

## Ateş böceği algoritması kullanarak MC-CDMA sistemlerinde çevrimsel ön takı uzunluğunun belirlenmesi

### Determination of the cyclic prefix length in MC-CDMA using firefly algorithm

Muhammet Nuri SEYMAN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye.  
mnseyman@kku.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 10.02.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 28.04.2016

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.04764

Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Çok taşıyıcı kod bölmeli çoklu erişim gibi yüksek hızlarda veri iletimini sağlayan çok taşıyıcı haberleşme sistemlerinde semboller arası girişim ve kanallar arası girişimi önlemek için çevrimsel ön takıdan faydalanılır. Bu yüzden çevrimsel ön takı uzunluğunun uygun bir şekilde belirlenmesi, sadece hata performansını artırmayacak aynı zamanda da sembol enerjisindeki azaltmaları da engelleyecektir. Bu çalışmada çevrimsel ön takı uzunluklarının belirlenmesi için yeni bir meta-sezgisel algoritma olan ateş böceği algoritması önerilmiştir. Önerilen bu algoritmayı kullanarak, Genetik Algoritmalar ve 1/8 oranlı çevrimsel ön takı kod uzunluklu sistemlere göre daha iyi bit hata oranları elde edilmiştir. Parametre sayısının az ve performansının Genetik Algoritmalarla göre yüksek olması nedeniyle bu algoritma çok taşıyıcı kod bölmeli çoklu erişim sistemlerinde çevrimsel ön takı boyutlarının adaptif olarak belirlenmesinde kullanılabilir.

**Anahtar kelimeler:** MC-CDMA, Çevrimsel ön takı, Ateş böceği algoritması, Genetik algoritmalar

#### Abstract

Cyclic prefix is utilized to prevent inter symbol interference and inter carrier interference in multi carrier communication systems such as multi-carrier code division multiple access that provides high speed data transmission. Therefore determination of the cyclic prefix length properly, not only increases the error performance but also prevents the reduction in symbol energy. In this work, the fire fly algorithm which is a new meta-heuristic algorithm, is proposed to determine the CP length. By using the proposed algorithm, the better bit error rate in comparison with Genetic Algorithms and 1/8 rate cyclic prefix systems was obtained. Due to the less parameters and high performance of this algorithm over Genetic Algorithms, it can be used in multi carrier code division multiplexing systems to determine the cyclic prefix length adaptively.

**Keywords:** MC-CDMA, Cyclic prefix, Fire fly algorithm, Genetic algorithms

## 1 Giriş

Multimedya uygulamalarının her geçen gün hızla gelişmesiyle birlikte bu uygulamaların sahip oldukları veri boyutları da bir o kadar artmaktadır. Veri boyutlarının artışına paralel olarak, bu uygulamaların eş zamanlı olarak transfer edilmesinde de geniş frekans aralıklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Sistemler için tahsis edilmiş frekans alanının çokta geniş olmamasından dolayı mevcut frekans bandının daha verimli kullanarak yüksek hızlarda veri transferine olanak sağlayan çok taşıyıcı kod bölmeli çoğullamalı sistemlerin kullanımı artmaktadır. MC-CDMA (Multi Carrier Code Division Multiplexing), yüksek bitli seri veri akışını daha düşük bit hızlarında paralel hale getirip bu verilerin birbirlerine dikgen alt taşıyıcılar ile iletilmesini sağlayan bir çoğullama yöntemidir. Bu yöntemin yüksek hızlarda veri transferi yapabilmesinin yanında birden fazla kullanıcı verisinin de aynı anda aynı frekans alanından gönderilebilmesini sağlaması ve kanalda meydana gelebilecek sönümleme etkilerine karşıda dirençli olması da önemli avantajları arasındadır [1].

Kanalda meydana gelebilecek zamana bağımlı sönümleme ve frekans seçimli sönümleme etkileri tek taşıyıcı sistemlerin aksine çok taşıyıcı sistemleri daha fazla etkilemektedir. Eğer kanal, zamana bağımlı olarak değişimlerden etkilenirse taşıyıcı frekanslarında kayma meydana gelecek, alt taşıyıcılar arasındaki dikgenlik kısmen ya da tamamen bozulacak ve bunun sonucunda ise ICI (Inter Channel Interference)

