



Çekirge Optimizasyon Algoritmasını Kullanarak Eliptik Anten Dizisinin Optimum Tasarımı

Optimum Design of Elliptical Antenna Array Using Grasshopper Optimization Algorithm

Ali Durmuş¹

¹Kayseri Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, 380030, Kayseri, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 25/12/2019

Kabul / Accepted: 05/05/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Günümüzde araştırmacılar, modern haberleşme uygulamalarında bulunan birçok optimizasyon problemlerini çözmek için farklı sezgisel optimizasyon algoritmalarına ilgi duymaktadır. Bu kapsamda Çekirge Optimizasyon Algoritması, literatürde yerini almış bir sürü optimizasyon algoritmasıdır. Önerilen bu yöntem, çekirge sürülerinin doğadaki optimizasyon problemlerini çözmek için davranışlarını taklit eden matematiksel bir modelidir. Eliptik anten dizi sentezi son zamanlarda anten dizi tasarımı çalışmaları içerisinde yerini almış ve oldukça da popüler bir alan haline gelmektedir. Bu çalışmada Çekirge Optimizasyon Algoritması ile farklı sayıda dizi elemanına sahip eliptik anten dizilerinin sentezi gerçekleştirilmiştir. Dizi elemanlarının optimum genlik değerlerini belirlemek için Çekirge Optimizasyon Algoritması kullanılarak, eliptik anten dizi tasarımı yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmada maksimum yan demet seviyesi ve yarı demet güç genişliği gibi parametrelerde optimizasyon problemleri içerisine dahil edilmiştir. Çekirge Optimizasyon Algoritması ile bulunan sonuçlar, Simbiyotik Organizmalar Arama algoritmasıyla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Anten dizi sentezi, eliptik diziler, çekirge optimizasyon algoritması”

Abstract

Nowadays, Researchers are interested in new heuristic algorithms for optimization problems in many modern communications applications. Within this scope Grasshopper Optimization Algorithm is a newly released optimization algorithm. The proposed method is a mathematically models which mimics the behavior of grasshopper swarms in nature for solving optimization problems. Elliptical antenna array design has recently become a very popular field of antenna array studies. In this work, Grasshopper Optimization Algorithm is used to synthesis of elliptical antenna arrays having different number of array elements. For the purpose of elliptical antenna array synthesis, Grasshopper Optimization Algorithm is employed for determine the optimum amplitudes of the array elements. In this paper, the problems are solved by using antenna array synthesis together with maximum sidelobe levels and half-power beam width constraints. The results obtained by Grasshopper Optimization Algorithm are compared with Symbiotic Organisms Search Algorithm.

Key Words

“Antenna arrays synthesis, elliptical arrays, grasshopper optimization algorithm”

