

BAZI OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİNİN YAMA ANTEN PROBLEMLERİNDEKİ PERFORMANSI

M. Emre AYDEMİR

Hava Harp Okulu, Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yeşilyurt, 34149, İstanbul
m.aydemir@hho.edu.tr

(Geliş/Received: 04.07.2013; Kabul/Accepted: 01.09.2014)

ÖZET

Optimizasyon yöntemleri basit lokalden, karmaşık global olanlara, türev tabanlılardan sürü-parçacık tabanlı algoritmaları kapsayacak şekilde geniş bir aralığa sahiptir. Bu sebeple Hesaplamalı Elektromanyetik (Computational Electromagnetics – CEM) problemleri için hangi yöntemin uygun olduğuna karar vermek güç olabilir. Literatürde CEM problemlerinin çözümüne yönelik birçok optimizasyon uygulaması mevcuttur ancak belirli tür problem için hangi yöntemin uygun olduğuna dair yapılmış kıyaslamalı çalışmalar yok denecek kadar azdır, dolayısıyla ilk denemelerde hesaplama kaynakları ve zaman verimsizce kullanılabilir. Bu çalışmada, yöntem olarak İnterpole edilmiş Quasi-Newton (QN), Nelder-Mead (NM), Genetik Algoritma (GA) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) Algoritması gibi birbirlerinden belirgin farkları olan algoritmalar seçilmiştir. Basit C-tipinde ve daha karmaşık H-tipinde iki yama antenin tasarımları bahsi geçen yöntemler ile gerçekleştirilmiştir. Antenlerin seçimindeki dikkat edilen husus, ilkinin tasarım parametreleri analitik olarak tanımlanabilirken ikincisinin daha karmaşık ve doğrusal olmayan bir modele sahip olmasıdır. Bu sayede optimizasyon yöntemlerinin performansları daha yüksek doğrulukla değerlendirilebilir. Antenlerin fiziksel boyutları algoritmaların giriş parametrelerini, hedeflenen rezonans frekanslarındaki geri dönüş kaybı (S_{11}) da hedef fonksiyonunu teşkil etmektedir. Problemlerin doğası ve karmaşıklığı sebebiyle algoritmaların çok farklı performans gösterdikleri gözlemlenmiştir. Algoritmaların performansları değerlendirilmiş ve uygun seçim kararını vermek için kriterler belirlenmiştir. Algoritmaların doğruluk, işlem zamanı gibi birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları sıralanmış, bulunan sonuçlar deneysel ölçümler ile de teyit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yama antenler, optimizasyon, hesaplamalı elektromanyetik yöntemleri.

PERFORMANCE OF SOME OPTIMIZATION METHODS FOR PATCH ANTENNA PROBLEMS

ABSTRACT

As the variety of optimization methods cover a broad range from simple local algorithms to more complex global ones and from derivative based to swarm-based ones it is hard to select which one is more suitable for Computational Electromagnetics (CEM) problems. In the literature there are vast amount of applications of optimization methods for the solution of CEM problems, however there is little or no information for selecting the proper method for the particular problem which may lead to inefficient utilization of computational resources and time. In this study, out of many optimization methods the Interpolated Quasi-Newton (QN), Nelder-Mead (NM), Genetic Algorithm (GA) and Particle Swarm Optimization Algorithms which have very distinctive features are selected. The performances of a simple C-shaped and a complex H-shaped tri-band micro strip patch antennas have been improved by these methods. The antennas are selected such that the first can be analytically modelled while the second is more complex and has a non-linear model, therefore the performance of the optimization methods may be assessed more accurately. The physical dimensions of the antennas are the input parameters of the algorithm while the desired return-loss (S_{11}) resonant frequencies denote the output. It was seen that the algorithms perform very differently due to the complexity and the nature of the problems. The performances of the algorithms have been evaluated and criteria have been concluded to help proper decision making. The trade-offs between the accuracy and computing times of the algorithms are discussed to help the designer select the proper method. The results are verified by measurements.

Keywords: Patch antennas, optimization, computational electromagnetics.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bu çalışmada birbirinden çok farklı optimizasyon metodlarının karmaşık elektromanyetik yapıların tasarımında gösterdikleri performansın incelenmesi, böylece tasarım sürecinin ilk adımlarında uygun optimizasyon metodunun seçilmesi hususunda kriterlerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Optimizasyon bir sistemin daha iyi performans vermek üzere eniyileştirilmesidir. Hesaplamalı Elektromanyetik problemleri optimizasyon yöntemlerinin sıklıkla kullanıldığı alanlardan birisidir. Diğer taraftan, yama antenler kablosuz haberleşme sistemlerinde fiziksel düşük profilleri ve imal edilmelerinin kolaylığı sebebiyle sıklıkla kullanılmaktadır. Elektromanyetik Bilgisayar Destekli Tasarım alanındaki gelişmelerle yama anten tasarımında da nümerik yöntemlerden faydalanılmaktadır. İlk çalışmalar en-dik alçalma, eşlenik gradyen, ve enterpole edilmiş Quasi-Newton Algoritmaları ile gerçekleştirilmiştir. [1-2]. Çıkış parametrelerinin yüksek doğrulukla formülize edilebildiği bu algoritmalar doğrusal hesaplamalı elektromanyetik problemleri için daha uygundur. Ancak bahsi geçen yöntemlerin global kapsamlı olmayışları bir eksiklik. Genetik Algoritma veya Karınca Kolonisi Algoritması gibi algoritmalar mutasyon veya feromon gibi operatörler yardımıyla bu açıklığı kapatmışlardır [3-4]. Çıkış parametrelerinin doğrusal olarak bölümlendirildiği ve bir çok lokal çözümün mevcut olduğu daha karmaşık hesaplamalı elektromanyetik problemleri bu tür algoritmalar için daha uygundur. Klasik-Powell Algoritması gibi türevden bağımsız algoritmalar da bu alanda popüler olmuşlardır [5]. Şu ana değin yapılmış çalışmaların çoğu bahsi geçen yöntemlerden bir veya birkaçını kullanmaktadır ki bir problemin optimizasyonunda adı geçen yöntemlerden hangisinin kullanılacağı konusunda belirsizlik olabilmektedir.