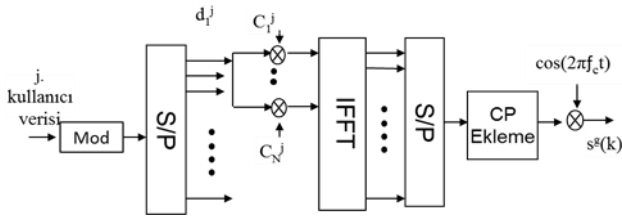
meydana gelecektir [1]-[9]. Ayrıca kanalda frekans seçimli sönümleme nedeniyle farklı kanallardan gelen veriler arasında ISI (Inter Symbol Interefence) denilen üst üste binme meydana gelmektedir. Bahsedilen ISI ve ICI etkilerine karşı koymak için MC-CDMA sistemlerinde sembollere koruma arası olarak ta bilinen CP eklenir. CP eklemesi için MC-CDMA sembollerinin üretilmesinden sonra veri sembol bloğunun başındaki belli bir kısmı bloğun sonuna eklenir. Örneğin standardize edilmiş bazı haberleşme sistemlerinden olan IEEE 802.16e-2005 (WiMAX)'te CP'nin boyu toplam sembol süresinin 1/8'i kadar, IEEE 802.11a da ise sembol süresinin 1/4'ü kadar kısım sabit olarak alınmaktadır [1].

Eklenecek CP veri miktarı boyutunun ne kadar olması gerektiğinin uygun bir biçimde belirlenmesi, sistemin gerek sembol enerjisi bakımından gerekse veri hatası bakımından sistem performansına etkisi büyüktür. Eğer eklenecek bu CP uzunluğu fazla seçilirse alınan veri hataları en aza indirilecek olmasına rağmen sembollerde CP yüzünden enerji düşümü meydana gelecektir. Tersine CP uzunluğunun az seçilmesi ise sembol enerji düşümlerini azaltacak ama bu durumda ise alıcı tarafta sönümlemeyen kaynaklı bit hataları fazla çıkacaktır. Bu yüzden CP uzunluğunun adaptif olarak ayarlanması sağlayan optimum yöntemlerin tercih edilmesi gerekmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda ise OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) tabanlı sistemler için CP uzunluğunun statik olarak belirlenmesinin aksine dinamik olarak belirlenmesi önerilmektedir [2]-[9].

Örneğin, [2]-[5]'teki çalışmalarda kapasite maksimizasyonu ile optimal CP seçimi yapılarak OFDM sistemleri için maksimum spektral verimlilik elde edilmesi amaçlanmıştır. [6] ve [7] numaralı referanslarda yer alan çalışmalarda ise WIMAX sistemlerinde sabit oranlı CP uzunlukları arasında performans kıyaslaması yapılmış ve 1/8 oranlı CP seçilmesi durumunda başarımın daha yüksek çıktığı sonucuna ulaşılmıştır. Genetik algoritmalar ve evrimsel programlama ile OFDM sistemlerinde CP'nin belirlenmesi için [8] ve [9] numaralı referanslarda yer alan çalışmalar yapılmıştır.

Son yıllarda mühendislik problemlerinin çözümünde, doğada yer alan çeşitli canlıların davranışlarından esinlenerek matematiksel modelleri oluşturulan sezgisel algoritmaların kullanımına ilgi bir hayli artmıştır [9]-[17]. Bu algoritmaların, çözülmesi güç problemleri birkaç parametre ile daha kolay ve hızlı bir biçimde çözmesi ise klasik optimizasyon algoritmalarına göre en büyük avantajıdır [9]-[17]. Bu çalışmada kullanılan ateş böceği algoritması ise Xin-She Yang tarafından tropikal bölgelerde yaşayan ateş böceklerinin birbirileri ile işaretleşmesini model alan popülasyon tabanlı bir meta sezgisel algoritmadır. Bu algoritmanın performansının iyi ve uygulamasının da bir o kadar kolay olmasından dolayı literatürde yer alan birçok çalışmada optimum değerleri bulmak için kullanılmıştır [10]-[17].

## 2 MC-CDMA sistem modeli



Şekil 1: MC-CDMA verici blok diyagramı.

Şekil 1'de verici blok diyagramı görülen  $N_U$  kullanıcı ve  $N_S$  alt taşıyıcıya sahip bir MC-CDMA sisteminde seri haldeki veriler ilk olarak modülasyon işleminden sonra paralele çevrilir. Paralel haldeki  $\mu$  adet sembolden oluşan  $j$ . kullanıcıya ait  $n$ . alt taşıyıcı bloğu  $d_1^j(n), \dots, d_{\mu}^j(n)$  herbir kullanıcıya ait  $N$  uzunluklu

$c_j = [c_j(0) c_j(1) \dots c_j(N-1)]$  yayma koduyla çarpılarak kullanıcılara ait verilerin spektrumda yayılması sağlanır. Bu durumda  $m$ . alt kanaldaki spektrumda yayılı hale getirilmiş  $m = 1, 2, \dots, N-1$  için  $n$ . sembol, (1) eşitliği ile ifade edilir.