1. Giriş

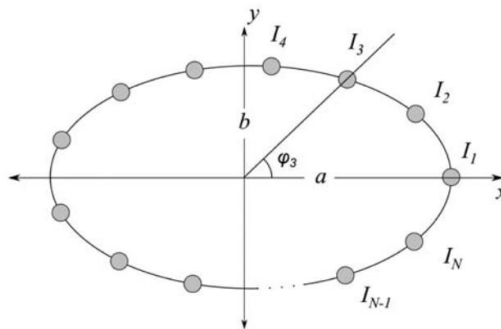
Anten dizileri tekli antenlere oranla daha yüksek kazanç ve yönlendirme sağladıklarından radar, haberleşme, navigasyon ve savunma sistemleri gibi birçok farklı alanda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Balanis,1997). Ayrıca anten dizileri ile bazı yönlerdeki sinyaller bastırılabilir ve diziyi mekanik olarak hareket ettirmeye gerek kalmadan belirli yönlerde sinyalleri iletmek ya da almak için elektronik olarak yönlendirilebilirler (Balanis,1997). Haberleşme sistemlerinin performansı, etkin bir anten dizi tasarımına büyük oranda bağlıdır. Etkin bir anten dizisi için de genlik, yer ve faz gibi dizi elemanlarının parametrelerinin optimize edilmesi gerekmektedir. Anten dizilerinin ışın diyagramları dizi elemanlarının genlik, yer ve faz parametrelerinin belirlenmesiyle ortaya çıkmaktadır. İstenilen ışın diyagramına sahip anten dizilerinin tasarımı literatürde oldukça ilgi çekmektedir (Yuan&Su, 1991; Lotfi Neyestanak vd., 2008; Sharaqa&Dib, 2013; Zare, 2013; Dib vd., 2019; Amaireh, vd., 2020). Anten dizileri birçok farklı geometriye sahip olabilmektedirler. Genellikle geometrik yapılarına göre doğrusal, dairesel, eliptik, eş merkezli dairesel anten dizileri gibi isimler almaktadırlar. Eliptik anten dizileri ise son yıllarda yoğun olarak üzerinde çalışılan bir araştırma konusudur. Literatürde doğrusal ve dairesel diziler ile ilgili birçok çalışma mevcut iken eliptik anten dizileri ile ilgili yeterince yayın yoktur. Bunun bir nedeni ise eliptik anten dizilerinin sentezi, doğrusal ve dairesel anten dizilerine oranla daha zor olmasındandır. Anten dizi sentezinde birçok farklı metot kullanılmaktadır (Sharaqa&Dib, 2014; Guney&Durmuş, 2016; Saremi, vd.,2017; Rao, vd., 2016; Guo, vd., 2019). Ancak son yıllarda yazılım ve sezgisel algoritmalarındaki gelişmeler ile birlikte klasik yöntemlerin yerini modern metotlar almıştır. Sezgisel algoritmaların optimizasyon problemlerine kolay uygulanabilir olması ve esnek bir yapıda olmaları bu metotları klasik yöntemlere göre daha popüler hale getirmiştir. Anten dizisi sentezi konusundaki çalışmaların çoğu, doğrusal ve dairesel anten dizilerine odaklanmaktadır. Bununla birlikte, dairesel anten dizilerinin ışın özelliklerinin eliptik anten dizisinin ışın karakteristiğine benzer olduğu iyi bilinmektedir. Ayrıca eliptik dizinin ana demeti istenilen yöne kolayca yönlendirilebilir. Eliptik anten dizileri kenar elemana sahip olmadıkları için doğrusal ve dikdörtgenel anten dizilerine oranla karşılıklı kuplajdan daha az etkilenirler (Güney&Durmuş, 2016). Eliptik anten dizi sentezi için literatürde birçok farklı yöntem kullanılmıştır (Yuan&Su, 1991; Lotfi Neyestanak vd., 2008; Sharaqa&Dib, 2013; Zare, 2013; Dib, vd., 2019; Sharaqa&Dib, 2014; Guney&Durmuş, 2016; Saremi vd.,2017; Bera&Roy, 2013; Lema, vd., 2016; Pinho&Carvalho, 2018). Bu çalışmada farklı sayıda dizi elemanına sahip eliptik anten dizilerinden istenilen ışın diyagramları elde edebilmek için dizi elemanlarının genlikleri Çekirge Optimizasyon Algoritması (Grasshopper Optimization Algorithm-GOA) kullanılarak optimum şekilde bulunmuştur. İlk olarak 8 elemanlı sonra 12 elemanlı ve son olarak da 20 elemanlı eliptik anten dizilerinin sentezi gerçekleştirilmiştir. Anten dizi sentezi yapılırken maksimum yan demet seviyesi (Maximum Sidelobe Levels-MSL) ve yarı demet güç genişliği (Half Power Beam Width-HPBW) gibi parametrelerde göz önüne alınmıştır. Bu parametreler GOA yardımı ile optimize edilmiştir. Dizilerin ışın diyagramlarının MSL ve HPBW değerleri, GOA kullanılarak kolayca kontrol edilebilir. GOA ile elde edilen sentez sonuçları Simbiyotik Organizmalar Arama (Symbiotic Organisms Search Algorithm-SOS) (Dib vd., 2019) Algoritmasının sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma, GOA algoritmasının eliptik anten dizilere uygulanması açısından önemli bir çalışmadır. Ayrıca elde edilen sonuçların literatürde var olan SOS algoritmasının sonuçları ile karşılaştırılması yapılmış ve GOA algoritması başarılı bir şekilde eliptik anten dizi sentezine uygulanmıştır.

