

Doğrusal Anten Dizisi Işıma Diyagramının Sentezi İçin Konveks-Genetik-Taguchi Algoritmalarına Dayalı Yeni Bir Karma Optimizasyon Yaklaşımı

A New Hybrid Optimization Approach based on Convex-Genetic-Taguchi Algorithms for the Pattern Synthesis of Linear Antenna Array

Mahmud Esad Yiğit¹, Tayfun Günel¹

¹Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
İstanbul Teknik Üniversitesi
eyigit@itu.edu.tr, gunelmur@itu.edu.tr

Özet

Bu bildiride, doğrusal anten dizilerinin ışıma diyagramlarının sentezi için bu çalışmada geliştirilen yeni bir karma yöntem olan Konveks-Genetik-Taguchi Algoritması tanıtılmıştır. Konveks-Genetik-Taguchi Algoritması, Konveks optimizasyon, Genetik Algoritma ve Taguchi Yöntemini birlikte kullanarak doğrusal anten dizisinde istenilen yan demet seviyesi ve yarım güç demet genişliğini elde etmek için kullanılmıştır. Konveks-Genetik-Taguchi Algoritması, Konveks Optimizasyon, Genetik Algoritma, Taguchi Yöntemi ve Hibrit Taguchi-Genetik Algoritması ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Konveks-Genetik-Taguchi Algoritması, Konveks optimizasyon ile elde edilen sonuçları daha iyileştirmiş ve karşılaştırılan diğer yöntemlere göre daha doğru ve daha hızlı sonuç elde edilmiştir.

Abstract

In this paper, a new hybrid optimization approach based on Convex-Genetic-Taguchi Algorithm which is developed for the pattern synthesis of the linear antenna arrays is presented. Convex-Genetic-Taguchi Algorithm uses Convex optimization, Genetic Algorithm and Taguchi Method in order to obtain desired side lobe level and half power beamwidth. The results obtained by Convex-Genetic-Taguchi Algorithm, Convex Optimization, Genetic Algorithm, Taguchi Method and Hybrid Taguchi-Genetic Algorithm are compared. The obtained results show that Convex-Genetic-Taguchi Algorithm improves the results of Convex Optimization. By the new hybrid algorithm optimization goals are reached faster and better than the other methods compared with.

1. Giriş

Bu çalışmada, yeni geliştirilen karma bir yöntem olan Konveks-Genetik-Taguchi Algoritması(KGTA) kullanılarak doğrusal anten dizilerinin ışıma diyagramlarının sentezi gerçekleştirilmiştir. Işıma diyagramlarında istenilen yan demet seviyeleri(YDS) ve yarım güç demet genişliği(YGDG) elde etmek için doğrusal anten dizisi anten elemanlarının besleme akımlarının genlikleri optimize edilmiştir.

KGTA, konveks optimizasyonla elde edilen elit bireyin, Genetik Algoritma(GA) ve Taguchi Algoritması(TA) kullanılarak oluşturulan[1] Hibrit Taguchi-Genetik Algoritmasının(HTGA) başlangıç topluluğuna eklenmesiyle gerçekleştirilir. Genetik Algoritma ve Taguchi Metodu gibi global optimizasyon algoritmaları doğrusal anten dizilerinin ışıma diyagramı sentezinde sıklıkla kullanılmıştır[2,3]. Konveks optimizasyon ise bu konuda son zamanlarda ilgi çekmektedir[4].

GA, evrim ve genetik süreçlerden esinlenilerek oluşturulmuş bir optimizasyon yöntemidir. GA doğal seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi yöntemler kullanarak *topluluk* bireyleri üzerinde bazı genetik değişikliklere yol açar. Bu bireyler *kromozom* olarak adlandırılır ve her kromozom belirli sayıda *gen* taşır. Bu genetik değişimler yoluyla daha sağlıklı kromozomlar elde edilir. Genetik Algoritma elektronik ve elektromanyetik konularında birçok alanda kullanılmıştır[2].

