

Yükseltilmiş Kosinüs ve Yarım Sinüs Kırmık Dalga Biçimlerinin Kullanıldığı Genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE Sisteminde Optimum Altaşıyıcı Aralık Kaymasının BHO Performans Simülasyonu

Kenan Koçkaya¹

İbrahim Develi²

¹ Teknik Programlar Bölümü, Divriği Meslek Yüksek Okulu, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas

² Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri

¹e-posta: kenan_sdh@hotmail.com

²e-posta: develi@erciyes.edu.tr

Özetçe

Genelleştirilmiş çok-taşıyıcılı kod bölmeli çoklu erişim (ÇT DD-KBÇE) sistemi, normalize altaşıyıcı aralığı olarak tanımlanan bir parametrenin değiştirilmesi ile farklı ÇT DD-KBÇE sistemlerine genişletilebilir. Altaşıyıcı aralığı, farklı haberleşme ortamlarında en uygun performansı başarmak için optimize edilebilir. Bu çalışmada; farklı haberleşme senaryoları için, değişik kırmık dalga biçimleri kullanılan genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE sistemindeki optimum altaşıyıcı aralığının, literatürde daha önce sabit bir haberleşme senaryosu altında belirlenen değerden farklılık gösterip göstermediği çok yollu Nakagami-*m* sönümlü kanal üzerinden analiz edilmiştir. Bit hata oranı sonuçları; altaşıyıcı sayısındaki değişimin, direk olarak optimum altaşıyıcı aralığının kaymasına neden olduğunu ve dolayısıyla farklı haberleşme parametreleri için sabit bir optimum altaşıyıcı aralığının olmadığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Çoktaşıyıcılı (ÇT) haberleşme sistemleri, Genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE, Optimum altaşıyıcı Aralığı.

1. Giriş

Genelleştirilmiş çok-taşıyıcılı kod bölmeli çoklu erişim (ÇT DD KBÇE), KBÇE ve dikgen frekans bölmeli çoğulla (DFBÇ) işaretleşmesinin birleşimine dayanmaktadır. Genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE sisteminde veri sembolleri, daha yüksek hızlı bir yayma dizisi ile çarpılır. Bir yayma kodu ile çarpılan veri dizisinin ayrışık çoklu taşıyıcıları modüle ettiği ve alıcıda maksimal oran birleştiricisinin kullanıldığı ÇT DD-KBÇE sistemi, giderek popüler hale gelmektedir [1-2].

Literatürdeki çalışmalarda, genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE sisteminin çok sayıda kullanıcıya eşzamanlı ve eşzamansız olarak aynı frekans bandını ortak olarak paylaşırabildiği, dar bantlı girişim ve çok yollu sönümlenmeye karşı dayanıklı olduğu ve bunun yanında yüksek spektral verimliliğe sahip olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, geniş bantlı ÇT DD-KBÇE'nin başarılı bir bit hata oranı (BHO)'nu tehlikeye atmadan geniş çaplı haberleşmeleri destekleyebilmesi için sistem parametreleri düzenlenmeye çalışılmıştır.

ÇT DD-KBÇE ile ilgili önemli bir parametre, iki altaşıyıcı arasındaki frekans aralığı (λ)'dır. Bu aralığın değeri, $1/T_s$ ile $2/T_c$ sahasında bir değer olarak düşünülür. Burada T_s , çok tonlu DD-KBÇE işaretinin sembol süresini gösterirken T_c ise yayma kodlarının kırmık süresini göstermektedir. λ 'nın keyfi

bir aralık değerini kullanan ÇT DD-KBÇE, $\lambda=1$ 'i kullanan çok tonlu DD-KBÇE ve $\lambda = 1/T_c$ 'i kullanan dikgen ÇT DD-KBÇE alt sınıflarını içermektedir [3-6].

Daha önceki bir çalışmada, genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE yöntemlerinin bir sınıfı tanımlanmış ve çok yollu Nakagami-*m* sönümlü kanallar üzerinden performansı dikkörtgen kırmık dalga biçimi için değerlendirilmiştir [7]. [7]'de belirtildiği üzere genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE sistem modeli, çok sayıda özel ÇT DD-KBÇE yöntemi içermektedir ve üretilen sonuçlar, λ parametresinin değişimi ile farklı ÇT DD-KBÇE sistemlerine genişletilebilir. Genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE yönteminde verilen bir sistem bant genişliği ve kanal ortamı için, minimum BHO ile sonuçlanan bir optimum altaşıyıcı aralığı vardır. Daha önce; genelleştirilmiş bir ÇT DD-KBÇE sistemi için [7]'de gerçekleştirilen BHO analizinin bir uzantısı olarak çok yollu Nakagami-*m* sönümlü kanallar üzerinden genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE sistemindeki sönümlenme parametresinin optimum normalize altaşıyıcı aralığının üzerindeki etkisi, alıcının tüm yolları birleştirdiği kabulü altında ($L=L_p$ için) [8] ve [9]'da ele alınmıştır.