2. Problem Formülasyonu

N elemanlı bir eliptik anten dizinin dizi faktörü aşağıdaki denklemde verilmektedir (Lotfi Neyestanak vd., 2008).

$$AF(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^N I_n \cdot e^{[j.k.(x_n \cdot \sin\theta \cdot \cos\varphi + y_n \cdot \sin\theta \cdot \sin\varphi + z_n \cdot \cos\theta) + j\alpha_n]} \quad (1)$$

Bu denklemde I_n n. elemanın genlik katsayısını, α_n n. elemanın faz katsayı değerini, k dalga sayısını ve x_n, y_n, z_n n. elemanın kartezyen koordinat sistemindeki yerini göstermektedir. x-y düzlemine yerleştirilmiş N elemana sahip eliptik anten diziyi ait geometrik yapı Şekil 1'de gösterilmiştir. Buradaki a ve b değerleri sırasıyla, yarı ve ana eksen uzunluklarıdır.



Şekil 1. N elemana sahip eliptik anten dizisi.

Eşitlik 2'de verilen formülasyon eliptik anten diziyi tasarlamak için kullandığımız maliyet fonksiyonudur. Buradaki amacımız daha düşük MSL ve sabit ya da daha dar HPBW değerlerine sahip eliptik anten dizisi elde etmektir.

$$MF = W_{MSL} \cdot P_{MSL} + W_{HPBW} \cdot P_{HPBW} \quad (2)$$

Burada W_{MSL} ve W_{HPBW} maliyet fonksiyonunun ağırlık değerleridir. P_{MSL} ve P_{HPBW} sırasıyla MSL ve HPBW değerlerinin kısıtlanması için kullanılan fonksiyonlardır. P_{MSL} fonksiyonu aşağıdaki gibi formüle edilir,

$$P_{MSL} = \int_{-\pi}^{\theta_{m/1}} \vartheta_{MSL}(\theta) \cdot d\theta + \int_{\theta_{m/2}}^{\pi} \vartheta_{MSL}(\theta) \cdot d\theta \quad (3)$$

$\theta_{m/1}$ ve $\theta_{m/2}$ ana demetin her iki tarafında bulunan ilk sıfırların açılı değerlerini gösterir. $\vartheta_{MSL}(\theta)$ fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir,

$$\vartheta_{MSL}(\theta) = \begin{cases} \rho_0(\theta) - \gamma_d, & \rho_0(\theta) > \gamma_d \\ 0, & \text{diğerlerinde} \end{cases} \quad (4)$$

γ_d ifadesi MSL'nin arzu edilen değerini ve ρ_0 ise dizi faktörünün dB cinsinden değerini göstermektedir. P_{HPBW} fonksiyonu ise,

$$P_{HPBW} = \begin{cases} \tau_0 - \mu_d, & \tau_0 > \mu_d \\ 0, & \text{diğerlerinde} \end{cases} \quad (5)$$

τ_0 , GOA algoritması tarafından bulunan HPBW değerini, μ_d ise arzu edilen maksimum HPBW değerini ifade etmektedir.