Doğal seçim yoluyla topluluk içerisinde sadece sağlıklı kromozomlar hayatta kalır. Bu sağlıklı kromozomlar arasından seçilen eşler çaprazlama yolu ile yeni kromozomları üretirler. Mutasyon yolu ile kromozomların bazı genlerinde değişimler olur. Yeni kromozomlar ve eş olarak seçilen kromozomlar bir sonraki nesli oluştururlar.

Taguchi Algoritması, Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiştir[5]. Taguchi algoritmasının kimya, finans, mekanik ve elektronik gibi bir çok kullanım alanı olmasına rağmen elektromanyetikte sık kullanılan bir yöntem değildir. Taguchi algoritması optimum sonuçları birkaç deneme ile üretebilir. Bunu gerçekleştirmek için işaret-gürültü oranı(İGO) ve ortogonal dizileri kullanır.

Taguchi metodunda kontrol parametreleri ortogonal diziler yardımıyla seçilirler[1]. Bir ortogonal dizi $OD(N,k,s,t)$ ile gösterilebilir. Burada N deneysel adım sayısını(satır), k değişken sayısını(sütun), s her bir değişken için seviye sayısını ve t de ortogonal dizinin kuvvetini gösterir. Değişken sayısı optimize edilmek istenen parametre sayısına göre seçilir.

İGO ise kontrol elemanı olarak kullanılır[3]. İGO sayesinde birden çok deneme tek bir sayı ile ifade edilebilir. TA'nın

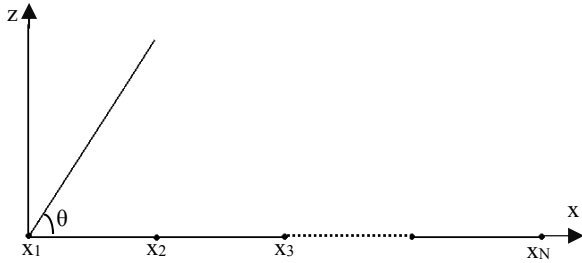
hedefi ortogonal dizileri kullanarak yapılan denemeler yoluyla İGO değerlerini maksimum hale getirmektedir.

Bu çalışmada, doğrusal anten dizisi ışıma diyagramı sentezlenmiştir. Dizi anten elemanları az maliyetli, düşük profilli olması ve kolay üretilebilmesi nedeniyle özdeş mikroşerit elemanlar olarak seçilmiştir. İstenilen YDS ve YGDG optimizasyon hedefi olarak seçilmiştir. Dizi anten elemanlarının besleme akımlarının genlikleri optimize edilmiştir. GA, TA, HTGA ve KGTA ile bulunan yakınsama ve hata değerlerine göre karşılaştırılmıştır.

Ayrıca doğrusal anten dizisi High Frequency Structural Simulator(HFSS) kullanılarak simüle edilmiştir[6]. Simülasyonda en iyi sonuçları veren KGTA ile elde edilmiş besleme akımlarının genlik değerleri kullanılmıştır. HFSS ve KGTA ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. Doğrusal Anten Dizisi ve Konveks Optimizasyon

N elemanlı, elemanları $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ noktalarına yerleştirilmiş bir doğrusal anten dizisi Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. N-elemanlı doğrusal anten dizisi

N-elemanlı doğrusal anten dizisinin ışıma diyagramı [7];

$$F(\theta) = \sum_{n=1}^N I_n f_n(\theta) \exp[jkx_n \cos\theta + \psi_n] \quad (1)$$

ile verilir. Burada;

$$\psi_n = -kx_n \cos\theta_0 \quad (2)$$

olmak üzere k serbest uzay dalga sayısı ($k=2\pi/\lambda$), λ dalga boyu, θ x ekseninden ölçülen açı, θ_0 yönlendirme açısı, I_n ve ψ_n n’inci antenin besleme akımlarının genlik ve fazı, $f_n(\theta)$ tek anten elemanının ışıma diyagramı, x_n birinci ve n’inci eleman arasında λ dalga boyu ile ölçülen mesafedir ($x_1 = 0$).