Yakın zamanda yapılan başka bir çalışmada ise, çok yollu Nakagami-*m* sönümlü kanallar üzerinden genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE sisteminin performansı Yang ve Hanzo [10], [11] tarafından değişik kırmık dalga biçimleri için değerlendirilmiştir. Dikkörtgen, yarım sinüs ve yükseltilmiş kosinüs kırmık dalga biçimlerinin kullanıldığı araştırma sonucunda optimum altaşıyıcı aralığı yaklaşık olarak $\lambda_{opt} = 215$ olarak bulunmuştur. Bu çalışmada, altaşıyıcı sayısının (U), optimum normalize altaşıyıcı aralığı (λ_{opt}) üzerindeki etkisi dikkörtgen, yarım sinüs ve yükseltilmiş kosinüs kırmık dalga biçimleri için incelenmekte ve sonuçlar [10], [11]'de verilenlerle karşılaştırılmaktadır.

2. Sistem Modeli

Bu bölümde, genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE sistemi ve bu sistemin alt sınıfları kısaca sunulmuştur [7]. ÇT-KBÇE sistemlerinde hem çok tonlu DD-KBÇE, hem de dikgen ÇT DD-KBÇE'nin verici tarafında seriden paralele (S-P) çevrilmiş veri zaman domeninde bir yayma kodu kullanarak yayılır ve böylece genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE sisteminde k kullanıcıya ait iletilen işaret şu şekilde ifade edilir;

$$s_k(t) = \sum_{u=1}^U \sqrt{2P} b_{ku}(t) c_k(t) \cos(2\pi f_u t + \phi_{ku}) \quad (1)$$

burada kullanılan gösterimler:

U alttaşıyıcı sayısı
 P her alttaşıyıcı işaretinden alınan ortalama güç
 $b_{ku}(t)$ ikili veri dizisi
 $c_k(t)$ ikili DS yayma dalga formu;
 f_u u . alttaşıyıcı frekansı;
 ϕ_{ku} taşıyıcı modülasyon işleminde üretilen faz açısı.

Alttaşıyıcı işaretinin işleme kazancı olan N_e şu şekilde verilir;

$$N_e = UN_1 - \frac{(U-1)\lambda}{2} \quad (2)$$

Burada N_1 tek-taşıyıcılı bir DD-KBÇE sisteminin yayma kazancıdır ve λ ise normalize alttaşıyıcı aralığıdır.

Bu çalışmada, k . verici ve buna karşı gelen alıcı arasındaki kanalın, sınırlı sayıda çözülebilir yola sahip çok yollu bir Nakagami- m sönümlü kanal olduğu kabul edilmiştir. Çözülebilir yolların toplam sayısı L_p şu şekilde verilmektedir;

$$L_p \approx \left\lceil \frac{2N_e(L_1-1)}{2N_e + (U-1)\lambda} \right\rceil + 1 \quad (3)$$

k kullanıcısına ait u . alttaşıyıcı ile ilgili darbe cevabının kompleks alçak geçiren eşdeğer gösterimi şu şekildedir;

$$h_{ku}(t) = \sum_{l_p=0}^{L_p-1} \alpha_{ul_p}^{(k)} \delta(t - \tau_{kl_p}) e^{-j\psi_{ul_p}^{(k)}} \quad (4)$$

Burada, $\alpha_{ul_p}^{(k)}$, τ_{kl_p} ve $\psi_{ul_p}^{(k)}$ kanalın l_p . çoklu yol bileşenine ait sırasıyla zayıflama faktörü, gecikme ve faz kaymasını göstermektedir. $\delta(t)$ ise Kronocker-Delta fonksiyonudur.

L_p çok yollu zayıflamalar $\{\alpha_{ul_p}^{(k)}\}$, olasılık yoğunluk fonksiyonu ile bağımsız Nakagami rastlantı değişkenleri iken Eşitlik (4)'teki fazların $\{\psi_{ul_p}^{(k)}\}$ da aynı şekilde $[0, 2\pi]$ aralığında düzgün olarak dağıtılan bağımsız rastlantı değişkenleri olduğu farz edilmektedir.

$$p(\alpha_{ul_p}^{(k)}) = M(\alpha_{ul_p}^{(k)}, m, \Omega_{ul_p}^{(k)}) \quad (5)$$

$$M(R, m, \Omega) = \frac{2m^m R^{2m-1}}{\Gamma(m)\Omega^m} e^{(-m/\Omega)R^2}$$

Burada $\Gamma(\cdot)$ gama fonksiyonudur:

$$m = E^2 \left[\left(\alpha_{ul_p}^{(k)} \right)^2 \right] / \text{Var} \left[\left(\alpha_{ul_p}^{(k)} \right)^2 \right] \quad (6)$$

Burada m , Nakagami- m sönümlenme parametresidir ve değeri $1/2$ ile ∞ arasında değişir. Eşitlik (5)'teki $\Omega_{ul_p}^{(k)}$ parametresi

$\alpha_{ul_p}^{(k)}$, 'nın ikinci momentidir. [7]'deki varsayım izlendiği için bu çalışmada aşağıda tanımlanan negatif üstel olarak azalan birçok yollu yoğunluk profili (MIP) dikkate alınmıştır;

$$\Omega_{ul_p}^{(k)} = \Omega_{u0}^{(k)} \exp(-\eta l_p), \eta \geq 0 \quad (7)$$

Burada $\Omega_{u0}^{(k)}$, ilk çözülebilir yola ait ortalama işaret gücünü ve η ise ortalama güç azalma oranını göstermektedir.