Çalışma şu şekilde organize edilmiştir: Quasi-Newton, Nelder-Mead, Genetik Algoritma ve Parçacık Sürü Optimizasyonu metodları sırasıyla 2 farklı yama antenin fiziksel ebatlarını istenilen rezonans frekansını elde edecek şekilde belirlemek amacıyla kullanılmışlardır. İlk anten kolaylıkla formülize edilebilen tek bir frekansta çalışan C-tipinde [6] bir yama anten, ikincisi ise daha karmaşık yapıya sahip çok-bandlı bir H-tipi yama antendir [7]. H-tipi antende bir çok girinti ve çıkıntı bulunduğu için doğrusal model ancak bölütleme ile oluşturulabilir ve problemin doğasından dolayı bir çok lokal minimum bulunmaktadır [8]. Bu iki farklı yama anten tek bir minimuma sahip kompleks bir yapı ile birden fazla minimuma sahip karmaşık bir yapının performanslarını değerlendirmek için uygun bir zemin teşkil ettikleri için tercih edilmişlerdir. Sonuçlar bölümünde, tasarımcının belli bir elektromanyetik problem için hangi tip algoritmaların daha uygun olacağına karar verebilmesi için uygulanacak

optimizasyon metodunun seçimine dair kriterler değerlendirilmiştir.

2. YAMA ANTENLER VE OPTİMİZASYON METODLARI (PATCH ANTENNAS AND THE OPTIMIZATION METHODS)

Bu bölümde iki farklı tipte yama anten anten ele alınmış ve bu antenlerin hesaplamalı elektromanyetik analiz methodu açıklanmıştır.

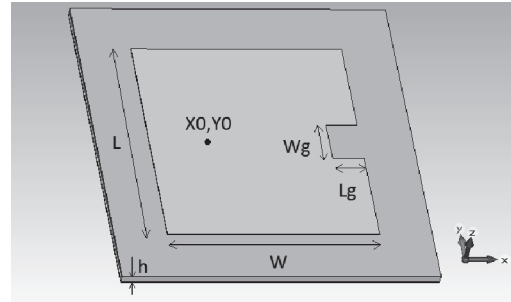
2.1. C-Şekilli Yama Anten (The C-Shaped Patch Antenna)

Basit şekilli yama antenlerin analiz ve imal edilmesi kolaydır. Bu tipteki antenler genellikle tek bir rezonans frekansına sahiptirler. Şekil 1'deki C-tipi anten TM_{10} modunda çalışır ve yama üzerine l_g uzunluğunda ve w_g genişliğinde bir yarık açılarak oluşturulur [9]. Anten FR-4 baskı devre malzemesinden imal edilmiş olup tabanı toprak düzlemini oluşturmaktadır. Antenin rezonans uzunluğu Arı Kolonisi Algoritması [10] ile yüksek doğrulukla modellenmiştir:

$$L_{C_{eff}} = 0.351L + 0.5 \left(\frac{L + l_g}{\epsilon_r^{0.033}} \right) \left(\frac{W}{h} \right)^{0.08} + \dots + 2.922 \left(\frac{w_g}{L} \right) - 0.436 l_g \left(\frac{l_g}{W} \right) \quad (1)$$

Buradan rezonans frekansı şu şekilde hesaplanabilir:

$$f_0 = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m}{L_{C_{eff}}} \right)^2 + \left(\frac{n}{W} \right)^2} \quad (2)$$



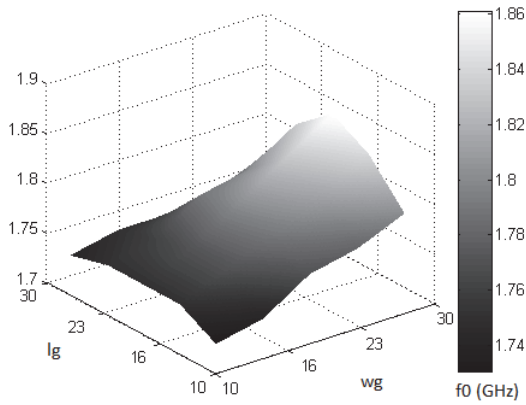
Şekil 1. C-şekilli yama anten. (The C-shaped patch antenna.)

m, n TM_{mn} modlarına karşılık gelirler. Birinci optimizasyon görevi yarık boyutları olan l_g ve w_g 'nin GSM şebekelerinde kullanılmakta olan 1.8GHz rezonans frekansını sağlayacak şekilde optimize edilmesi şeklinde seçilmiştir. Optimizasyon algoritmasında kullanılacak olan l_g ve w_g parametrelerinin değişim aralıkları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. C-şekilli yama anten boyutları. (C-shaped patch antenna dimensions.)