Konveks optimizasyon problemi bir konveks fonksiyonun konveks bir küme üzerinde minimize edilmesi ile formüle edilir[8]. Bir problemin konveks optimizasyon yöntemleri ile çözülebilmesi için problem konveks olmalıdır. Bir f fonksiyonunun konveks olma şartı[8]

$$f(\alpha x + (1 - \alpha)y) \leq \alpha f(x) + (1 - \alpha)f(y) \quad (3)$$

olarak ifade edilir. Burada $0 \leq \alpha \leq 1$ arasında herhangi bir gerçel sayı ve x, y ise gerçel sayı kümesindeki herhangi bir sayıdır.

Anten dizisi probleminde sadece besleme akımların genlik değerleri optimize edilirse bu problem konveks optimizasyon ile çözülebilir. Dizi elemanlarının pozisyonları optimizasyon sürecine dahil edilirse problem konveks olmaktan çıkar.

Çünkü eleman pozisyonları eksponansiyel veya trigonometrik fonksiyon parametreleri olarak ortaya çıkarlar[9].

Optimizasyondaki amaç, dizi eleman genliklerini değiştirerek yan demet seviyesini ve yarım güç demet genişliğini minimize etmektir. Konveks optimizasyon yöntemi[9];

$$\begin{aligned} \min_I & s + \beta \|I\|_1 \\ \text{s.t. } & |F(\theta_{YD})| \leq s, F(\theta_{AD}) = 1 \end{aligned} \quad (4)$$

olarak verilmiştir. Burada β pozitif skaler ağırlık faktörü, $I=\{I_1, I_2, \dots, I_N\}$ dizi elemanı besleme akımları genlik değerleri, θ_{YD} yan demet ile ilgili açılar ($\theta_{YD} \in \text{Yan Demet}$) ve θ_{AD} ise ana demetin bulunduğu (yönlendirme açısı) açıdır. $F(\theta_{AD})=1$ ile ana demetin yönlendirme açısında birim cevaba sahip olması amaçlanır (normalize olarak 0 dB).

(4) ile verilen amaç fonksiyonu problemin konveks olduğunu gösterir ve konveks optimizasyon yöntemleri ile çözülebilir. Bu çalışmada Michael Grant ve Stephen Boyd tarafından geliştirilen MATLAB aracı CVX, konveks optimizasyon için kullanılmıştır[10].

3. Karma Konveks-Genetik-Taguchi Algoritması

Hibrit Taguchi-Genetik Algoritması (HTGA) Tsai ve diğ. tarafından geliştirilmiştir[1]. Bu çalışmada, konveks optimizasyonla bulunan sonuçların iyileştirilmesi amacıyla HTGA, konveks optimizasyonla birlikte kullanılmıştır. HTGA, GA’nın çaprazlama ve mutasyon işlemleri arasında TA’nın eklenmesiyle elde edilir[1].

KGTA’da ilk olarak CVX kullanılarak konveks optimizasyon ile $I_k=\{I_1, I_2, \dots, I_N\}$ dizi elemanlarının besleme akımlarının genlikleri elde edilir. Konveks optimizasyon (CVX) sonunda YDS’de belirli bir azalma gözlenir. Bu azalmayı artırmak ve istediğimiz YDS değerini, istenilen YGDG ile birlikte elde etmek için HTGA uygulanır.

KGTA akış diyagramı Şekil 2’de verilmiştir. HTGA için bir rastgele başlangıç topluluğu üretilir. Bu topluluğa konveks optimizasyon ile elde edilen I_k bireyi (vektörü) de kromozom olarak eklenir. Topluluk maliyet (hata) fonksiyonuna uygulanarak her bir kromozomun maliyeti hesaplanır. Bu çalışmada maliyet fonksiyonu olarak [11];