3. Çekirge Sürüsü Optimizasyon Algoritması

Çekirgeler böcek familyasında yer alan canlılardır. Genellikle tarımsal ürünlere verdikleri hasarlar nedeniyle zararlı olarak kabul edilirler. Çekirgelerin yaşam döngüsü Şekil 2'de gösterilmiştir. Çekirgeler doğada ayrı ayrı görüldüğü gibi büyük sürüler halinde de görülmektedirler. Çekirge sürüleri atlayan ve yuvarlanan silindirler gibi hareket ederler. Çekirge optimizasyon algoritması yeni ortaya çıkmış ve optimizasyon problemlerinde oldukça geniş kullanım alanına sahip bir algoritmadır. Bu algoritma çekirge sürüsünün davranışını taklit eden ve bunu matematiksel olarak modelleyen sürüye dayalı doğadan esinlenmiş bir optimizasyon algoritmasıdır (Saremi vd.,2017).



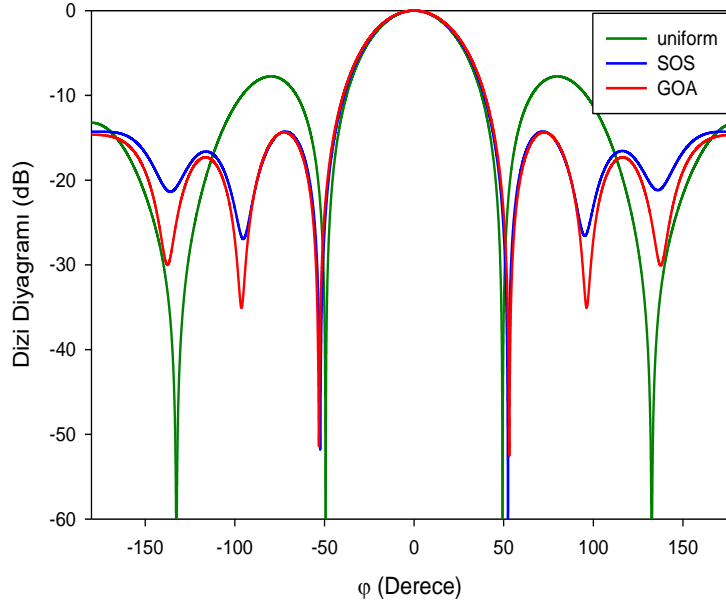
Şekil 2. Çekirgenin yaşam döngüsü.

Önerilen bu algoritmada çekirgeler, çözüm uzayında optimizasyon problemi için en uygun çözümü ararlar. İlk olarak çekirgeler aramaya başladığı noktaların yakınında arama yaparken daha sonra geniş bir alanda serbest arama gerçekleştirmektedirler. GOA algoritması ile ilgili detaylı bilgi (Saremi vd.,2017)'da yer almaktadır.

4. Analiz Bulguları

Bu çalışmada tüm simülasyonlar 2.6 GHz i5 işlemcili ve 8 Gb RAM'li bir bilgisayarda yapıldı. GOA'yı uygulamak için kullanılan yazılım MATLAB'dir. GOA algoritmasının popülasyon parametresi 30'a sabitlenmiştir. Anten dizi sentezi problemlerinin temel amacı, istenilen ışımaya özelliklerine sahip bir diyagram elde edebilmek için en düşük MSL ve HPBW değerlerine sahip anten dizisi tasarlamaktır. Arzu edilen ışımaya özelliklerine, düşük MSL ve HPBW değerlerine sahip eliptik anten dizi elemanlarının genlikleri GOA kullanılarak belirlenmiştir. 8, 12 ve 20 elemana sahip eliptik anten dizilerinin sentezi bu çalışmada yapılmıştır.