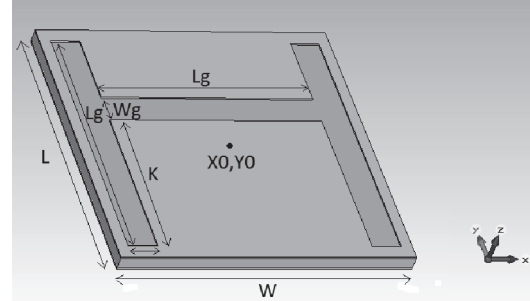
Yama anten boyutları (mm)					Koaksiyel port pozisyonu (mm)		Taban malzeme dielektrik sabiti
L	W	l_g	w_g	h	x_0	y_0	ϵ_r
35	35	10-30	10-30	1,5	10	25	4,3

Şekil 2 S_{11} geri dönüş kaybının yarık uzunluk ve genişlik parametrelerine göre değişimini göstermektedir. İstenilen f_0 değeri için l_g ve w_g değerlerini (1) ve (2) bağıntıları ile bulmak için bir çok deneme yapmak veya ampirik yöntemler kullanmak gerekmektedir. Buradaki grafikten $l_g=23$ ve $w_g=23$ mm değerleri için istenilen f_0 değerinin elde edildiği görülmektedir. Ancak, bulunan bu değer bir parameter taraması ile elde edilmiş olup sonuç grafiğinin 3 boyutlu olması sayesinde optimum değer gözle görülmektedir. Bu tür taramalar çok fazla zaman almaktadır. Bu yaklaşımı genellemek her defasında tüm araştırma uzayını görselleştirmek gerekeceği ve zaman kısıtlaması sebebiyle mümkün olmadığı için problem farklı optimizasyon yöntemleri ile çözülmüştür.

**Şekil 2.** Rezonans frekansının yarık genişlik ve uzunluğuna bağlı olarak değişimi (Resonant frequency (f_0) vs. the slot depth and width.)

2.2 Üç-Bandlı Yama Anten (The Tri-Band Patch Antenna)

Çokbandlı yama antenlerin daha karmaşık şekilleri olup SMM, WLAN, 3G vb. frekansları eşzamanlı olarak destekleyecek uzantı ve yarıklara sahiptirler [11-12]. Bu çalışmada seçilmiş olan ikinci anten, DCS ve WLAN (IEEE 802.11a/b/g) uygulamaları için yakın zamanda geliştirilmiş H-tipi bir yama antendir (Şekil 3). Basit şekilli yama antenlerin çok dar band genişliklerine ve zayıf çapraz polarizasyona sahip olmaları ile düşük enerji dönüşümü yapmaları gibi zayıf yanları, parazit yamaların eklenmesi ve optimize edilmesi ile E,H,X tipi daha karmaşık geometriye sahip yama antenler ile azaltılmıştır. H-tipindeki yama anten için baskın olan rezonans frekansı şu şekilde hesaplanır:

**Şekil 3.** H-şekilli yama anten. (The H-shaped patch antenna.)

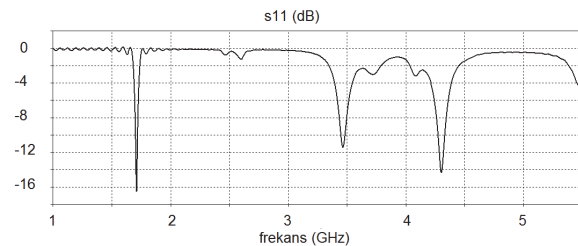
$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} - 2\Delta L \quad (3)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} - \frac{\epsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + \frac{12h}{w}}} \quad (4)$$

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.421 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (5)$$

$$W = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (6)$$

Burada, ΔL kaçak elektrik alanı (fringing) etkisini telafi etmek için uzunluğa yapılacak eklemelerdir. Bu anten üzerinde pek çok rezonans frekansı bulunduğu için, (3)-(6) formülasyonu baskın olan dışındaki tüm rezonans frekanslarını kapsamaz. Şekil 4 üçbandlı CMA'nin geridönüş kaybını göstermektedir. Anten özellikle 1.8, 2.6 ve 5.2 GHz frekanslarında çalışmak üzere tasarlanmıştır. Ancak, şekilde de görüldüğü gibi, rezonans frekanslarının istenilen değerlere gelmesi için bazı ayarların yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada ikinci amaç mevcut 1.7 ve 3.45 GHz dominant rezonans frekanslarının mobil iletişimde kullanılmakta olan 1.8 ve 2.6 GHz frekansı değerlerine getirilmesidir.

**Şekil 4.** H-tipi yama antenin geridönüş kaybı. (The return loss of the H-shaped patch antenna)

Çizelge 2. H-şekilli yama anten boyutları. (H-shaped patch antenna dimensions.)

Yama anten boyutları (mm)					Koaksiyel port pozisyonu (mm)		Taban malzeme dielektrik sabiti
L	W	l_g	w_g	h	x_0	y_0	ϵ_r
40	40	19-29	1-7,5	1,5	20	20	4,3

Optimizasyon algoritmasında kullanılacak olan l_g ve w_g parametrelerinin değişim aralıkları Çizelge 2’de verilmiştir.

2.3 CEM Çözüm Yöntemi (The CEM Solution Method)

Günümüze değin CEM problemlerinin nümerik zaman-domeninde çözümü için bir çok metod geliştirilmiştir. Bütün bu yöntemlerin esas bileşeni Maxwell Denklemleridir. Bu denklemlerin nümerik çözüm yöntemlerinden birisi olan FIT yönteminde [13], elde edilen ayırık matris denklemleri elektromanyetik alan denklemlerinin bire bir dönüşümünü temsil ederler. FIT nümerik sonuçların kesinlikle kararsız olmadığını temin eder. FIT’nin başka bir avantajı ise, sınırlı hafızaya sahip bilgisayarlarda çalışmasına elveren basitliğidir. Bu sebeplerden dolayı bu çalışmada FIT yöntemi seçilmiştir. Çalışmada hedef fonksiyonu şu şekilde belirlenmiştir:

$$E_C = \sum_{i=1}^{50} \left| S_{11}^2(f_{dC}) - S_{11}^2(f_{(i+1775).10^6}) \right| \quad (7)$$

$$E_H = \sum_{i=1}^{10} \left| S_{11}^2(f_{dH1}) - S_{11}^2(f_{(i+1795).10^6}) \right| + \dots \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{10} \left| S_{11}^2(f_{dH2}) - S_{11}^2(f_{(i+2595).10^6}) \right|$$

burada, E_C , C-tipi, E_H , H-tipi yama antenler için hedef fonksiyonları, $S_{11}(f)$ yama antenlerinin yanlarındaki indiste belirtilen frekanslardaki geri dönüş kaybı, f_{dC} , f_{dH1} ve f_{dH2} ise sırasıyla C-tipi anten için 1.8GHz’de -35 dB ve H-tipi anten için 1.8GHz ve 2.6GHz frekanslarında hedeflenen -20dB geri dönüş kayıplarıdır. Sınırları hedef fonksiyonları ile belirlenen band genişliklerinde en düşük değeri veren hedef fonksiyonu en iyi çözüm setini sağlayacaktır.