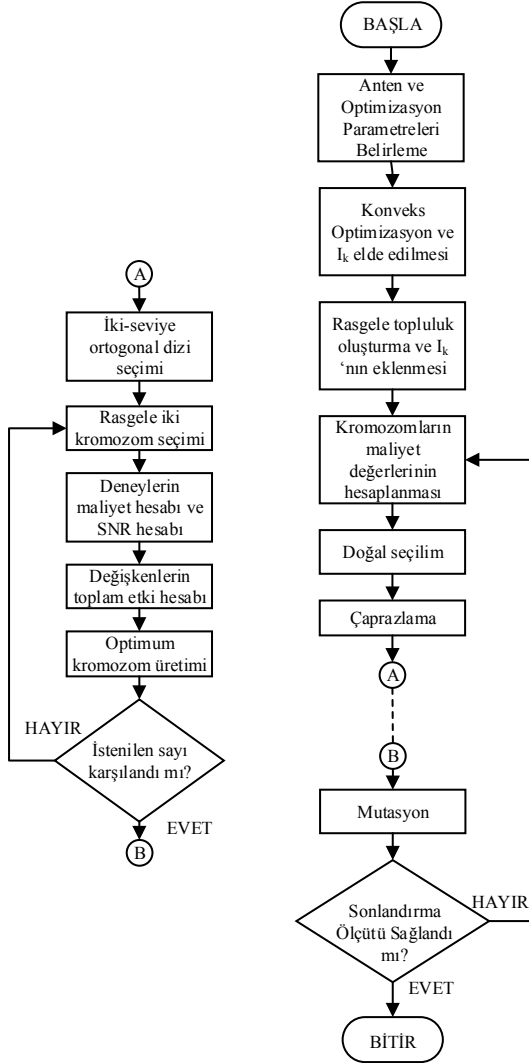
$$\text{maliyet} = w_1 \times (YDS_{maks} - YDS_{hesap}) + w_2 \times (YGHG_{maks} - YGHG_{hesap}) \quad (5)$$

seçilmiştir. Burada YDS_{maks} istenilen maksimum yan demet seviyesi ve YDS_{hesap} hesaplanan yan demet seviyesidir. $YGHG_{maks}$ istenilen maksimum yarım güç demet genişliği ve $YGHG_{hesap}$ hesaplanan yarım güç demet genişliğidir. w_1 ve w_2 ağırlık katsayılarıdır.

Konveks optimizasyon ile elde edilen kromozom maliyet değeri rastgele oluşturulan kromozomlara göre daha azdır. Bu nedenle ilk topluluğun elit bireyi konveks optimizasyon ile elde edilen I_k kromozomudur.

HTGA’nın başlangıç topluluğu, I_k ’nın eklenmesiyle elde edilen topluluktur. Maliyet değerlerine göre kromozomlar en sağlıklıdan (düşük maliyet) sağlıksıza doğru sıralanır. Seçim

oranına göre (genellikle yarısı) doğal seçilime uğrarlar. Sağlıklı kromozomlar hayatta kalır ve bu sağlıklı kromozomlar arasından eş seçilimi yapılır. Seçilen eşler çaprazlama yöntemleri ile yeni kromozomları oluştururlar.



Şekil 2. KGTA akış diyagramı

Çaprazlama işleminden sonra TA basamakları uygulanır. Seçilen ortogonal dizinin seviyesine göre topluluktan kromozomlar seçilir. Bu çalışmada iki seviyeli ortogonal dizi olan $OA(12,11,2,2)$ kullanılmıştır[12]. Seçilen iki kromozom ve ortogonal dizi kullanılarak yeni topluluk oluşturulur. Bu topluluğun kromozomlarının maliyet ve İGO değerleri hesaplanır. İGO değerleri[1];

$$\eta = -20 \log(\text{Maliyet}) \quad (6)$$

ile bulunur. Daha sonra kromozomlardaki her bir değişkenin toplam etkileri hesaplanır. Toplam etkiler[1];

$$E_{ds} = \sum_i \eta_i \quad (7)$$

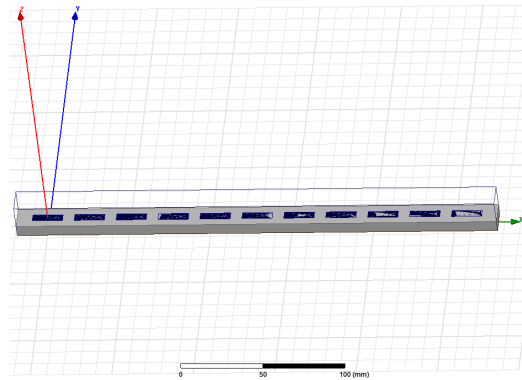
Burada d değişkeni içerisindeki s seviyelerine ait İGO değerleri toplanır. Toplam etkilere göre her değişken için optimum seviye belirlenir ve seçilen iki kromozomdan bu seviyelere göre optimum kromozom elde edilir. Optimum

