

# Farksal Gelişim Algoritmasının Çok Girişli Çok Çıkışlı Sistemlerde Optimum Anten Konfigürasyonuna Uygulanması

<sup>1</sup> İbrahim Develi

<sup>2</sup> Egemen N. Yazlık

<sup>1</sup> Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Erciyes Üniversitesi, 38030 Kayseri

<sup>2</sup> Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Erciyes Üniversitesi, 38030 Kayseri

<sup>1</sup>eposta: [develi@erciyes.edu.tr](mailto:develi@erciyes.edu.tr)

<sup>2</sup>eposta: [egemenertok@hotmail.com](mailto:egemenertok@hotmail.com)

## Özet

Alıcı ve verici kısımda çoklu antenlere sahip olan Çok Girişli Çok Çıkışlı (ÇGÇÇ) sistemler, yüksek veri hızı ve artan kapasite sağlamaktadır. Son yıllarda, çeşitli optimizasyon problemlerinin çözümünde verimli bir yaklaşım sergilediği doğrulanan Farksal Gelişim (FG) algoritması, artan bir ilgi görmektedir. Bu çalışmada, bir ÇGÇÇ sistemde ergodik kapasiteyi optimize eden optimum anten konfigürasyonunun FG algoritması ile belirlenmesi problemi ele alınacaktır. Kullanılan optimizasyon yazılımı içerisindeki aday ifade kümesinden en uygun ifadeyi ve seçilen ifadeye ait parametre değerlerini bulan iki seviyeli FG algoritması kullanılmıştır. Önerilen ifadenin sonuçları yüksek İşaret Gürültü Oranı (SNR) yaklaşımı, sonuçur yaklaşım ve optimum anten sayısı oranı sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yeni ifade ile üretilen sayısal sonuçların, gürültü sınırlı sonuçur kapasite ifadesini maksimum yapan optimum anten sayısı oranı ile çok iyi bir uyum sağladığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Çok Girişli Çok Çıkışlı sistemler, Anten konfigürasyonu, Farksal gelişim algoritması, Kablosuz haberleşme

## 1. Giriş

Kablosuz haberleşmede geleneksel Tek Girişli Tek Çıkışlı (TGTC) sistemlerden daha iyi özellikleri ve daha iyi performans gösterdiği için ÇGÇÇ sistemler son olarak geliştirilen sistemlerdir [1-2]. Yüksek veri hızı sağlamak için TGTC sistemler yüksek güçlü cihazlar veya yüksek değerli modülasyonlar gerektirmektedir. Telatar [3], Foschini ve Gans [4]'ün çalışmalarında da görüldüğü üzere alıcı ve verici tarafın her ikisinde de çoklu anten bulunan ÇGÇÇ sistemler çok fazla saçılmanın olduğu ortamda kablosuz bağlantı performansını iyileştirmekte ve herhangi bir ek güç veya bant genişliği gerektirmeden kapasite artışı sağlamaktadır [3-6]. Son zamanlarda, ÇGÇÇ sistemlerin ergodik kapasitesini optimize etmek için baz istasyonu