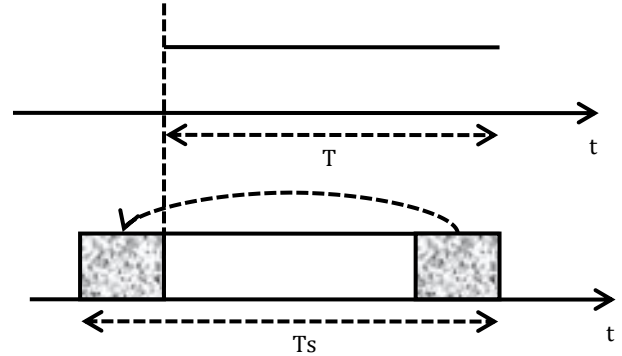
$$S_n(m) = \sum_j^{N_U} c_j(m) d_j(n) \quad (1)$$

Frekans domenindeki  $S_n(m)$  verisinin (2) eşitliğinde görüldüğü gibi zaman domenine döndürülmesi ve en önemlisi de alt taşıyıcıların oluşması için IFFT'si alınır.

$$s_n(k) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{m=0}^{N-1} S_n(m) e^{j2\pi mk/N} \quad (2)$$

Çevrimsel ön takı (koruma aralığı) bloğunda ise, ISI ve ICI etkilerinden korunmak için Şekil 2'de görüldüğü gibi sembollerinin ön tarafındaki belli bir kısmı kopyalanarak sembollerin sonuna eklenir. Eklenecek bu kısmın hangi uzunlukta seçileceği, sistem performansı açısından önemli bir

etkiye sahiptir. Eğer frekans seçici kanallarda CP uzunluğu kısa seçilirse semboller arası girişim oluşacaktır. Zaman değişimli kanallarda ise gecikme yayılımında daha düşük olması durumuna ise kanallar arası girişim oluşacaktır.



Şekil 2: CP ekleme işlemi.

Daha sonra paralelden seriye çevrilen semboller (3) eşitliği ile gösterilir.

$$s_n^g(k) = s_n(k + N - G) \quad (3)$$

(3) eşitliğindeki  $n$ . sinyal bloğundaki  $g$  koruma arasını göstermektedir. Bu durumda toplam MC-CDMA sembol süresi,  $GT_c$  koruma süresi ve  $T_c$ 'de örnekleme zamanı olmak üzere  $(N + G)T_c$  olacaktır. Sonrasında ise üretilen bu semboller kanalda iletilir. Alıcı tarafta ise vericide yapılan işlemleri tersi yapılarak kullanıcı verileri elde edilir [1].

## 3 Ateş Böceği algoritması kullanarak CP uzunluklarının bulunması

AB algoritması, ateş böceklerinin birbirilerine kısa ya da yanıp sönen (flash) ışık göndermelerinden esinlenilerek oluşturulmuş meta-sezgisel algoritmadır [10]. Ateş böcekleri, diğerlerine kur yapmak, avlarını cezbetmek ya da düşmanlarından korunmak amacıyla yanıp sönen ışık gönderirler. AB algoritmasında, optimizasyon için verilen amaç fonksiyonu ışık şiddetindeki değişimlere bağlıdır. Bu sayede ateş böcekleri daha parlak ve çekici bölgelere doğru hareket ederler. Bir ateş böceğinin çekiciliği, diğer ateş böcekleri ile arasındaki uzaklığın artmasına bağlı olarak azalan ışık şiddetindeki değişime bağlıdır. Ateş böceğinin parlaklığı amaç fonksiyonuna bağlı olarak belirlenir. Bir ateş böceğinin diğer ateş böceklerinden daha parlak olması, diğer ateş böceklerinin ona doğru gelmesini sağlayacaktır [10],[11].

AB algoritmasında; ışık şiddetindeki değişimler ve çekiciliğin formülasyonu olmak üzere iki önemli nokta bulunmaktadır. Her bir ateş böceğinin çekiciliği  $\beta$  iki ateş böceği arasındaki  $r$  mesafesinin karesiyle ter orantılı olarak azalmaktadır.