3. OPTİMİZASYON METODLARI VE PERFORMANSLARI (OPTIMIZATION METHODS AND THEIR PERFORMANCES)

3.1 Enterpolasyonlu Quasi-Newton Algoritması (The Interpolated Quasi-Newton Algorithm)

Enterpolasyonlu Quasi-Newton Algoritması (QN) türev tabanlı olup (bazen “tepe tırmanma” methodu ile isimlendirilir) geleneksel lokal arama yöntemlerinden olup en küçük ortalamalı kareler (LMS) ve rekürsif en küçük kareler (RLS) algoritmalarının ortasında yer alır. QN algoritmaları LMS’ten daha hızlı yakınsama oranına sahiptir ve

global araştırma yöntemlerinden daha az karmaşıktır. Ancak bir çok lokal minimuma sahip karmaşık optimizasyon problemleri karşısında, bu teknikler güvenilir sonuçlar vermeyebilirler ve global yerine lokal bir çözüm bulunabilir [14].

3.2 Nelder-Mead Algoritması (The Nelder-Mead Algorithm)

Nelder-Mead (NM) Algoritması [15] doğrusal olmayan bir regresyon metodudur. Bu makalede kullanılan diğer algoritmalarından daha az hesap yoğunluğuna sahiptir. NM metodu bir tepeşığı araştırma metodudur. Lokal minimumu çok kolaylıkla bulabilir. NM metodu gradyent bilgisini hesaplamadığı için, değişken sayısı çok fazla olduğunda daha avantajlıdır. NM metodunda, her iterasyon esnasında, sadece bir tane yeni kenar üretilir, bu sebeple türev-tabanlı QN veya yüksek miktarda örnek (popülasyon) içeren Genetik Algoritmadan daha hızlı yakınsar. Çalışmada hedef fonksiyonunun NM yöntemiyle optimizasyonunda minimum simplex boyutu 1 μ m alınmış, başlangıç noktası olarak da düzenli gelişigüzel dağılım kullanılmıştır.

3.3 Genetik Algoritma (The Genetic Algorithm)

Genetik Algoritma (GA) J. H. Holland tarafından canlıların kalıtsal özelliklerinin optimizasyona uygulanması ile geliştirilmiştir [16]. GA’da, başlangıçta rastgele seçilmiş giriş parametrelerinden ve bunlara karşılık düşen hedef fonksiyonlarından (kromozomlar) oluşan bir popülasyon oluşturulur. GA hedef fonksiyonun giriş parametrelerine bağımlılığı ile ilgili hiç önbilgi yoksa aşırı derecede yavaş yakınsayabilir. Bu sebeple özellikle araştırma uzay aralığının çok geniş olduğu problemlerde algoritma çalıştırılmadan önce bir test popülasyonu ile bahsi geçen iki değişken arasındaki bağıncelenip, kromozomların daha iyi hedef fonksiyonları ürettiği aralıklardan seçilmesi istenilen sonucun daha kısa sürede elde edilmesini sağlamaktadır. Çalışmada ikili sistem GA kullanılmış, her değişken 64 bit ile örneklenmiş, kromozom sayısı 32, mutasyon oranı %60 alınmıştır.

3.4 Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)

PSO, canlı sürülerinin hareket ve ortak zekasına dayalı bir optimizasyon tekniğidir. Bu algoritma elektromanyetizma ve anten tasarımı alanlarında

yakın zamanlarda uygulama alanı bulmuştur [17]. Optimize edilecek fonksiyon için, araştırma uzayındaki sürü içindeki her parçacığa gelişigüzel bir başlangıç pozisyon ve sürati verilir. Her parçacık ve sürünün tamamı genelinde elde edilen en iyi hedef fonksiyon değerleri kaydedildikten sonra, araştırma uzayındaki bir sonraki iterasyon için giriş değerleri bu hedef fonksiyonları gözönüne alınarak hesaplanır. Çalışmada sürü popülasyonu 15, başlangıç noktası olarak da düzenli gelişigüzel dağılım kullanılmıştır.

Bütün optimizasyon yöntemleri için maksimum iterasyon sayısı 500 olarak seçilmiş, daha yüksek iterasyon değerleri için tüm algoritmaların yankınsadığı gözlemlenmiştir. Optimizasyon sonuçlarında elde edilen antenlerin boyutları Çizelge 3-4'te, farklı algoritmalar için elde edilen hedef fonksiyonları ise Çizelge-5'te verilmiştir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Metodların karşılaştırmalı sonuçları Şekil 5-6'da gösterilmiştir. Şekil 5'deki C-tipi yama anten için bütün algoritmaların 1.8 GHz civarında başarı ile yakınsadığı görülmektedir. Her ne kadar en düşük geridönüş kaybı NM yöntemi ile elde edilmiş olsa da, algoritma yakınsadıktan sonra bu değere karşılık gelen 1,796 GHz frekansı için giriş parametreleri (anten ebatları), hedeflenen 1,800 GHz değerini elde edememişlerdir. Benzer durum QN ve GA algoritmaları için de geçerli iken, PSO algoritması ile 32 iterasyon sonunda hedeflenen 1,800GHz rezonans frekansı için anten ebatları hesaplanmıştır. Pratikte -10 dB altı geridönüş kaybının kabul edilebilir bir değer olduğu ve bu frekanslarda band genişliklerinin MHz seviyelerinde olduğu için, PSO Algoritmasının basit mimariler için daha efektif olduğu değerlendirilebilir.