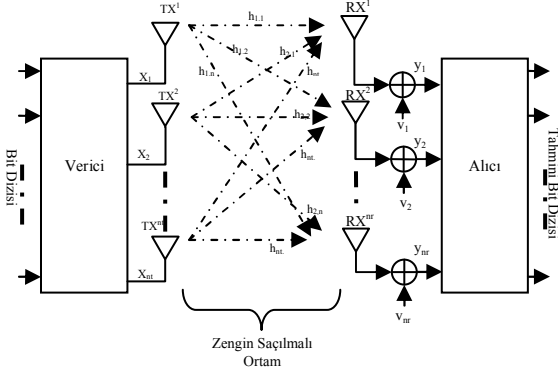
(verici) ve gezgin kısımdaki (alıcı) antenlerin sayısının seçimi konusu, iki taraftaki antenlerin maliyetinin eşit olmadığı durum varsayılarak incelenmiştir [7]. Bahsedilen çalışmada, sistemin toplam kapasitesi yukarı yönlü bağlantı ve aşağı yönlü bağlantı ergodik kapasitesinin lineer birleşimi olarak tanımlanmıştır. Optimum anten sayısı oranı (optimum anten konfigürasyonu) için gereken durum elde edilmiştir ve baz istasyonundaki anten sayısı ile gezgin birimdeki anten sayısı oranının SNR ile nasıl değiştiği ayrıntılı sayısal hesaplamalarla elde edilmiş ve sistemin toplam kapasitesinin maksimum olduğu durumdaki oran değeri hesaplanmıştır. Yüksek SNR varsayımına dayanan optimum anten sayısı oranı analizlerinin düşük SNR değerlerinde doğruluğu zayıftır [7]. Yakın bir çalışmada, optimum anten sayısı oranının belirlenmesi FG algoritması ile gerçekleştirilerek yeni bir ifade tanıtılmıştır [8]. Bahsedilen çalışmadaki sonuçların gürültü sınırlı sonuçur kapasiteyi maksimum yapan optimum anten sayısı oranı ile çok iyi bir uyum sağladığı gözlenmiştir fakat ifadenin doğruluğu düşük SNR varsayımı ile sınırlandırılmıştır.

Bu çalışmada, FG algoritmasının bir mühendislik uygulaması olarak ÇGÇÇ sistemlerde ergodik kapasiteyi optimize eden optimum anten konfigürasyonunun belirlenmesi problemi üzerinde durulmuştur. Önerilen ifade ile elde edilen sonuçların sonuçur kapasite ifadesini maksimum yapan optimum anten sayı oranları ile çok iyi bir uyum gösterdiği gözlenmiştir. Sonraki kısımda ÇGÇÇ sisteminin kapasite tanımları üzerinde durulmuştur. 3'te optimum anten konfigürasyonunun belirlenmesi için FG algoritması uygulaması anlatılmıştır. 4'te önerilen ifadenin doğruluğunu gösteren bazı sayısal çalışmalar verilmiş ve 5'te sonuç verilmiştir.

## 2. ÇGÇÇ Sistem Modeli

Tipik bir gezgin haberleşme yayılım ortamında vericiden alıcıya gönderilen işaret genellikle yansımalar, kırılmalar ve saçılmalarla çok yönlü yayılım ortamında bozulur. Öncelikle, çok yönlü yayılıma maruz kalan tümleşik kablosuz haberleşme

sistemlerindeki bu problemin azaltılması gerekmektedir. Tümlleşik haberleşme sistemlerinden farklı olarak çok yollu yayılım ÇGÇÇ sistemi için bir ihtiyaçtır. Şekil 1.'de ÇGÇÇ sistem modelinin blok diyagramı görülmektedir. ÇGÇÇ kablosuz haberleşme sisteminde verici kısımda  $n_t$  adet anten (baz istasyonu antenleri) ve alıcı kısımda  $n_r$  adet anten (gezgin antenler) görülmektedir.



Şekil 1.  $n_t$  verici ve  $n_r$  alıcı antenli ÇGÇÇ sistemin blok diyagramı.

Aşağı bağlantı kanalının giriş-çıkış bağıntısı,

$$y = \sqrt{\frac{\rho}{n_t}} Hx + v \quad (1)$$

şeklinde. Burada,  $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_{n_t}]^T$  iletilen işaret vektörü ve  $[\cdot]^T$  transpoz ifadesidir.  $\mathbf{y} = [y_1, y_2, \dots, y_{n_r}]^T$  alıcıdaki işaret vektörünü gösterir ve  $\mathbf{v} = [v_1, v_2, \dots, v_{n_r}]^T$   $\sigma^2$  varyanslı, sıfır ortalamalı, bağımsız ve özdeş dağılımlı eklenebilir kompleks Gauss gürültüsüdür.  $H(n_t \times n_r)$  boyutlu kanal matrisidir.