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad (4)$$

(4) eşitliğindeki  $\beta_0$ , ( $r = 0$ )'daki maksimum çekicilik parametresi ve  $\gamma$  ise, [0.1-10] aralığında değer alan ışık emilim katsayısıdır. Bu parametre çekicilik değişimini göstermektedir ve alacağı değer algoritmanın yakınsama hızı için kritik bir parametredir.

$i$  ve  $j$  pozisyonlarında bulunan  $x_i$  ve  $x_j$  ateş böceği arasındaki mesafe (5) eşitliği ile bulunur.

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (5)$$

(5) eşitliğinde  $x_{i,k}$ ,  $i$ . ateş böceğinin  $k$ . parçasının uzaysal konum koordinatını,  $d$  ise boyut sayısını göstermektedir.

$i$ . ateş böceğinin kendisinden daha çekici olan  $j$ . ateş böceğine doğru hareketi (6) eşitliği ile bulunur.

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \varepsilon_i \quad (6)$$

(6) eşitliğindeki toplamın birinci elemanı  $i$ . ateş böceğinin mevcut pozisyonunu, ikinci eleman ateş böceğinin çekiciliğini ve son elemanda eğer daha parlak bir böcek yok ise rastgelelik aralığı olarak [0-1] arasında olan rastgele hareketi temsil etmektedir [10],[11].

Bu algoritmada amaç fonksiyonu olarak eşitlik (7)'de ifadesi verilen ve haberleşme sistemlerinin değişen kanal şartlarına karşı performansını ölçmede kullanılan bit hata oranı (BHO) kriteri kullanılmıştır.

$$BHO = \frac{\text{Alınan Hatalı Bit Sayısı}}{\text{Gönderilen Toplam Bit Sayısı}} \quad (7)$$

Aşağıda CP uzunluğunun belirlenmesi için kullanılan AB algoritmasının sözde-kodu (pseudo-code) verilmiştir.

Begin

- 1) Amaç fonksiyonu: BHO;
- 2) Ateş böceklerinin (CP boyutu) başlangıç popülasyonunu üret;
- 3) Amaç fonksiyonuna göre I ışık yoğunluğunu formüle et
- 4)  $\gamma$  emilim katsayısını belirle

**While** (t < Maksimum nesil)

**for** i = 1 : n (bütün n ateş böcekleri)

**for** j = 1 : n (n ateş böcekleri)

**if**  $L_j > L_i$ ,

$i$ . ateş böceğinden  $j$ . ateş böceğine hareket et;

$r$  'ye bağlı olarak çekiciliği  $\exp(-\gamma r)$  ifadesi ile değiştir.

Yeni çözümleri değerlendir ve ışık şiddetini güncelle;

**end if**

**end for j**

**end for i**

Ateş böceklerini sırala ve en iyi mevcut çözümü bul;

**end while**

Optimum CP miktarını bul;

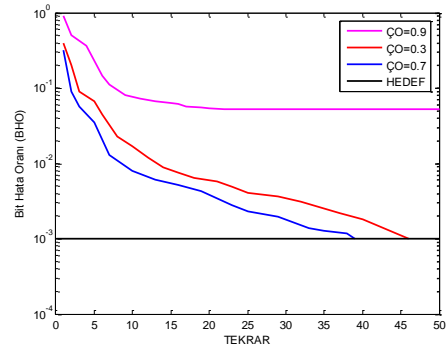
End

#### 4 GA ve AB algoritmaları için uygun parametre seçimi

GA'daki çaprazlama ve mutasyon oranlarının nasıl seçileceği problemin sonuçlarını da doğrudan etkileyecektir. Çaprazlama oranı, popülasyonda bulunan kromozomların ne kadarının çaprazlama işlemi yapılacağını belirleyen bir faktör olup bu oranın büyük seçilmesi durumunda bir önceki nesle ait

kromozomlar daha fazla bozulacak ve iyi çözümlerin kaybolma ihtimali ortaya çıkacaktır. Mutasyon ise yeni bireylerin oluşması için kromozomlarda yapılan rastgele yapılan değişikliklerdir. Mutasyon oranının artırılması durumunda rastsal arama artacak ve çözüme ulaşılması zaman alacaktır. Bu oranın azaltılması durumunda ise farklı çözümlerin bulunması zorlaşacak ve algoritma lokal minimaya takılacaktır [19].

Şekil 3'te CP uzunluğunun belirlenmesinde GA'nın en uygun çaprazlama değerini belirlemek için mutasyon oranının 0.2 seçilmesi durumunda farklı çaprazlama oranlarının tekrar sayılarına göre uygunluk değerleri görülmektedir.