Çizelge 3. C-tipi yama anten için optimizasyon parametreleri (Optimization parameters for the C-shaped patch antenna)

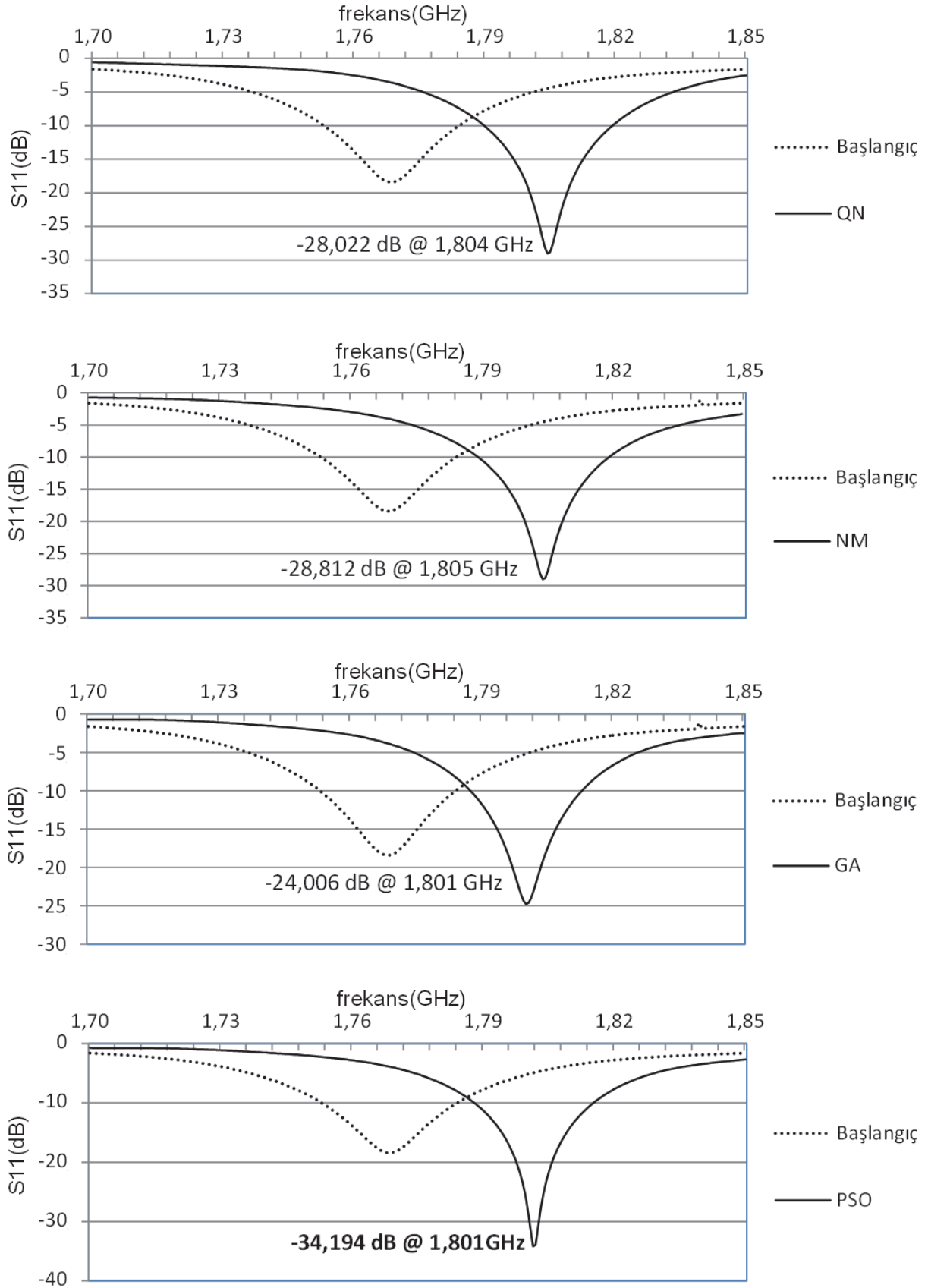
C-tipi yama anten için başlangıç değerleri	l_g (mm)	w_g (mm)
		15
QN ile bulunan ebatlar	10,02	5,02
NM ile bulunan ebatlar	21,70	11,26
GA ile bulunan ebatlar	22,34	11,62
PSO ile bulunan ebatlar	25,01	12,83

Çizelge 4. H-tipi yama anten için optimizasyon parametreleri (Optimization parameters for the H-shaped patch antenna)