$$H = \begin{bmatrix} h_{1,1} & \dots & h_{1,n_t} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n_r,1} & \dots & h_{n_r,n_t} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$h_{i,j}$ ,  $i$ . alıcı ve  $j$ . verici anten arasındaki iletim karakteristiğini belirtir.  $h_{i,j}$  elemanları birim varyanslı, sıfır ortalamalı bağımsız ve özdeş dağılımlı (i.i.d.) Gauss değişkenleri olarak varsayılmaktadır. Son olarak da  $\rho$  iletilen toplam güçtür. Kanalı alıcıda çok iyi bilindiği, vericide bilinmediği varsayılmaktadır. ÇGÇÇ sistemin ortak enformasyonu [9],

$$I = \log_2 \det \left( I_{n_r} + \frac{SNR}{n_t} HH^H \right) \text{bps/Hz} \quad (3)$$

şeklinde.  $I_{n_r}$ , özdeş matristir, İşaret Gürültü Oranı,

$$SNR = \frac{\rho}{\sigma^2} \quad (4)$$

şeklinde. Ergodik kapasite,

$$C = E\{I\} = E \left\{ \log_2 \det \left( I_{n_r} + \frac{SNR}{n_t} HH^H \right) \right\} \quad (5)$$

olarak ifade edilir.  $E(\cdot)$  beklenen değer operatörüdür.  $C_T$ 'yi maksimum yapmak için seçilecek olan  $n_t$  ve  $n_r$  ifadelerini içeren toplam sistem kapasitesi,

$$C_T(n_t, n_r, SNR_1, SNR_2) = C^{yukari}(n_t, n_r, SNR_1) + \lambda C^{asagi}(n_t, n_r, SNR_2) \quad (6)$$

şeklinde yazılabilir.  $C^{yukari}$ , yukarı yönlü bağlantı ergodik kapasitesi,  $C^{asagi}$ , aşağı yönlü bağlantı ergodik kapasitesidir.  $SNR_1, SNR_2$  sırasıyla yukarı ve aşağı yönlü bağlantı İşaret Gürültü Oranlarını belirtmektedir.  $\lambda$  yukarı yönlü bağlantı ve aşağı yönlü bağlantı kapasitelerinin önemi için bir ağırlık ölçütüdür. Sistemin toplam kapasitesinin tanımı için aşağıdaki ifadeler kullanılır.

$$n_t, n_r > 0, n_t \mu_t + n_r \mu_r \leq 1, R = (\mu_r / \mu_t) \geq 1$$

$\mu_t$  ve  $\mu_r$ , verici ve alıcıdaki her bir anten başına olan maliyettir.  $R$ , maliyet oranıdır. Bu bölümde spesifik olarak sistemin toplam kapasitesi aşağı yönlü bağlantı ve yukarı yönlü bağlantı kapasitelerinin ( $\lambda$ ) toplamı olarak varsayılmaktadır. [7] çalışmasında daha fazla anlatım bulunmaktadır.  $n_t$  verici ve  $n_r$  alıcı antenlerin bulunduğu sistemin kapasitesinin tam ifadesinin [3] çalışmasında da bahsedildiği gibi hesap karmaşası çoktur, bu yüzden optimizasyon için sonuçlar kapasite tanımı bir yaklaşım olarak kullanılmaktadır [10-11]. Her bir alıcı anten başına gürültü sınırlı sonuçlar kapasite,

$$C(\xi, SNR) = \log_2 \left[ 1 + SNR - F \left( \xi, \frac{SNR}{\xi} \right) \right] + \xi \log_2 \left[ 1 + \frac{SNR}{\xi} - F \left( \xi, \frac{SNR}{\xi} \right) \right] - \xi \frac{\log_2(e)}{SNR} F \left( \xi, \frac{SNR}{\xi} \right) \quad (7)$$

burada,

$$\xi = \frac{n_t}{n_r}$$

ve

$$F(u, m) = \frac{1}{4} \left[ \sqrt{m(1+\sqrt{u})^2 + 1} - \sqrt{m(1-\sqrt{u})^2 + 1} \right]^2 \quad (8)$$

olarak ifade edilir. Anten sayısının çok az olduğu durumlarda, sonuçlar kapasite, ergodik kapasiteye fazlasıyla doğru bir yaklaşım sağlamaktadır [12].