kromozomlar beklenen sayı kadar üretilirler. Beklenen sayı $\frac{1}{2} Q p_c$ olarak seçilmiştir[1]. Burada Q toplam kromozom sayısı, p_c ise çaprazlama olasılığıdır. TA sonucunda üretilen optimum kromozomlar, çaprazlama sonucunda elde edilenlere katılarak yeni topluluk oluşturulur ve bu topluluk mutasyon işleminden geçer[13].

Sonlandırma kriteri sağlandı ise algoritma sona erer, sağlanmadı ise doğal seçim işlemine geri dönlülür ve algoritma devam eder.

4. Doğrusal Anten Dizisinin Sentezi

Bu çalışmada 11 elemanlı doğrusal anten dizisi sentezlenmiştir. Anten dizisinde özdeş dikdörtgen biçimli mikroşerit yama anten elemanları kullanılmıştır[14]. Elemanlar arası uzaklık x-ekseninde yarım dalga boyu ($\lambda/2$) olarak seçilmiştir. Anten dizisinin HFSS çizimi Şekil 3.'te verilmiştir.



Şekil 3. 11-elemanlı doğrusal anten dizisinin HFSS çizimi

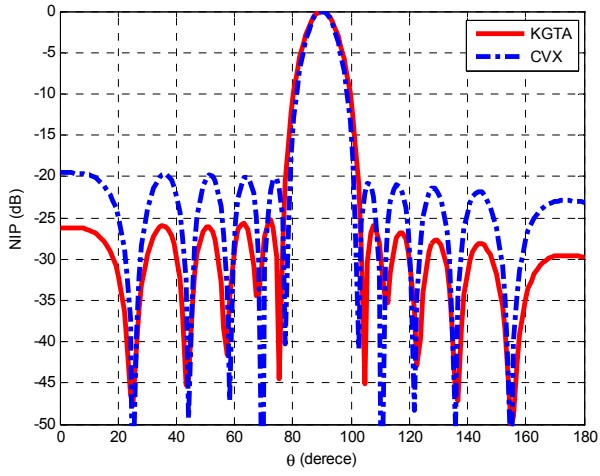
Şekil 3.'teki 11 elemanlı anten dizisi elemanlarının besleme akımlarının genlikleri konveks optimizasyon, GA, TA, HTGA ve KGTA kullanılarak ayrı ayrı optimize edilmiştir. 11 elemanlı dizinin 11 adet besleme akım genlik değeri optimize edileceği için $OA(12,11,2,2)$ ortogonal dizisi seçilmiştir. Optimizasyon hedefi olarak -25 dB maksimum yan demet seviyesi ve 10 derece maksimum yarım güç demet genişliği seçilmiştir. Optimizasyon parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Optimizasyon parametreleri

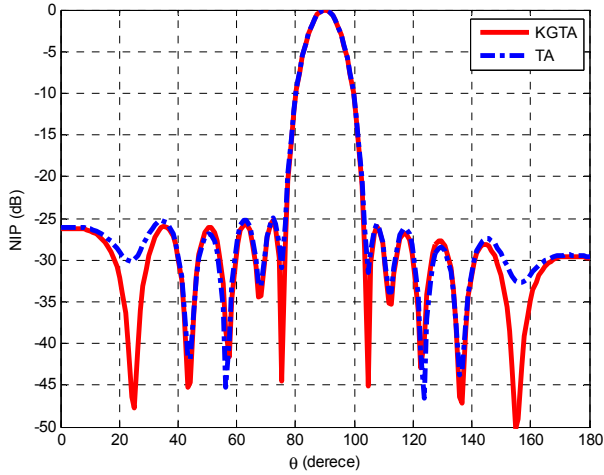
Kromozom sayısı	500
Maksimum nesil sayısı	50
Değişken sayısı	11
Çaprazlama olasılığı	0.4
Mutasyon olasılığı	0.1
w_1, w_2	1
Kullanılan OA	$OA(12,11,2,2)$
Optimizasyon aralığı	{0, 1}