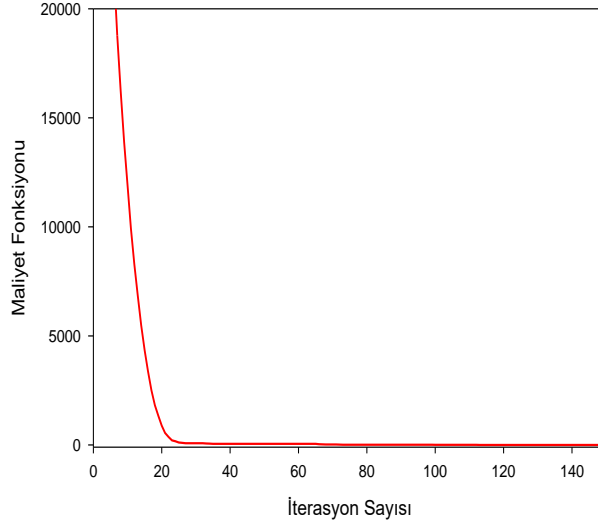
İlk örnekte, 8 elemanlı eliptik bir anten dizisinin genlik değerleri GOA tarafından elde edilmiştir. GOA, SOS (Dib vd., 2019) ve uniform olarak elde edilen ışımaya diyagramları Şekil 3'de gösterilmiştir. Tablo 1'de ise 8 elemanlı eliptik dizi için GOA, SOS (Dib vd., 2019) ve uniform tarafından elde edilen MSL ve HPBW değerleri verilmiştir. Tablo 1 ve Şekil 3'e göre GOA ile elde edilen ışımaya diyagramının MSL değeri SOS (Dib vd., 2019) algoritmasının değerinden daha iyidir. HPBW değerine bakacak olursak her iki algoritmanın değerleri aynıdır. Bu örnek için elde edilen yakınsama eğrisi Şekil 4'de verilmiştir. Bu şekilde göre yaklaşık 70 iterasyonda optimizasyon tamamlanmıştır.



Şekil 3: 8 elemanlı eliptik anten dizinin GA ve SOS ile elde edilmiş ışımaya diyagramları

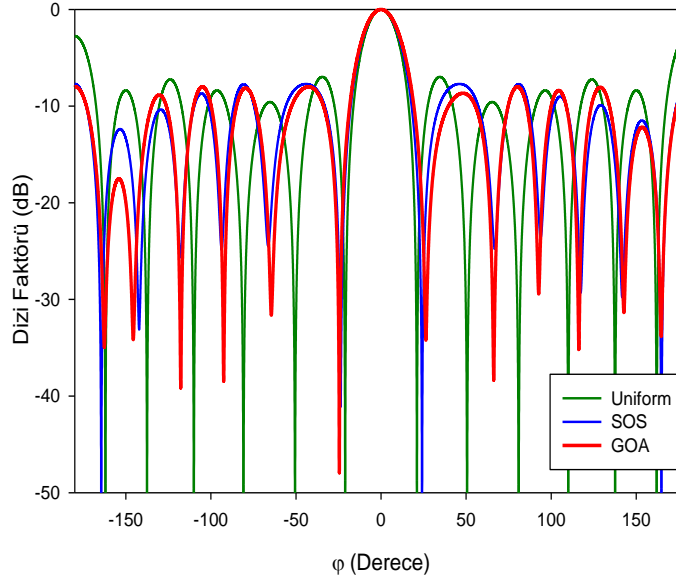
Tablo 1. 8 elemanlı eliptik dizi için GOA, SOS (Dib vd., 2019) ve uniform tarafından elde edilen MSL ve HPBW değerleri.