Yüksek SNR değerlerinde eşitlik (7) aşağıdaki gibi yazılabilir [12].

$$C(\xi, SNR) \approx \begin{cases} \log_2 \frac{SNR}{e} - (\xi - 1) \log_2 \left(1 - \frac{1}{\xi}\right), \xi \geq 1 \\ \xi \log_2 \frac{SNR}{\xi e} - (1 - \xi) \log_2 (1 - \xi), \xi \leq 1 \end{cases} \quad (9)$$

eşitlik (7) ve eşitlik (9)'a göre eşitlik (6) tekrar yazılırsa [7],

$$C_T(n_t, n_r, SNR_1, SNR_2) = n_t C\left(\frac{n_t}{n_r}, SNR_1\right) + \lambda n_r C\left(\frac{n_t}{n_r}, SNR_2\right) \quad (10)$$

Sistemin toplam kapasitesinin optimizasyonu, aşağıda verilen fonksiyonun maksimizasyonuna eşittir [7],

$$\Omega(c_t, c_r, SNR_1, SNR_2) = \mu_r C_T(n_t, n_r, SNR_1, SNR_2) = c_t C\left(\frac{c_r}{R c_t}, SNR_1\right) + \frac{\lambda c_r}{R} C\left(\frac{R c_t}{c_r}, SNR_2\right) \quad (11)$$

burada,  $c_t = n_t \mu_t$  ve  $c_r = n_r \mu_r$ 'dir.

$$c_r + c_t \leq 1, \quad c_r > 0 \quad \text{ve} \quad c_t > 0$$

$\Omega(c_t, c_r, SNR_1, SNR_2)$  ifadesinin maksimum yapılması ile ilgili detaylı optimizasyon işlemine dayanan, sistemin toplam maksimum kapasiteli anten sayısı oranı aşağıdaki eşitliği sağlamaktadır.

$$K_{opt} e^{R\lambda / K_{opt}} \left(1 - \frac{1}{K_{opt}}\right)^{(1+\lambda)(1+R)} = \frac{e}{SNR^{1+\lambda}} \quad (12)$$

Burada,

$$K_{opt} = \frac{n_t}{n_r} \quad (13)$$

şeklindedir ve eşitlik (12)'nin analitiksel çözümü yoktur. Eşitlik (12) için sonuşur çözüm [7] çalışmasında anlatılmaktadır. Lineer birleşik yukarı yönlü bağlantı ve aşağı yönlü bağlantı kapasitesini maksimum yapan  $K$ ,

$$K_{opt} \approx \frac{1}{1 - \left(\frac{e^{1-R\lambda}}{SNR^{1+\lambda}}\right)^{1/(1+R)(1+\lambda)}} \quad (14)$$

olarak ifade edilir. Eşitlik (12) ve (14), yüksek SNR değerlerinde elde edilmiştir ve düşük SNR değerlerinde doğruluğu zayıftır.

### 3. FG Algoritmasının Probleme Uygulaması

Sürekli parametrelerin söz konusu olduğu problemlerin çözümüne yönelik algoritmalarından biri olan FG algoritması, Price ve Storn tarafından 1995 yılında geliştirilmiştir. Popülasyon tabanlı sezgisel bir algoritma olan FG Algoritması özellikle tamamen düzenlenmiş uzayda tanımlı ve gerçek değerli tasarım parametrelerini içeren fonksiyonları optimize etmek amacıyla kullanılan bir algoritmadır. Aynı anda birçok noktada araştırma yapmaktadır. İterasyonlar boyunca, operatörler yardımıyla problemin çözümü için daha iyi sonuçlar araştırılmaktadır. Çaprazlama, mutasyon ve seçim operatörleri kullanılmaktadır. Ancak her bir operatör tüm popülasyona sırayla uygulanmamaktadır. Kromozomlar tek tek ele alınmakta, rastgele seçilen diğer üç kromozomda kullanılarak yeni bir birey elde edilmektedir. Bu işlemler sırasında mutasyon ve çaprazlama operatörleri kullanılmış olmaktadır. Mevcut kromozomla elde edilen yeni kromozomun uygunlukları karşılaştırılarak uygunluğu daha iyi olan, yeni birey olarak bir sonraki popülasyona aktarılmaktadır. Böylelikle seçim operatörü de kullanılmış olmaktadır. Üretilen çözümlerin kalitesi, amaç fonksiyonuna ürettikleri değerle (uygunluk değeri) ölçülmektedir [13-14].

