $-20$  dB'de kısıtlanmış bu diyagramlar, sektörel diyagram için Şekil 4'de ve kalem diyagram için de Şekil 5'de verilmiştir. Bu son iki örnekte, tasarım maliyetini indirmek ve simetrik diyagramlar elde etmek amacıyla dizi elemanlarının sadece genlikleri belirlenmiştir.



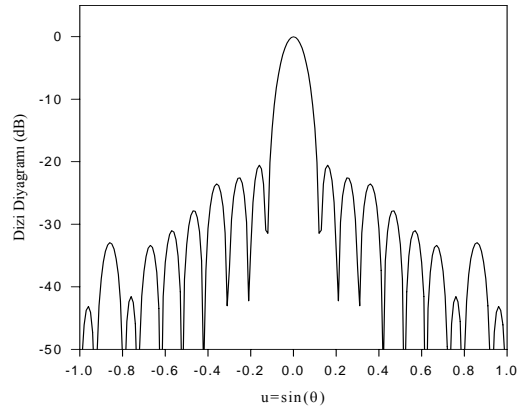
Şekil 2. Arzu edilen diyagramın zarfı (- -) ve KKOA ile elde edilen diyagram (—).



Şekil 3. Farklı yan demet seviyeleri için arzu edilen diyagramın zarfı (- -) ve KKOA ile elde edilen diyagram (—).



Şekil 4. Arzu edilen diyagramın zarfı (- -) ve KKO ile elde edilen sektörel diyagram (—).



Şekil 5. KKO ile elde edilen kalem diyagram (—).

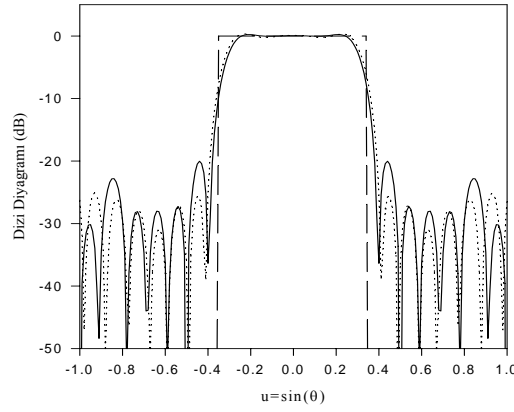
Elde edilen diyagramların arzu edilen diyagramlar ile iyi bir uyum içerisinde olduğu Şekil 4 ve Şekil 5'den görülmektedir. Yukarıda verilen örnekler için KKO ile belirlenen eleman genlik ve faz değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Şekil 2-5'de verilen diyagramlar için doğrusal anten dizisinin uyarım genlik ve faz değerleri (derece).

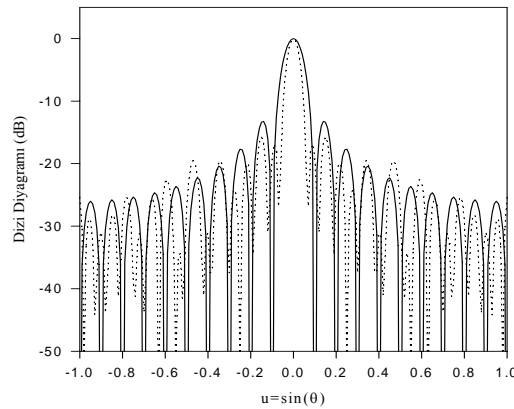
k	Şekil-2		Şekil-3		Şekil-4	Şekil-5
	$a_k$	$\delta_k$	$a_k$	$\delta_k$	$a_k$	$a_k$
$\pm 1$	0.2008	161.7232	0.2005	158.6980	0.3097	0.0667
$\pm 2$	0.1689	118.6597	0.1634	118.7743	0.2145	0.0643
$\pm 3$	0.1051	90.1034	0.1025	86.1729	0.0662	0.0654
$\pm 4$	0.0601	68.0159	0.0554	65.1167	-0.0347	0.0580
$\pm 5$	0.0504	83.1706	0.0522	68.6633	-0.0703	0.0542
$\pm 6$	0.0528	63.3004	0.0570	53.8867	-0.0270	0.0467
$\pm 7$	0.0525	33.6384	0.0418	36.9214	0.0180	0.0426
$\pm 8$	0.0169	37.5173	0.0169	20.3744	0.0306	0.0408
$\pm 9$	0.0188	34.9333	0.0162	21.0104	0.0157	0.0376
$\pm 10$	0.0280	40.1071	0.0176	40.1071	-0.0207	0.0230