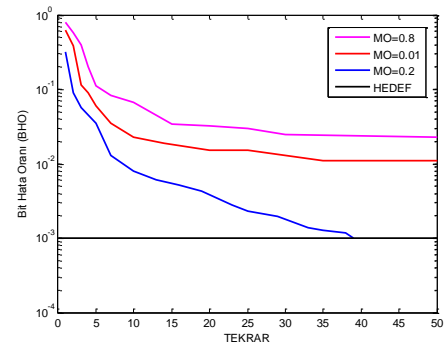


Şekil 3: Farklı çaprazlama oranlarının (ÇO) tekrar sayılarına göre uygunluk değerleri.

Şekil 3'e göre çaprazlama oranının büyük seçilmesi durumunda algoritma performansının düşük olduğu ve küçük seçilmesi durumunda ise yakınsamanın daha yavaş olduğu görülmektedir.

Şekil 4'te ise elde edilen en iyi çaprazlama oranını olan 0.7 değerinin sabit tutulup mutasyon oranının farklı değerleri için yakınsama eğrileri yer almaktadır.

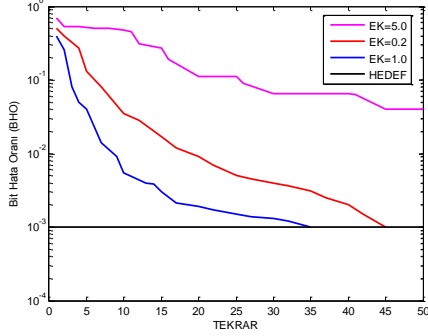
Şekil 4'ten de görüleceği gibi, mutasyon oranının hem küçük hem de büyük olduğu durumlarda amaç fonksiyonuna yakınsama değerleri kötü çıkmıştır. Şekil 3 ve Şekil 4'ü birlikte incelediğimizde GA için en uygun mutasyon değerinin 0.2, çaprazlama değerinin ise 0.7 olduğu sonucu elde edilmiştir.



Şekil 4: Farklı mutasyon oranlarının (MO) tekrar sayılarına göre uygunluk değerleri.

Ateş böceği algoritmasında ise algoritma performansını belirleyen iki önemli parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerden emilim katsayısı, algoritmanın yakınsama hızını belirleyen en önemli parametredir. Bu katsayının çok büyük seçilmesi, yakınsama hızını artırırken, küçük seçilmesi ise yakınsama hızını azaltır. Diğer bir önemli katsayı ise

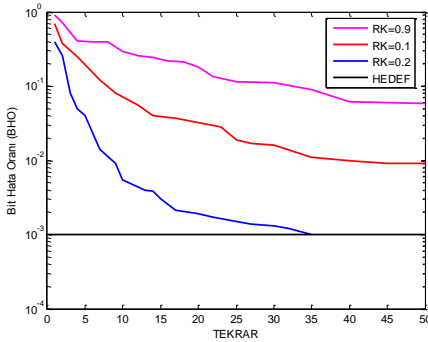
rastgelelik katsayısıdır. Bu katsayı sayesinde yeni çözümlerin bulunması sağlanır. Ancak, değerinin büyük seçilmesi durumunda çözüme ulaşım zamanı artacaktır [10]. Şekil 5'te rastgelelik katsayısının 0.2 olduğu durumda en uygun emilim değerinin belirlendiği grafikler yer almaktadır.



Şekil 5: Farklı emilim katsayılarının (EK) tekrar sayılarına göre uygunluk değerleri

Şekil 5'te en uygun emilim değerinin 1.0 olduğu durumda gerek yakınsama hızı gerekse algoritma performansının iyi olduğu görülmektedir.

En uygun rastgelelik oranını tespit etmek içinse emilim katsayısı 1.0'da sabit tutulmuş ve farklı rastgelelik oranları için algoritmanın performansı test edilmiştir. Şekil 6'dan da görüleceği üzere en uygun rastgelelik değeri 0.2 olarak bulunmuştur.



Şekil 6: Farklı rastgelelik katsayılarının (RK) tekrar sayılarına göre uygunluk değerleri.

## 5 Benzetim sonuçları

MC-CDMA sisteminin optimum CP miktarını belirlemek için benzetimlerde kullanılan sistem parametreleri Tablo 1'de yer almaktadır. Önerilen algoritmanın farklı kanal modellerindeki performansını görmek için COST 207 grubunun oluşturduğu ve değerleri Tablo 2'de görülen çok yollu sönümlenmeli kanal modelleri kullanılmıştır [18].