Bu çalışmada, hem uygun ifadeyi, hem de bu ifadeye ait parametre değerlerini bulan iki aşamalı FG algoritması kullanılmıştır. İlk adım, bir dizi optimizasyon yazılımı içerisindeki aday ifadelerden en uygun ifadenin belirlenmesidir. FG algoritmasının bir süre çalışmasının ardından SNR,  $R$ ,  $K_p$  arasındaki giriş-çıkış bağıntısını gösteren ifade seçilmiştir,

$$K_p(\nu, \delta) = \frac{b_1 + b_2\nu + b_3\delta + b_4\nu^2 + b_5\delta^2 + b_6\delta\nu}{1 + b_7\nu + b_8\delta + b_9\nu^2 + b_{10}\delta^2 + b_{11}\delta\nu} \quad (15)$$

$\nu = \log_e(SNR)$ ,  $\delta = R$ ,  $\{b_1, b_2, \dots, b_{11}\}$  değerleri FG algoritması tarafından belirlenecek olan bilinmeyen katsayılardır ve  $K_p$  önerilen anten sayısı oranını göstermektedir. Eşitlik (15) kapalı formda gösterilirse,

$$K_p = f(SNR, R, b_1, b_2, \dots, b_{11}) \quad (16)$$

$f(\cdot)$  fonksiyonu SNR,  $R$ ,  $K_p$  arasındaki doğrusal olmayan bağıntıyı göstermektedir. Bir küme halinde verilen veri bilgisi,  $\{SNR_k, R_k, K_{opt}^k\}$ ,  $k = 1, 2, \dots, M$ , şeklindedir ve  $M$  kümedeki veri sayısıdır. Ortalama mutlak hata modeli aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$E = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M |K_{opt}^k - K_p^k| \quad (17)$$

$K_{opt}^k$ , eşitlik (7)'de verilen sonuçur kapasiteyi maksimum yapan optimum  $K$  değeridir. Eşitlik (16), eşitlik (17)'de yerine koyulursa,

$$E = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M |K_{opt}^k - f(SNR_k, R_k, b_1, b_2, \dots, b_{11})| \quad (18)$$

$SNR_k$ ,  $R_k$  ve  $K_{opt}^k$  bilinen değerlerdir, yukarıdaki denklemde bilinmeyenler sadece  $\{b_1, b_2, \dots, b_{11}\}$  değerleridir. Bu çalışmada, (18). denklemde verilen ortalama mutlak hata modeli maliyet fonksiyonu olarak kullanılacaktır. Maliyet fonksiyonunu minimize eden ifadenin optimum parametreleri FG algoritması kullanılarak belirlenmiştir.

Bütün gelişim algoritmalarında benzer olarak FG algoritması  $N_{pop}$  bireyli popülasyon ya da aday çözümler üzerinden işlem yapar. Çözüm vektörüne ait her birey (ya da kromozom)  $N_{par}$  optimizasyon parametrelerinden oluşur. Optimum araştırma için bir başlama noktası belirleme için popülasyon aşağıda verilen sınırlamalar ile rastgele üretilen bireyler ile başlatılır.

$$\kappa_{i,j}^P = \kappa_j^{\min} + T_j \times (\kappa_j^{\max} - \kappa_j^{\min}), \quad (19)$$

$$j = 1, 2, \dots, N_{par}$$

$T_j$  0 ve 1 arasında düzgün dağılımlı rastgele bir sayıdır.  $\kappa_j^{\max}$  ve  $\kappa_j^{\min}$  sırasıyla  $j$ . parametrenin maksimum ve minimum değerleridir.  $(\kappa_j^{\max} - \kappa_j^{\min})$  ifadesinin diferansiyel olduğuna dikkat edilmelidir. Algoritma başlatıldıktan sonra mutasyon, çaprazlama ve seçim operatörleri ile genetik olarak gelişim gösterir. FG algoritmasında anahtar prosedür mutasyon işlemidir. Fark vektörünü (mutant vektörü) üretmek için temel fikir, o anı popülasyondan rastgele seçilen iki ayrı kromozomun farkını almaktır.