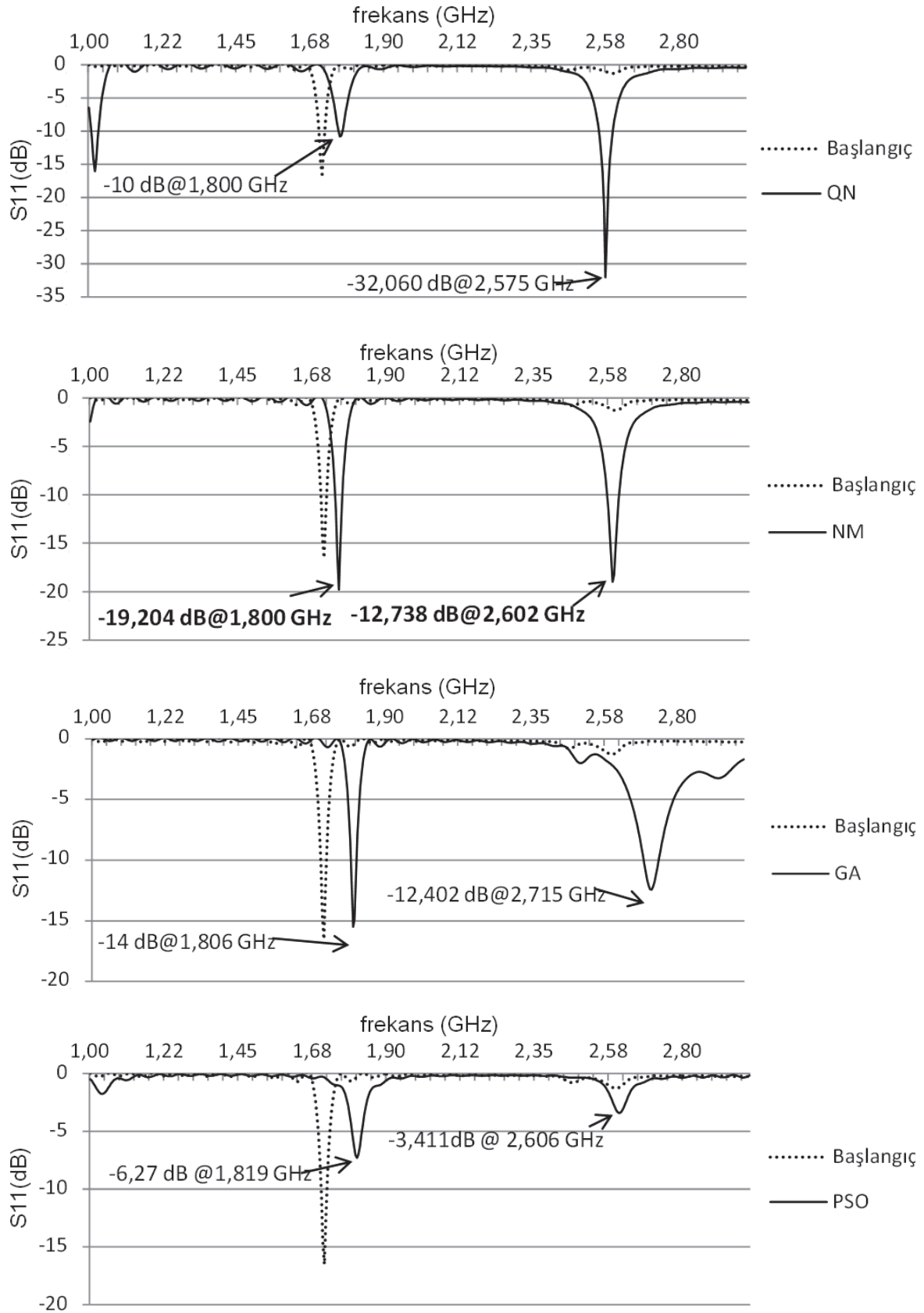
H-tipi yama anten için başlangıç değerleri	l_g (mm)	w_g (mm)	X_0 (mm)	Y_0 (mm)
		18,11	3,25	-1,74
QN ile bulunan ebatlar	10	3,44	-1,80	-6,10
NM ile bulunan ebatlar	17,50	2,26	2,36	1,86
GA ile bulunan ebatlar	25,47	3,68	-2,65	3,09
PSO ile bulunan ebatlar	15,38	2,221	-1,69	-6,67

Çizelge 5. Farklı optimizasyon yöntemleri için hedef fonksiyonları (Cost functions for different optimization algorithms.)

Algoritma	C-tipi yama anten için			H-tipi yama anten için		
	Hedef fonksiyonu	Yakınsama iterasyon sayısı	20 Mhz band genişliği için ortalama geridönüş kaybı (dB)	Hedef fonksiyonu	Yakınsama iterasyon sayısı	20 Mhz band genişliği için ortalama geridönüş kaybı (dB)
QN	46777	10	-18,775	2785	10	-13,196
NM	46584	16	-19,041	2357	17	-15,030
GA	49550	86	-17,673	3093	44	-13,476
PSO	46022	32	-19,812	3709	115	-8,740



Şekil 5. C-tipi yama antenler için optimizasyon sonuçları. (Optimization results for the C-shaped patch antennas.)



Şekil 6. C-tipi yama antenler için optimizasyon sonuçları. (Optimization results for the C-shaped patch antennas.)

Diğer taraftan, iki farklı rezonans frekansına sahip H-tipi anten için, QN Algoritmasının sadece on adet iterasyondan sonra hızlıca yakınsadığı ve en yüksek hedef fonksiyonuna sahip olduğu Şekil 6'da görülmektedir. Ancak hedef fonksiyonunun yüksek olmasının sebebi istenilen rezonans frekansı değerlerinde düşük ama geniş bandgenişliği elde edilmesidir. Benzer durum GA için de geçerlidir. 1.8 GHz için GA ile -14 dB gibi iyi bir değer bulunmuş olsa da, 2.6 GHz için elde edilen en iyi değer -2.2dB olduğundan GA çok bandlı anten için yakınsamamıştır. PSO algoritmasının ise, yüksek iterasyon sayısına rağmen, istenilen rezonans frekanslarında -10 dB'den yüksek S_{11} değerleri vermesi bu sonuçları pratikte geçersiz kılmaktadır. Bu durumda hata fonksiyon değeri QN algoritmasından sonra ikinci sırada bulunmasına rağmen, 1,800GHz'de -19,204 dB ve 2,600 GHz'de -12,738 dB değerleri ile NM algoritmasının daha karmaşık optimizasyon problemleri için uygun bir seçim olduğu değerlendirilebilir. Algoritmaların farklı yama antenler için performansları şu şekilde özetlenebilir:

QN algoritması rezonans frekansının formülize edilebildiği tek-bandlı CMA'lar gibi basit yapılarda daha verimli çalışmaktadır. Bu gradyen-tabanlı algoritmalar basit matematiksel işlemlere sahiptir ve istenilen çalışma noktasına kolaylıkla yakınsayabilirler. Çokbandlı CMA'lar gibi daha karmaşık yapılarda tüm frekans bandına dağılmış birden fazla minimum nokta bulunmaktadır. QN algoritması çok kısa sürede lokal minimumda yakınsar ama bu hedef fonksiyon kriterini sağlamaz.