Konveks optimizasyon, GA, TA, HTGA ve KGTA optimizasyonu ile elde edilen anten dizisi elemanlarının besleme akımlarının genlik değerleri kullanılarak (1) denklemi yardımı ile normalize ışıma diyagramları çizdirilmiştir. Şekil 4.a'da konveks optimizasyon ile elde edilen ışıma diyagramı ile KGTA ile elde edilen ışıma diyagramları karşılaştırılmıştır.

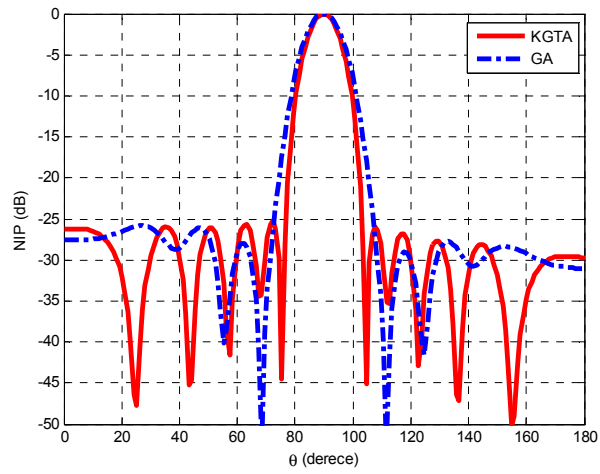
Konveks optimizasyon ile yan demet seviyesi -19.57 dB seviyesine kadar inebilmiştir. Konveks optimizasyon ile elde edilen besleme akımları genlik dizisi (I_k) kullanılarak KGTA optimizasyonu uygulanmış ve daha iyi sonuç alınmıştır. Yan demet seviyesi -25 dB 'ye çekilmiştir.



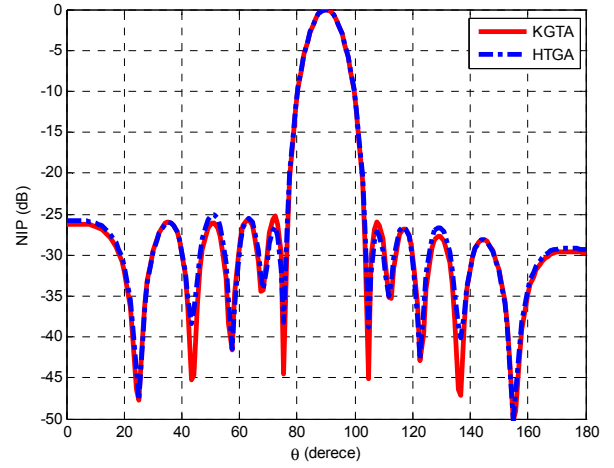
a)



b)



c)

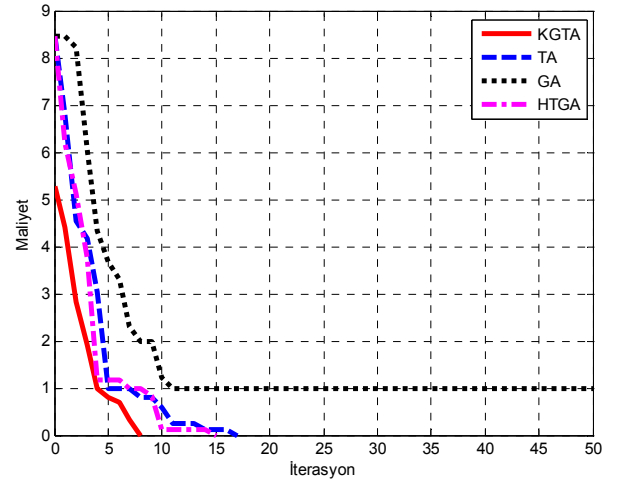


d)