$$\kappa^{N,i} = \kappa^{n,opt} + P_{mut} (\kappa^{n,p_1} - \kappa^{n,p_2}), \quad (20)$$

$$i \neq p_1, i \neq p_2$$

Buradaki  $N$  değişkeni eşleşme havuzunu belirtir.  $\kappa^{n,opt}$  en iyi bireyi gösterir.  $P_{mut}$  genellikle [0,4-1] arasında değişen gerçek değerli faktördür ve mutasyon işlemi kontrol eder.  $\kappa^{n,p_1}$  ve  $\kappa^{n,p_2}$  n. jenerasyonda seçilen iki bireydir. Ayrıca bu bireyler hem birbirinden hem de  $\kappa^{n,opt}$  değerinden farklıdır. İkinci işlem olan çaprazlamada bulunan  $\kappa^{c,i}$  deneme vektörü,

$$(\kappa^{c,i})_j = \begin{cases} (\kappa^{N,i})_j, & \beta \leq P_{cross} \\ (\kappa^{n,i})_j, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (21)$$

şekindedir, burada  $c$  yeni birey popülasyonudur.  $\beta[0,1]$  arasında değişen gerçek rastgele sayıdır ve  $P_{cross}$  çaprazlama işleminin gerçek değerli olasılığıdır. Dikkat edilmelidir ki,  $N_{pop}$ ,  $N_{par}$ ,  $P_{cross}$  ve  $P_{mut}$  FG algoritmasında kullanıcı tarafından belirlenmesi gereken anahtar parametrelerdir.

Seçim adımı en iyi kromozomların oluşturulması için gereken son operasyondur. Her yeni birey kendi ebeveynleri ile yarışır ve sadece sağlıklı bireyler hayatta kalır. Yeni bireylerin uygunluk değerleri (18). denklemde verilen maliyet fonksiyonu kullanılarak hesaplanır. Sonuç olarak, sonraki jenerasyonun bütün bireyleri kendi ebeveynlerinden daha sağlıklı olmaktadır. Bunu takiben, genetik evrimin sonraki aşaması başlar, bu işlemler sonlandırma kriterine ulaşıncaya kadar tekrar eder [8], [13].

#### 4. Nümerik Sonuçlar

Bu kısımda, önceki kısımda geliştirilen ifadenin doğruluğunu kanıtlamak için bazı sayısal sonuçlar sunulmuştur. Simülasyon parametreleri  $N_{pop}$ ,  $P_{mut}$  ve  $P_{cross}$  sırasıyla 55, 0.8 ve 0.9 alınmıştır. 15. ifadedeki bilinmeyen parametre sayısı onbirdir,  $N_{par} = 11$ . Algoritmanın parametre değerleri için literatürdeki bazı temel prensipler ve öneriler bize yardımcı olmaktadır [14]. Yukarıdaki ifade ile verilen parametreler optimum anten sayısı oranının belirlenmesi için optimum olarak seçilmiştir. Böylece ifademiz ile oluşturulan çıkış değerleri hedeflenen veriye çok yakındır. (18). denklemdeki maliyet fonksiyonunu minimize etmek amacıyla, önerilen ifadenin parametreleri FG algoritması ile ayarlanarak elde edilmiştir. Son olarak hedef fonksiyonu  $10^{-4}$ 'ten küçük olduğunda algoritmanın sonlandırılması istenmiştir. P4-2.4 GHz ve 1GB RAM içeren bir bilgisayarda her bir hesaplama bir dakikadan daha az bir sürede gerçekleşmiştir. (15). denkleme ait optimize edilmiş katsayı değerleri,

$b_1 = -2.3018$ ,  $b_2 = -6.9533$ ,  $b_3 = 5.2338$ ,  $b_4 = 2.5372$ ,  $b_5 = 2.0147$ ,  $b_6 = 2.7389$ ,  $b_7 = -6.8401$ ,  $b_8 = 3.9170$ ,  $b_9 = 2.5201$ ,  $b_{10} = 0.0369$  ve  $b_{11} = 2.6460$ 'dir.