	GOA	SOS	Uniform
MSL (dB)	-14.36	-14.28	-7.76
HPBW (derece)	48	48	46



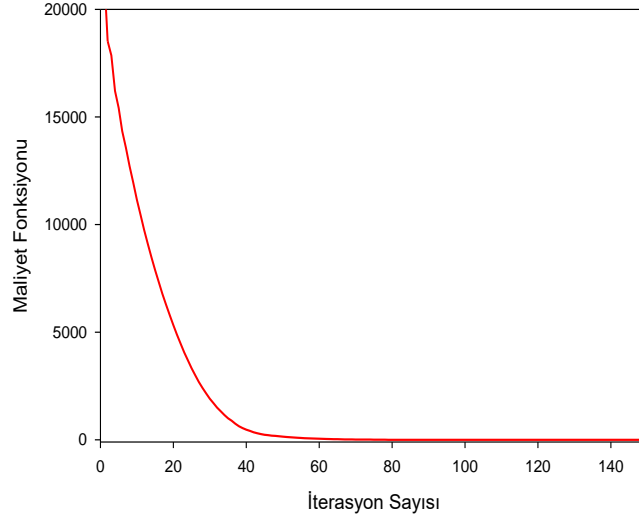
Şekil 4. 8 elemanlı eliptik anten dizi için GOA'ya ait yakınsama eğrisi

İkinci örnekte 12 elemanlı eliptik anten dizisi ele alınmıştır. GOA, SOS (Dib vd., 2019) tarafından elde edilen ışın diyagramları Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. GA ve SOS yöntemleri ile elde edilmiş 12 elemanlı eliptik anten dizinin ışın diyagramları.

Tablo 2'de 12 elemanlı eliptik anten dizi için GOA, SOS (Dib vd., 2019) ve uniform tarafından elde edilen MSL ve HPBW değerleri verilmiştir. Şekil 5 ve Tablo 2'den açıkça görüleceği üzere HPBW değeri sabit tutularak GOA ile daha düşük MSL değeri elde edilmiştir. Ayrıca 12 elemanlı eliptik dizi için elde edilen yakınsama eğrisi Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere yaklaşık 80 iterasyonda optimizasyon işlemi tamamlanmıştır.

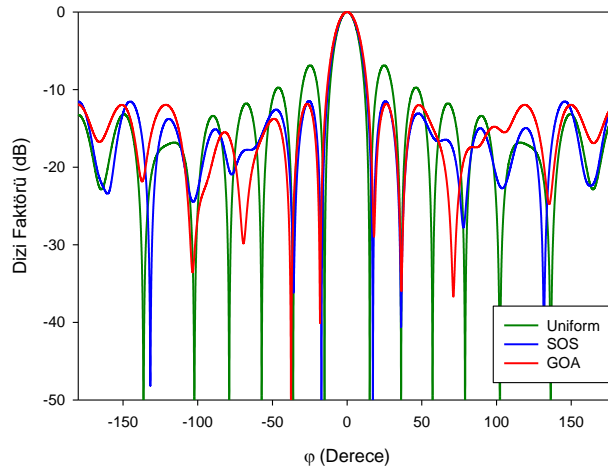


Şekil 6. 12 elemanlı eliptik anten dizi için GOA'ya ait yakınsama eğrisi

Tablo 2. 12 elemanlı eliptik dizi için GOA, SOS (Dib vd., 2019) ve uniform tarafından elde edilen MSL ve HPBW değerleri.

	GOA	SOS	Uniform
MSL (dB)	-8.01	-7.70	-2.75
HPBW (derece)	22	22	20

Üçüncü örnekte ise 20 elemanlı eliptik anten dizi sentezi yapılmıştır. GOA ve SOS (Dib vd., 2019) ile elde edilen ışınma diyagramına sahip eliptik anten dizisi Şekil 7'de gösterilmiştir.