#### 4.2 Dizi Anteninin Eşit Aralıklı ve Eşit Aralıklı Olmayan Durumlarda Optimizasyonu

Eşit aralıklı aralarındaki mesafe  $0.5\lambda$  olan 20 yönsüz kaynaklı doğrusal anten dizisi ile elde edilen sektörel diyagram, 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 [13] ve arzu edilen diyagram Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 6'den görüldüğü gibi eşit aralıklı olmayan dizi diyagramının maksimum yan demet seviyesi açısından daha iyi bir performansta olduğu gözükmektedir. Genliklerin değişmediği durumda da sadece eleman yerlerinin belirlenmesiyle dizi diyagramında iyileştirilmenin yapılabileceğini göstermek için, diyagramı Şekil 7'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 [13] yine Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekil 7'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 6 ve 7'de verilen diyagramlar için KKOA ile belirlenen eleman genlik ve yer değerleri Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 6. Arzu edilen diyagramın zarfı (- -), KKOA ile dizinin eşit aralıklı (—) ve eşit aralıklı olmadığı (...) durumlar için elde edilen sektörel diyagramlar.



Şekil 7. Eşit aralıklı (—) ve eşit aralıklı olmayan (...) üniform uyarımlı dizi diyagramları.

**Tablo 2.** Şekil 6 ve 7 '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

Doğrusal anten dizileri için şekillendirilmiş demet sentezi, karınca koloni optimizasyon algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Arzu edilen yan demet seviyeleri de göz önüne alınarak kosekant, sektörel ve kalem diyagram örnekleri ile kullanılan algoritmanın başarısı gösterilmiştir. 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 yapılabildiği daha iyi performansta olduğu gösterilmiştir.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmaya verdiği destekten dolayı Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

1. Balanis, C. A., Antenna Theory Analysis and Design. John Wiley and Sons, 1982.
2. Elliot, R. S., Stern, J. G., A New Technique for Shaped Beam Synthesis of Equispaced Arrays, IEEE Trans. Antennas and Propagation, 32, 1129-1133, 1984.
3. Orchard, H. J., Elliot, R. S., Stern, J. G., Optimizing the synthesis of shaped beam antenna patterns, IEE Proceedings, Pt. H, 132, 63-68, 1985.
4. Mailloux, R. J., Phased Array Antenna Handbook. Artech House, MA, ABD, 1994.
5. Kumar, B. P., Branner, G. R., Design of Unequally Spaced Arrays For Performance Improvement, IEEE Trans. Antennas and Propagation 47, 511-523, 1999.
6. Corne, D., Dorigo, M., Glover, F., New Ideas In Optimization, McGraw-Hill, 1999.
7. Dorigo, M., Maniezzo, V., Colomi, A., Positive Feedback as a Search Strategy, Teknik Rapor, 91-016 Politecnico di Milano, 1991.
8. Hiroyasu, T., Miki, M., Ono, Y., Minami, Y., Ant Colony for Continuous Functions, The Science and Engineering, Doshisha University, 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., Karaboga, D., A Modified Touring Ant Colony Optimisation Algorithm for Continuous Problems, The Sixteenth Int. Symp. on Computer and Information Sciences (ISCIS-XVI), 437-444, Kasım 2001, Türkiye.



11. Karaboga, N., Güney, K., Akdağlı, A., Null Steering of Linear Antenna Arrays by Using Modified Touring Ant Colony Optimisation Algorithm, *Int. J. of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 4, 375-383, 2002.
12. Karaboga, D., Akdağlı, A., Güney, K., Karınca Koloni Optimizasyon Algoritması ile Doğrusal Anten Dizilerinin Şekillendirilmiş Demet Sentezi, 10. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU'2002), Denizli, 1086-1091, Haziran 2002.
13. Güney, K., Karaboga, D., Akdağlı, A., Eşit Aralıklı Olmayan Doğrusal Anten Dizilerinde Demet Şekillendirme Sentezi İçin Karınca Koloni Optimizasyon Algoritması ile Performans İyileştirme, *Union Radio Science International Sempozyumu (URSI)*, 63-66, 18-20 Eylül 2002.