Şekil 2. (a), (b) ve (c)'de sırasıyla  $R=1$ ,  $R=7$  ve  $R=15$  için anten sayısı oranını SNR'nin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir. SNR 0'dan 35 dB'ye kadar değişmektedir. (7). denklemde verilen sonuçur kapasiteyi maksimum yapan istenen optimum anten sayısı oranları,  $(K_{opt})$  karşılaştırma için Şekil 2'de gösterilmiştir. Tekrarlı denemeli metod kullanılarak fonksiyonun ayrı optimizasyonu ile  $K_{opt}$  değerleri belirlenmiştir. Yüksek SNR yaklaşımı varsayılarak  $K_h$  eğrileri belirlenmiştir. Eşitlik (14) ile belirlenen  $K_a$  eğrileri eşitlik (12)'nin sonuçur çözümüdür. 2 (a), (b) ve (c)'den görüldüğü üzere önerilen metod, önemli ölçüde yüksek SNR yaklaşımından daha iyi bir performans gösterdiği gözlenmiştir. SNR yüksek değerlerde iken (12). ve (14). denklemlerin sonuçları iyi bir yaklaşım göstermektedir. Ayrıca, önerilen  $K_a$

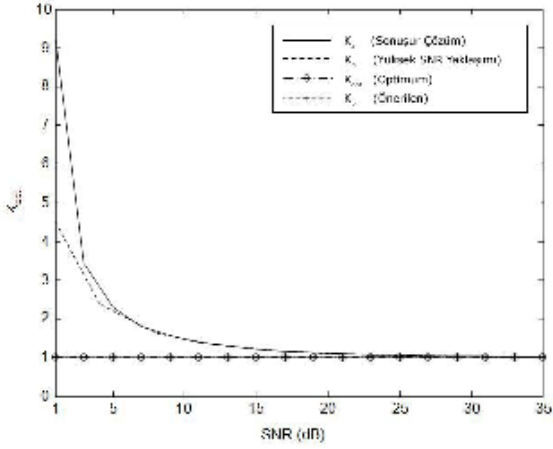
ifadesi ile ortaya çıkan sonuçlar  $K_{opt}$  değerine çok yakındır.

## 5. Sonuç

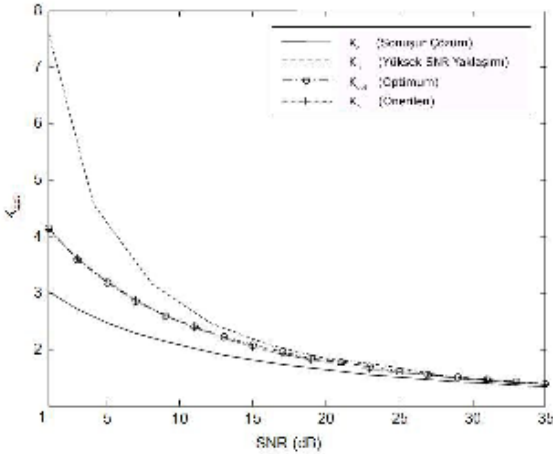
Bu çalışmada, ÇGÇÇ sistemlerde optimum anten sayısı oranlarını belirlemek için yeni bir ifade önerilmiştir. Önerilen ifadenin katsayılarını düzgün bir şekilde ayarlamak için FG algoritması kullanılmıştır. İfadenin doğruluğu sayısal kıyaslamalarla doğrulanmıştır. Optimal sonucu bulmak için olası çözüm adaylarını araştırmaya çalışan klasik ayrıntılı araştırma metotları ya da tekrarlı denemeli metotlar kabul edilebilir sonuçlar üretebilmek için çok fazla miktarda bilgisayar işlem süresi gerektirmesinden ötürü yetersiz metotlardır. Ek olarak, bu metotlar küçük ve sınırlı çözümü olan popülasyon uzayına uygundur. Klasik ayrıntılı araştırma metotları ya da tekrarlı denemeli metotlara kıyasla, FG algoritması çözüm süresi ve problemin çözülebilirliği açısından çok daha etkili ve verimlidir. Netice itibarıyla, katsayılar bir kere FG algoritması ile belirlendiğinde, önerilen ifade yüksek doğruluk ve basitlikle optimum anten konfigürasyonunu belirlemek için kullanılabilir.