Tablo 1: MC-CDMA sistem parametreleri.

Parametre	Değer
Örnekleme frekansı	2 Mhz
FFT Boyutu	128
Sembol Süresi	64 $\mu$ s
MC-CDMA Kodlama Tipi	Walsh Hadamard
Modülasyon Tipi	QPSK

Tablo 2: Benzetimlerde kullanılan COST-207 kanal parametreleri [18].

Yol	Kırsal Alan (Rural Area-RA)		Kötü Kent Merkezi (Bad Urban-BU)	
	Gecikme ( $\mu$ s)	Güç (dB)	Gecikme ( $\mu$ s)	Güç (dB)
1	0	0	0	-2.5
2	0.1	-4	0.3	0
3	0.2	-8	1.0	-3
4	0.3	-12	1.6	-5
5	0.4	-16	5.0	-2
6	0.5	-20	6.6	-4

Ayrıca, Tablo 3'te ise optimizasyonda kullanılan AB ve GA parametreleri verilmiştir. Tablo 4'te kırsal alan ve kötü kent merkezi kanal durumlarında GA ve AB algoritması ile bulunan CP süreleri verilmiştir.

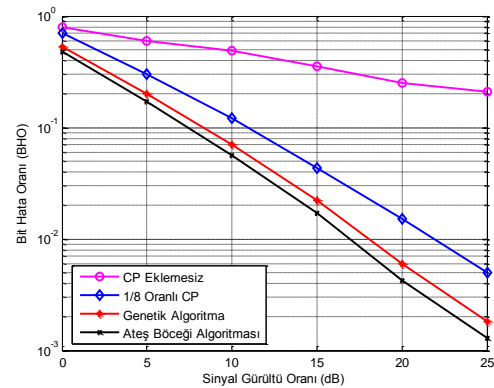
Tablo 3: Meta-Sezgisel algoritma parametreleri.

Ateş Böceği Algoritması	Genetik Algoritma
Popülasyon boyutu = 40	Popülasyon Boyutu = 40
Emilim Katsayısı $\gamma = 1.0$	Çaprazlama Oranı = 0.7
Rasgelelik Katsayısı $\alpha = 0.2$	Mutasyon Oranı = 0.2

Tablo 4: Bulunan CP değerleri.

	1/8 CP	GA	AB
Kırsal Alan	8 $\mu$ s	9.6 $\mu$ s	10.24 $\mu$ s
Kötü Kent Merkezi	8 $\mu$ s	11.84 $\mu$ s	12.54 $\mu$ s

Şekil 7'de CP'nin belirlenmesinde kullanılan çeşitli yöntemlerin kötü-kent merkezi kanal şartlarındaki BHO performansları görülmektedir. Haberleşme sistemlerinin en önemli amaçlarından birisi de kanalda meydana gelebilecek bozulmaları engelleyerek hatasız veri iletimini sağlamasıdır. Bu yüzden algoritmaların performans değerlendirmesi için alınan hatalı bit sayısının gönderilen toplam bit miktarına oranı olan BHO kriteri kullanılmıştır. Algoritmaların performanslarını görmek için ise simülasyonlar 20 kez koşturulmuş ve ortalamaları alınarak grafikler elde edilmiştir.

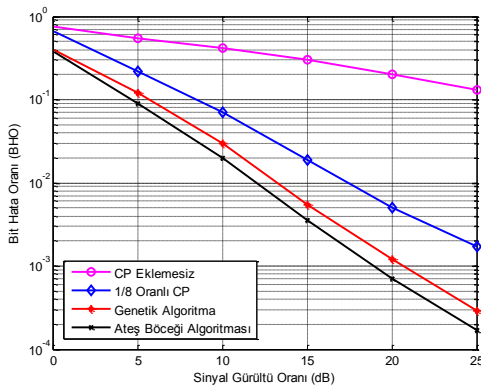


Şekil 7: COST 207 bad urban kanalında iletim durumu.