NM Algoritması Basit EM mimarilerde iyi performans göstermesine rağmen ancak yakınsaması için daha fazla iterasyon gerekmektedir. NM algoritması araştırma uzayının çok geniş olduğu durumlarda ve GA gibi algoritmaların popülasyon

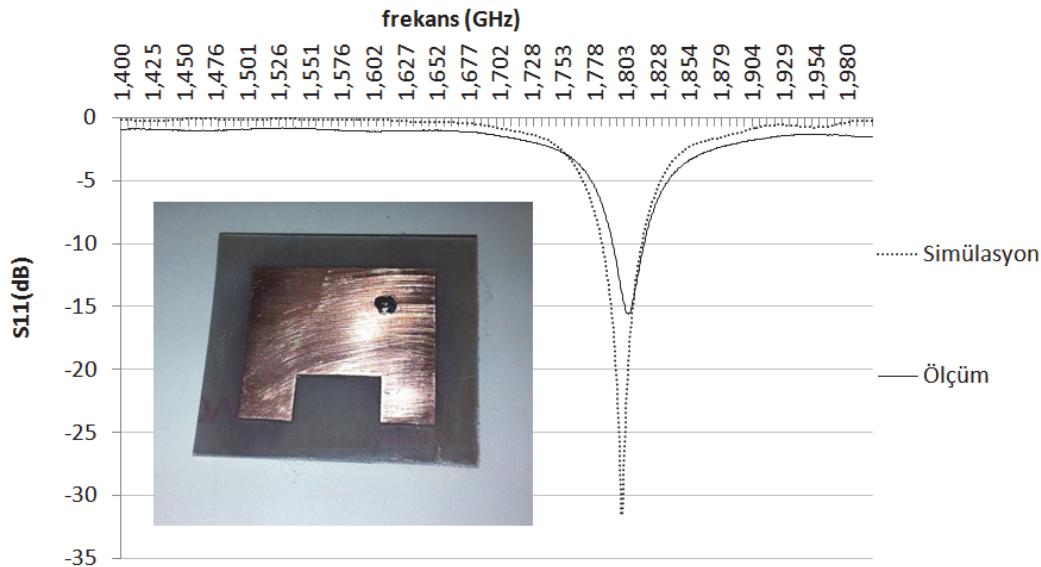
yapısı, mutasyon oranı gibi parametrelerinin yakınsamaya etkilerinin denenmediği durumlarda karmaşık yapılar için daha avantajlıdır.

GA, basit yama antenlerde iyi performans gösterir, ancak yakınsaması için diğer algoritmalarından daha fazla sayıda iterasyon gerekmektedir. GA'nın yakınsaması mutasyon ve çaprazlama oranları ile çok yakından ilgilidir. Bu parametreler iyi seçilmediği takdirde istenilen netice elde edilse bile, işlem süresi pratik olmayacak derecede uzun olabilecektir.

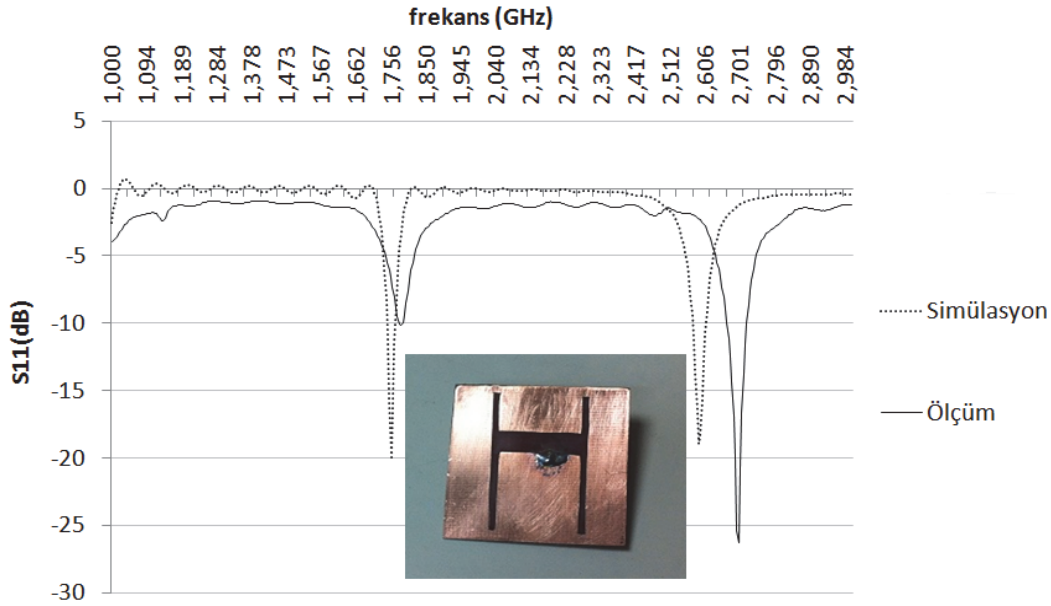
PSO, nispeten daha basit yapıya sahip yama antenlerde kısa sürede en iyi hedef fonksiyonunu sağlayacak şekilde başarı ile yakınsamakta, ancak araştırma uzayının çok daha geniş olduğu karmaşık yama antenlerde NM ve GA algoritmalarından daha düşük performans göstermektedir.