## 6. Kaynaklar

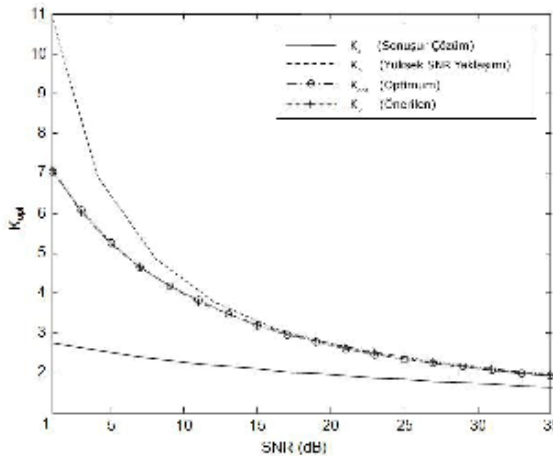
1. Wong, K. K, Murch, R. D. and Letaief, K. B. "Performance enhancement of multiuser MIMO wireless communication systems." *IEEE Transactions on Communications* 50(12):1960-1970, 2002.
2. Paulraj, A. J, Gore, D. A., Nabar, R. U. and Bölcskei, H. "An overview of MIMO communications-a key to gigabit wireless." *Proceedings of the IEEE* 92(2):198-217, 2004.
3. Telatar, E. "Capacity of multi-antenna Gaussian channels." *European Transactions on Telecommunications* 10(6):585-595, 1999.
4. Foschini, G. J. and Gans, M. J. "On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas." *Wireless Personal Communications* 6(3):311-335, 1998.
5. Foschini, G. J. "Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multi-element antennas." *Bell Labs Technical Journal* 1(2):41-59, 1996.
6. Goldsmith, A. "Capacity limits of MIMO channels." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 21(5):684-702, 2003.
7. Du, J. and Li, Y. "Optimization of antenna configuration for MIMO systems." *IEEE Transactions on Communications* 53(9):1451-1454, 2005.
8. Develi, İ. "Determination of optimum antenna number ratio based on differential evolution



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.  $R$ 'nin üç farklı değeri için anten sayısı oranının SNR'ye karşılık olan eğrileri; (a)  $R=1$ , (b)  $R=7$  ve (c)  $R=1$

- for MIMO systems under low SNR conditions.” *Wireless Personal Communications* 43(4):1667-1673, 2007.
9. Oyman, O. “Tight lower bounds on the ergodic capacity of Rayleigh fading MIMO channels.” *Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference*, Taiwan, pp. 1172-1176, 2002.
  10. Verdu, S. and Shamai, S. “Spectral efficiency of CDMA with random spreading.” *IEEE Transactions on Information Theory* 45(2):622–640, 1999.
  11. Rapajic, P. B. and Popescu, D. “Information capacity of a random signature multiple-input multiple-output channel.” *IEEE Transactions on Communications* 48(8):1245-1248, 2000.
  12. Lozano, A. and Tulino, A. M. “Capacity of multiple-transmit multiple receive antenna architectures.” *IEEE Transactions on Information Theory* 48(12):3117–3128, 2002.
  13. Price, K. V., Storn, R. M. and Lampinen, J. A. *Differential Evolution: A practical Approach to Global Optimization*, Springer-Verlag: Berlin, 2005.
  14. Price, K. V. *An Introduction to Differential Evolution*, in *New Ideas in Optimization*, D. Corne, M. Dorigo and F. Glover (Eds.), McGraw-Hill: London, pp. 79-108, 1999.