Gecikme yayılımının fazla olduğu kanallarda, önerilen ateş böceği algoritmasının nasıl bir performansa sahip olduğunu göstermek için bu kanal modeli tercih edilmiştir. Gecikme yayılımı fazla olmasına rağmen önerilen AB algoritması diğer yöntemlere göre iyi bir performans göstermiştir. Örneğin,  $10^{-1}$ 'lik BHO değerinde AB algoritması ile GA arasında 1 dB'lik SGO kazancı bulunurken, bu kazanç 1/8'lik CP oranına sahip

sistem ile 3.5 dB'dir. Azalan BHO değerleriyle AB algoritmasının sağladığı kazanç ta artmaktadır.  $10^{-2}$  değerinde ise AB'nin 1/8'lik CP oranına sahip sisteme göre kazancı 5 dB civarına gelmiştir. Yapılan bu benzetimler, CP eklenmesinin MC-CDMA sistemi için ne derecede önemli olduğunu da göstermektedir. Çünkü CP eklenmeden yapılan sistem benzetiminde çok fazla hatalı veri alınmıştır.

Şekil 8'de ise kötü-kent merkezi kanal modeline kıyasla daha bozunumsuz kanal modeli olan kırsal alan kanal modelinde iletim durumları incelenmiştir. Bu kanal modelinde de önerilen AB algoritmasıyla diğer algoritmalarından daha iyi BHO değerleri elde edilmiştir. 20 dB'lik SGO 'da AB algoritması ile 1/8'lik CP oranına sahip sistem arasında  $10^{-1}$ 'lik BHO farkı bulunmaktadır. Bunun yanında AB algoritması  $10^{-3}$  BHO değerinde GA'ya göre 2.5 dB'lik kazanç farkına sahiptir.



Şekil 8: COST 207 kırsal alan kanalında iletim durumu.

Ayrıca, haberleşme sistemlerinin tasarımında BHO'nun yanında kanalda meydana gelebilecek enerji düşümlerini de dikkate almak gereklidir. Eğer MC-CDMA sisteminde CP süresi fazla seçilirse iletilen sembollerde enerji düşümü meydana gelmekte ve bu enerji düşümü ise  $V_{CP} = 10 \log \left( \frac{T_{CP}}{T_s} + 1 \right)$  ile hesaplanmaktadır. Bu yüzden hataları minimize etmek için gereksiz yere CP'yi artırmak yerine, hataları tolere edilecek şekilde CP'nin optimum değerlerde bulunması enerji tasarrufu da sağlayacaktır.

## 6 Sonuçlar

Yüksek hızlı veri iletimini sağlayan MC-CDMA sistemlerinde ISI ve ICI etkisine karşı koymak için CP eklemesi yapılır. Ancak eklenecek CP uzunluğunun nasıl seçileceği sistemin hem hata performansını hem de enerji düşümlerini doğrudan etkileyecektir. Bu çalışmada MC-CDMA sistemlerinde çevrimsel ön takı uzunluğunun optimum değerlerinin bulunması için yeni bir meta-sezgisel algoritma olan ateş böceği algoritmasının kullanımı önerilmiş bu sayede kanalda meydana gelen veri hatalarının azaltılması sağlanmıştır. AB algoritmasının hata performansı, GA ve çoğu haberleşme sistemi için standart olarak kullanılan 1/8 CP oranı ile farklı kanal şartlarında kıyaslanmıştır. Önerilen AB algoritmasının GA ve 1/8 oranlı CP'den gerek bozulmanın daha az olduğu kırsal kent gerekse bozulmanın daha fazla olduğu kötü kent merkezi kanal şartlarında daha iyi hata performansı gösterdiği görülmüştür. Ayrıca AB algoritmasının yakınsama hızının GA'dan daha iyi olması ve parametre sayısının da az olması bu algoritmanın en önemli avantajları arasındadır. Elde edilen sonuçlara göre, CP'nin sabit bir değerde kullanılmasının yerine AB algoritması ile adaptif olarak belirlenmesi ile sistemin hata oranlarının azaltılabileceği görülmüştür. Bu yüzden AB

algoritmasının MC-CDMA sistemlerinde CP uzunluklarının adaptif olarak belirlenmesinde kullanılabilecek önemli bir algoritma olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

## 7 Kısaltmalar

MC-CDMA	: (Multi Carrier Code Division Multiplexing) → Çok Taşıyıcı Kod Bölümlü Çoklu Erişim,
OFDM	: (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) → Dikgen Frekans Bölümlü Çoğullama,
CP	: (Cyclic Prefix) → Çevrimsel Ön Taki,
ICI	: (Inter Channel Interference) → Kanallar Arası Girişim,
ISI	: (Inter Symbol Interference) → Semboller Arası Girişim,
BHO	: Bit Hata Oranı,
SGO	: Sinyal Gürültü Oranı,
IFFT	: (Inverse Fast Fourier Transform) → Ters Hızlı Fourier Dönüşümü,
AB	: Ateş Böceği Algoritması,
GA	: Genetik Algoritmalar.