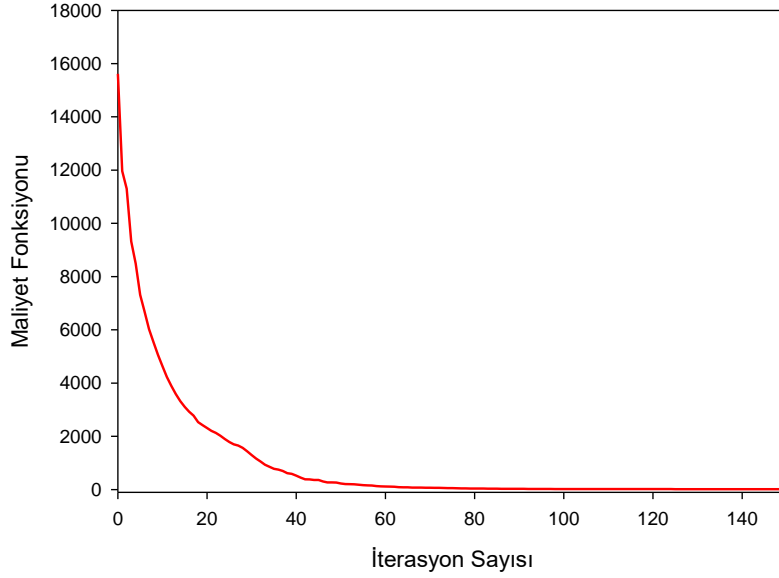
Şekil 7. GA ve SOS yöntemleri ile elde edilmiş 20 elemanlı eliptik anten dizinin ışınma diyagramları.

20 elemanlı eliptik anten dizi için GOA ve SOS (Dib vd., 2019) tarafından elde edilen HPBW ve MSL değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. 20 elemanlı eliptik dizi için GOA, SOS (Dib vd., 2019) ve uniform tarafından elde edilen MSL ve HPBW değerleri.

	GOA	SOS	Uniform
MSL (dB)	-11.84	-11.48	-6.88
HPBW (derece)	16	16	14

Tablo 3 ve Şekil 7’de görüldüğü üzere HPBW değeri sabit tutularak GOA’nın elde ettiği MSL değeri SOS (Dib vd., 2019) algoritmasının değerinden daha iyidir. 20 elemanlı eliptik anten dizi için elde edilen yakınsama eğrisi Şekil 8’de verilmiştir. Yaklaşık 90 iterasyonda optimizasyon işlemi neticelenmiştir.

**Şekil 8.** 20 elemanlı eliptik anten dizi için GOA’ya ait yakınsama eğrisi

8, 12 ve 20 elemanlı eliptik anten dizinin GOA tarafından elde edilen genlik değerleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. GOA tarafından elde edilen eliptik anten dizilerin genlik değerleri.

N eleman sayısı	[I ₁ , I ₂ , I ₃ ,I _N]
8 (Şekil 3)	[0.5123 0.9479 0.1443 0.9471 0.5131 0.9998 0.0736 1.0000]
12 (Şekil 5)	[1.0000 0.1998 0.2565 0.3906 0.2976 0.0686 0.9943 0.1665 0.4424 0.3873 0.2409 0.0361]
20 (Şekil 7)	[1.0000 0.6882 0.5113 0.0046 0.7341 0.2370 0.2524 0.0862 0.5352 0.1893 0.8865 0.2478 0.4687 0.0922 0.1956 0.4458 0.4730 0.2453 0.5434 0.6767]

5. Sonuçlar

Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmelere paralel olarak optimizasyon algoritmaları üzerindeki çalışmalarda oldukça hız kazanmıştır. Bu durumda artık klasik yöntemlerin yerini daha hızlı ve esnek yapıya sahip olan sezgisel optimizasyon yöntemlerini ön plana çıkarmıştır. Bu kapsamda literatüre yeni kazandırılan GOA metodu anten tasarımcıları için oldukça zor ve karmaşık bir problem olan eliptik anten dizi tasarımına uygulanmıştır. Bu çalışmada 8, 12 ve 20 elemana sahip eliptik anten dizileri GOA kullanılarak başarılı bir şekilde sentezlenmiştir. Elde edilen ışın diyagramlarının daha düşük MSL ve sabit ya da daha dar bir HPBW değerine sahip olması istenmiştir. Bu amaçla eliptik anten dizi elemanlarının optimum genlik değerleri GOA metodu ile belirlenmiştir. GOA ile bulunan genlik parametrelerine sahip ışın diyagramları literatürde mevcut SOS algoritması ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda genelde GOA yöntemi ile elde edilen MSL ve HPBW değerlerinin SOS metodu ile bulunan sonuçlardan daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bütün simülasyon sonuçları GAO'nun eliptik anten dizisi sentezinde başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca, algoritmada iyileştirmeler ya da başka algoritmalarla hibrit yapılar oluşturularak sonraki çalışmalarda daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