Bütün algoritmaların çalışmasını genel olarak özetlemek gerekirse, parametre ve hedef fonksiyonu sayısının mümkün olduğunca az tutulması hesaplama süresini üstel olarak azaltmaktadır. Giriş parametre aralığını uygun şekilde tanımlamak ve uygun başlangıç değerlerini seçmek için optimizasyon öncesinde, tercihan görsellik için 3-boyutlu kaba bir parametre taraması, parametrelerin hedef kriteri üzerindeki etkisini görmek için faydalı olacaktır. Optimizasyon süreci boyunca parametre değişikliklerini gözlemek algoritmanın yakınsama davranışı üzerinde fikir edinmek için faydalıdır. Algoritmanın yakınsamadığı durumlarda giriş parametrelerini değiştirmek gerekebilmektedir.

Simülasyon ile hesaplanan nihai yama anten ebatlarının doğruluğunu teyit etmek amacıyla, her iki anten de imal edilmiş ve S_{11} parametreleri network analizör cihazı ile ölçülmüştür. C-tipi yama anten için Şekil 7'de elde edilen grafikte, simülasyon ve ölçüm sonuçlarının büyük oranda örtüştüğü görülmektedir.



Şekil 7. C-tipi yama anten için PSO ile bulunan simülasyon sonuçlarının ölçümle karşılaştırılması (Measurement vs. PSO method simulation result for the C-shaped patch antenna.)



Şekil 8. H-tipi yama anten için PSO ile bulunan simülasyon sonuçlarının ölçümle karşılaştırılması (Measurement vs. PSO method simulation result for the H-shaped patch antenna.)

H-tipi yama anten içinse, Şekil 8’de 1.8 GHz frekansı için geri dönüş kaybı değerleri örtüşürken, 2,6 GHz frekansında ölçüm ve simülasyon sonuçları arasında bir miktar fark olduğu göze çarpmaktadır. Buna sebep olarak bu tipteki anten ebatlarının C-tipi antene göre daha küçük olması ve antenin yüksek doğrulukla imalatının, özellikle besleme portunun empedans uyumunu sağlanmasının yüksek frekanslarda nispeten daha güç olması gösterilebilir. Ancak genelleme yapılacak olursa, her iki tip anten için de simülasyon sonuçlarının ölçümler ile büyük oranda örtüşükleri, bu sebeple FIT elektromanyetik hesaplama yönteminin başarıyla kullanıldığı söylenebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma Türk Hava Kuvvetleri Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü tarafından sağlanan CST yazılımı ile Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümü Elektromanyetik ve Mikrodalga Laboratuvarı imkanları ile desteklenmiş olup yazar bu kurumlara destekleri sebebiyle teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Preis, K “Comparison of different optimization strategies in the design of electromagnetic devices”, **IEEE Transactions on Magnetics**, Cilt 27, 4154-4157, 1991.
2. Chatuthai C., Ramirez J.A. ve Freeman E.M., “An improved constrained quasi-Newton method for the solution of inverse electromagnetic problems”, **IEEE Transactions on Magnetics**, Cilt 32, 1318-1321, 1996.
3. Günel T., Aydemir M.E., “Application of continuous parameter genetic algorithm to the problem of synthesizing bandpass distributed amplifiers”, **International Journal of Electronics and Communications**, Cilt 56, Sayı 5, 351-354, 2002.
4. Aydemir M.E., Günel T., Ustuner F., “Genetic approach to the minimization of the coupling between antennas”, **International Journal of Electronics and Communications**, Cilt 60, Sayı 4, 299-305, 2006.
5. Buckley M.J., “Synthesis of shaped beam antenna patterns using implicitly constrained current elements”, **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, Cilt 44, Sayı 2, 192-197, 1996.
6. Toktaş A., M.B. Biçer, Akdağlı A., Kayabaşı A., “Simple Formulas for Calculating Resonant Frequencies of C and H Shaped Compact Microstrip Antennas Obtained by Using Artificial Bee Colony Algorithm”, **Journal of Electromagnetic Waves and Applications**, Cilt 25, 1718-1729, 2011.
7. Afzal W., Rafique U., Ahmed M. M., Khan M. A., Mughal F. A., “A Tri-Band H-Shaped Microstrip Patch Antenna for DCS and WLAN Applications”, **Proceedings of 19th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications**, 256-258, 2012.
8. Jin N., Rahmat-Samii Y., “Parallel particle swarm optimization and finite-difference time-domain (PSO/FDTD) algorithm for multiband and wide-band patch antenna designs”, **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, Cilt 53, Sayı 11, 3459 - 3468, 2005.

9. Deshmukh A., Kumar G., “Formulation of resonant frequency for compact rectangular microstrip antennas”, **Microwave and Optical Technology Letters**, Cilt 49, 498-501, 2007.
10. Toktaş A., Biçer M.B., Akdağlı A., Kayabaşı A., “Simple formulas for calculating resonant frequencies of C and H shaped compact microstrip antennas obtained by using artificial bee colony algorithm”, **Journal of Electromagnetic Waves and Applications**, Cilt 25, 1718-1729, 2011.
11. Balanis C.A., **Antenna Theory, Analysis and Design**, John Wiley and Sons, 1997.
12. Türk A.S., Aydemir M.E., Göse E., İlarıslan M., “Practical Design Considerations for Tri-Band Microstrip Patch Antennas”, **Proceedings of ISAP 2012**, 1055-1058, 2012.
13. Weiland T., “A Discretization Method for the Solution of Maxwell’s Equations for Six-Component Fields,” **Journal of Electronics and Communication**, Cilt. 31, 116-120, 1977.
14. K. Berberidis, “A Step-by-Step Quasi-Newton Algorithm in the Frequency Domain and Its Application to Adaptive Channel Equalization”, **IEEE Transactions on Signal Processing**, Cilt. 52, 3335-3344, 2004.
15. Nelder J. A., Mead R., “A simplex method for function minimization,” **Comput. J.**, Cilt 7, 308–313, 1965.
16. Holland J., “Genetic Algorithms”, **Scientific American**, vol. 7, pp.66-72, 1992
17. Minasian A.A, “Complementary Particle Swarm Antennas for next generation wireless communication systems”, **International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS)**, 895 – 898, 2012.