## 8 Kaynaklar

- [1] Fazel K, Kaiser S. *Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems: From OFDM and MC-CDMA to LTE and WiMAX* 2<sup>nd</sup> ed. New York, USA, Wiley, 2008.
- [2] Li B, Zheng W, Ren S, Wu J. "Optimal selection of cyclic-prefix and subcarrier for OFDM signal in mobile satellite communications channel". *2<sup>nd</sup> International Conference on Computer and Information Application (ICCCIA 2012)*, Taiyuan, China, 8-9 December 2012.
- [3] Tonello AM, D'Alessandro S, Lampe L. "Cyclic prefix design and allocation in bit-loaded OFDM over power line communication channels". *IEEE Transactions on Communications*, 58(11), 3265-3276, 2010.
- [4] Wolkerstorfer M, Tsiakos P, Moonen M, Statovci D. "Joint power-loading and cyclic prefix length optimization for OFDM-Based power line communication". *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Vancouver, Canada, 26-31 May 2013.
- [5] Bhattacharyya B, Misra IS, Sanya SK. "Novel cyclic prefix selection to improve spectral efficiency and signal strength in OFDM systems". *International Journal on Recent Trends in Engineering and Technology*, 8(2), 20-25, 2013.
- [6] Ghosh S, Misra IS, Sanyal SK. "Article: Study of the effect of cyclic prefix on different QoS parameters in wimax network". *International Conference on Communication, Circuits and Systems* Bhubanswar, India, 1-3 June 2013.
- [7] Osman WE, Rahman TA. "Optimization of guard time length for mobile WiMAX system over multipath channel". *International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists 2008*, Hong Kong, 19-21 March 2008.
- [8] Chang YP, Lemmens P, Tu PM, Huang CC, Chen PY. "Cyclic prefix optimization for OFDM transmission over fading propagation with bit-rate and BER constraints". *2<sup>nd</sup> International Conference on Innovations in Bio-Inspired Computing and Applications*, Shenzhen, China, 16-18 December 2011.
- [9] Bakir M, Belhachat M, Liu JG, Zhu SZ. "Optimization of guard interval for OFDM performance over fading and AWGN channels using genetic algorithm". *6<sup>th</sup> CAS Symposium on Emerging Technologies: Mobile and Wireless Communication*, Shanghai, China, 31 May-02 June, 2004.

- [10] Yang XS. "Firefly Algorithms For Multimodal Optimization". Stochastic Algorithms: Foundations And Applications". SAGA, Lecture Notes in Computer Sciences 5792, Berlin, Heidelberg, Germany, 2009.
- [11] Fister I, Fister I,Jr, Yang XS, Brest J. "A comprehensive review of firefly algorithms". *Swarm and Evolutionary Computation*, 13, 34-46, 2013.
- [12] Apostolopoulos T, Vlachos A. "Application of the firefly algorithm for solving the economic emissions load dispatch problem". *International Journal of Combinatorics*, 2011, 1-23, 2011.
- [13] Horng M. and Jiang T. "Multilevel image thresholding selection based on the firefly algorithm". *7<sup>th</sup> International Conference on Autonomic & Trusted Computing on Ubiquitous Intelligence and Computing (UIC/ATC)*, Xi'an, China, 26-29 October 2010.
- [14] Sahoo A., Chandra S. "L'evy-Flight firefly algorithm based active contour model for medical image segmentation". *6<sup>th</sup> International Conference on Contemporary Computing*, Noida, India, 8-9 August 2013.
- [15] Basu B, MahantiGK. "Firefly and Artificial Bees Colony Algorithm for Synthesis of Scanned and Broadside Linear Array Antenna". *Progress in Electromagnetic Research B*, 32,169-190, 2011.
- [16] Chatterjee A, Mahanti GK, Chatterjee A. "Design of a fully digital controlled reconfigurable switched beam concentric ring array antenna using firefly and particle swarm optimisation algorithm". *Progress in Electromagnetic Research B*, 36, 113-131, 2012.
- [17] Horng MH. "Vector quantization using the firefly algorithm for image compression". *Expert Systems with Applications*, 39, 1078-1091, 2012.
- [18] Failli M., "Digital Land Mobile Radio Communications COST 207, Final Report, Rome, Italy, 1988.
- [19] Beasley D, Bull DR, Martin RR. "An overview of genetic algorithms". *Part 1, Fundamentals. University Computing*, 15(2), 58-69, 1993.