Referanslar

- Amairah, A. A., Dib, N. I., & Al-Zoubi, A. S. (2020). The optimal synthesis of concentric elliptical antenna arrays. *International Journal of Electronics*, 107(3), 461-479.
- Balanis, C.A. (1997). *Antenna Theory: Analysis and Design*. New York, MA: Wiley Publications.
- Bera, R., & Roy, J. S. (2013). Thinning of elliptical and concentric elliptical antenna arrays using particle swarm optimization. *Microwave Review*, 19(1), 2-7.
- Dib, N., Amairah, A., & Asem A. (2019). On the optimal synthesis of elliptical antenna arrays. *International Journal of Electronics*, 106 (1), 121-133. doi:10.1080/00207217.2018.1512658
- Guney, K., & Durmuş, A. (2016). Elliptical Antenna Array Synthesis Using Backtracking Search Optimisation Algorithm. *Defence Science Journal*, 66, 272-277. doi:10.14429/dsj.66.9583
- Guo, H., Jing, G., Dong, M., Zhang, L., & Zhang, X. (2019). Position-only synthesis of uniformly excited elliptical antenna arrays with minimum element spacing constraint. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2019(1), 253.
- Lema, G. G., Tesfamariam, G. T., & Mohammed, M. I. (2016). A novel elliptical-cylindrical antenna array for radar applications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 64(5), 1681-1688. doi:10.1109/TAP.2016.2539370
- Lotfi Neyestanak, A., Ghiamy, M., Naser-Moghaddasi, M., & Saadeghzadeh, R.A. (2008). Investigation of hybrid elliptical antenna arrays. *IET Microwaves Antennas Propagation*, 2(1), 28-34. doi:10.1049/iet-map:20070003
- Pinho, P., & Carvalho, N. (2018). Evaluation of planar elliptical antenna array with inner counter-elliptical slot. *Radioengineering*, 27(4), 937. doi: 10.13164/re.2018.0937
- Rao, A. V. L. N., Ankaiah, N. B., & Cheruku, D. R. (2016). Antenna performance improvement in elliptical array using RMI method of mutual coupling compensation. *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, 8(1), 8-21.
- Saremi, S., Mirjalili, S., & Lewis, A. (2017). Grasshopper optimisation algorithm: Theory and application. *Advances in Engineering Software*, 105, 30-47. doi:10.1016/j.advengsoft.2017.01.004
- Sharaqa, A., & Dib, N. (2013). Position-only side lobe reduction of a uniformly excited elliptical antenna array using evolutionary algorithms. *IET Microwaves, Antennas Propagation*, 7(6), 452-457. doi: 10.1049/iet-map.2012.0541
- Sharaqa, A., & Dib, N. (2014). Design of linear and elliptical antenna arrays using biogeography based optimization. *Arabian J. Sci. Eng.*, 39(4), 2929-2939. doi:10.1007/s13369-013-0794-8
- Yuan, H. & Su, C.W. (1991). Characteristics of frequency scanning elliptical array, *IEEE in Antennas and Propagation Society International Symposium*, Ontario, Canada, June, 1416-1419. doi:10.1109/APS.1991.175115
- Zare A. (2013). Elliptical antenna array pattern synthesis with fixed side lobe level and suitable main beam beamwidth by genetic algorithm. *Majlesi J. Telecommun. Dev.*, 1(4), 113-120.