Şekil 4. Doğrusal anten dizisinin normalize ışıma diyagramı a) Konveks optimizasyon ve KGTA karşılaştırılması b) TA ve KGTA karşılaştırılması c) GA ve KGTA karşılaştırılması d) HTGA ve KGTA

Şekil 4.b'de TA ve KGTA, Şekil 4.d'de HTGA ve KGTA ile elde edilen ışıma diyagramları karşılaştırılmıştır. HTGA ve TA istenilen optimizasyon hedeflerine ulaşmıştır. Şekil 4.c'de ise GA ve KGTA sonuçları karşılaştırılmıştır. GA istenilen hedefi tam olarak sağlayamamıştır. Yan demet seviyesini indirebilse de istenilen yarım güç demet genişliğini sağlayamamıştır.

Şekil 5'te maliyet fonksiyonu değerlerinin iterasyona bağlı olarak değişimi verilmiştir.



Şekil 5. GA, TA, HTGA ve KGTA optimizasyon adımlarına(iterasyon sayısı) göre maliyet değişimi

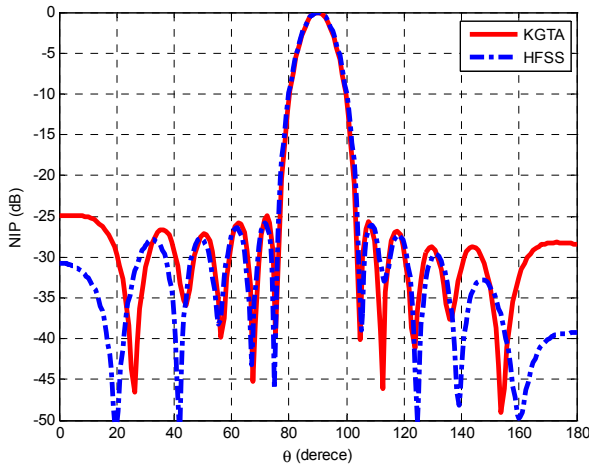
Rastgele oluşturulan aynı başlangıç topluluğu kullanılarak GA, TA ve HTGA optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Aynı rastgele topluluk, konveks optimizasyondan elde edilen I_k besleme akımı genlik dizisinin de eklenmesiyle KGTA optimizasyonuna uygulanmıştır. Konveks optimizasyon ile elde edilen elit birey KGTA'nın daha iyi başlangıç koşulu ile başlamasını sağlamıştır.

KGTA 8. iterasyonda, TA 17. iterasyonda, HTGA 12. iterasyonda istenilen sonuçları bulurken, GA maksimum döngü sayısına belirli hata ile ulaşmıştır. KGTA konveks optimizasyon ile elde edilen YDS'yi hem iyileştirmiş hem de daha hızlı sonuca varmıştır. Konveks optimizasyon, GA, TA ve KGTA ile elde edilen anten dizisi elemanlarının besleme akımlarının genlikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. 11-elemanlı doğrusal anten dizi elemanlarının optimize edilmiş besleme akımlarının genlik değerleri

n	CVX	GA	TA	HTGA	KGTA
1	0.0751	0.0691	0.2864	0.1329	0.3011
2	0.0654	0.2274	0.4673	0.1692	0.3938
3	0.0854	0.2602	0.5823	0.2504	0.5647
4	0.1022	0.5082	0.7566	0.3286	0.7507
5	0.1133	0.7418	0.8676	0.4001	0.8752
6	0.1172	0.8107	0.9846	0.3964	0.8932
7	0.1133	0.9883	0.9933	0.3638	0.8280
8	0.1022	0.7733	0.8521	0.3299	0.7388
9	0.0854	0.6658	0.7033	0.2549	0.6077
10	0.0654	0.4371	0.4241	0.1851	0.4270
11	0.0751	0.2489	0.3817	0.1448	0.3252

En iyi ve hızlı sonucu veren KGTA ile elde edilen besleme akımları genlik değerleri kullanılarak HFSS programı ile doğrusal anten dizisi simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonucu elde edilen ışıma diyagramı, KGTA ile elde edilen ışıma diyagramı ile Şekil 6'da karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar benzerlik göstermiştir.



Şekil 6. HFSS simülasyonu ve KGTA sonuçlarının karşılaştırılması

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, konveks optimizasyon, Genetik Algoritma ve Taguchi Algoritması kullanılarak yeni oluşturulan karma optimizasyon yöntemi olan Konveks-Genetik-Taguchi Algoritması(KGTA) tanıtılmıştır. KGTA doğrusal anten dizilerinin ışıma diyagramları sentezinde kullanılmıştır.

Doğrusal anten dizi elemanları besleme akımlarının genlik değerleri CVX, GA, TA, HTGA ve KGTA ile ayrı ayrı optimize edilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. İstenilen yan demet seviyesi ve yarı güç demet genişliklerini TA, HTGA ve KGTA sağlayabilmiştir. GA ise belirli hata ile maksimum nesil sayısına ulaşmıştır. KGTA konveks optimizasyon ile elde edilen besleme akımı genlik değerlerini de kullanarak istenilen sonuçları daha hızlı bulabilmiştir. KGTA ile elde edilen sonuçlar, HFSS ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

6. Kaynaklar

- [1] J.-T. Tsai, T.-K. Liu, J.-H. Chou, "Hybrid Taguchi-Genetic Algorithm for Global Numerical Optimization", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 8, no. 4, pp. 365-377, August, 2004.
- [2] R. L. Haupt, D. H. Werner, "Genetic Algorithm in Electromagnetics", Wiley-Interscience, Hoboken, N.J., 2007
- [3] W.-C. Weng, F. Yang, A. Z. Elsherbeni, "Linear Antenna Array Synthesis Using Taguchi's Method: A Novel optimization Technique in Electromagnetics", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 55, no. 3, pp. 723-730, March, 2007.
- [4] H. Lebrete and S. Boyd, "Antenna array pattern synthesis via convex optimization," in *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 45, no. 3, pp. 526-532, Mar 1997.
- [5] G. Taguchi, S. Chowdury, Y. Wu, "Taguchi's Quality Engineering Handbook", Wiley-Interscience, Hoboken, N.J., 2005
- [6] ANSYS HFSS Software (High Frequency Structural Simulator), (2016, October 31), retrieved from <http://www.ansys.com/products/electronics/ANSYS-HFSS>,
- [7] A. Ishimaru, "Theory of unequally-spaced arrays," in *IRE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 10, no. 6, pp. 691-702, November 1962
- [8] S. Boyd and L. Vandenberghe, "Convex Optimization", Cambridge University Press, 2004
- [9] L. Cen, W. Ser, W. Cen and Z. L. Yu, "Linear sparse array synthesis via convex optimization," *Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, Paris, 2010, pp. 4233-4236.
- [10] M. Grant ve S. Boyd, CVX : Matlab Software for Disciplined Convex Programming, (2016, October 31), retrieved from <http://cvxr.com/cvx/>
- [11] Y. M. Qin, C. Liao, T. Wei, "Application of Micro Genetic Algorithm Optimization of Time-Domain Ultra-Wide band Antenna Array", International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology, Gulin, ICMMT '07, pp. 18-21, 2007.
- [12] N. J. A. Sloane, A Library of Orthogonal Arrays, oa.12.11.2.2 (2016, October 31), retrieved from <http://neilsloane.com/oadir/oa.12.11.2.2.txt>
- [13] M.E. Yiğit, "Optimization Approach for the Synthesis of Conformal Antenna Arrays", (M.Sc. thesis, in Turkish) Graduate School of Science Engineering and Technology, İstanbul Technical University, 2014
- [14] T. Günel, "An Optimization Approach to the Synthesis of Rectangular Microstrip Antenna Elements with Thick Substrates for the Specified Far-Field Radiation", *Int. J. Electron. Commun. (AEÜ)*, vol. 54, no. 5, pp. 303-306, April, 2000