Sistemdeki K işaretleri Eşitlik (4)'te karakterize edildiği gibi frekans çeşitlemeli sönümlü kanallar üzerinden iletildiğinde, ana istasyondaki alınan işaret şu şekilde ifade edilir [7];

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{u=1}^U \sum_{l_p=0}^{L_p-1} \sqrt{2P} \alpha_{ul_p}^{(k)} b_{ku}(t - \tau_{kl_p}) c_k(t - \tau_{kl_p}) \cdot \cos(2\pi f_u t + \phi_{ul_p}^{(k)}) + n(t) \quad (8)$$

Burada,

$$\phi_{ul_p}^{(k)} = \phi_{ku} - \psi_{ul_p}^{(k)} - 2\pi f_u \tau_{kl_p} \quad (9)$$

$[0, 2\pi]$ aralığında uniform bir dağılıma sahiptir. $n(t)$ ise sıfır ortalamalı toplanır beyaz Gaussian gürültüsüdür (AWGN). [3]'te türetilmiş performans analizine dayanarak, genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE sistemi için ortalama BER performansı şu şekilde ifade edilmektedir [10-11];

$$P_b = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \prod_{l=0}^{L-1} \left(\frac{m \sin^2 \theta}{\gamma_c e^{-\eta l} + m \sin^2 \theta} \right)^m d\theta \quad (10)$$

Burada;

$$\gamma_c = \left[\left(\frac{Q E_b}{N_0} \right)^{-1} + \frac{2(KL_p - 1)(1 - e^{-\eta L_p})}{L_p(1 - e^{-\eta})} (I_0 + (U-1)\bar{I}_M) \right]^{-1} \quad (11)$$

(I). Dikdörtgen Kırmık Dalga Biçimi için [11, Eşitlik (10)],

$$\bar{I}_m = \frac{T_s^2}{4\pi^2 \zeta^2} \left[1 - \text{sinc} \left(\frac{2\pi \zeta}{N_e} \right) \right] \quad (12)$$

burada $\zeta = \lambda(u - v)$ dir.

(II). Yarım-Sinüs Kırmık Dalga Biçimi için [11, Eşitlik (12)];

$$\begin{aligned} \bar{I}_m = \frac{T_s^2}{8\pi^2} & \left[\frac{1}{\zeta^2} + \frac{1}{2[N_e + \zeta]^2} + \frac{1}{2[N_e - \zeta]^2} - \frac{1}{\zeta[N_e + \zeta]} + \right. \\ & \left. \frac{1}{\zeta[N_e - \zeta]} - \left(\frac{1}{\zeta^2} - \frac{1}{\zeta[N_e + \zeta]} + \frac{1}{\zeta[N_e - \zeta]} - \frac{1}{N_e^2 - \zeta^2} \right) \times \right. \\ & \left. \text{sinc} \left(\frac{2\pi \zeta}{N_e} \right) - \left(\frac{1}{2\zeta^2} + \frac{1}{2[N_e + \zeta]^2} - \frac{1}{\zeta[N_e + \zeta]} \right) \times \right. \\ & \left. \text{sinc} \left(\frac{2\pi[N_e + \zeta]}{N_e} \right) - \left(\frac{1}{2\zeta^2} + \frac{1}{2[N_e - \zeta]^2} + \frac{1}{\zeta[N_e - \zeta]} \right) \times \right. \\ & \left. \text{sinc} \left(\frac{2\pi[N_e - \zeta]}{N_e} \right) \right]. \end{aligned} \quad (13)$$

(III).Yükseltilmiş Kosinüs Kırmık Dalga Biçimi için [11, Eşitlik (15)];

$$\begin{aligned} \bar{I}_m = & \frac{T_s^2}{72\pi^2} \left[\left(\frac{9}{\zeta^2} + \frac{4}{[N_e + \zeta]^2} + \frac{4}{[N_e - \zeta]^2} + \frac{1}{2[2N_e + \zeta]^2} + \right. \right. \\ & \frac{1}{2[2N_e - \zeta]^2} - \frac{10}{\zeta[N_e + \zeta]} + \frac{10}{\zeta[N_e - \zeta]} + \frac{1}{\zeta[2N_e + \zeta]} - \\ & \frac{1}{\zeta[2N_e - \zeta]} - \frac{4}{N_e^2 - \zeta^2} - \frac{2}{[N_e + \zeta][2N_e + \zeta]} - \\ & \left. \frac{2}{[N_e - \zeta][2N_e - \zeta]} \right) - \left(\frac{9}{\zeta^2} + \frac{2}{[N_e + \zeta]^2} + \frac{2}{[N_e - \zeta]^2} - \right. \\ & \frac{10}{\zeta[N_e + \zeta]} + \frac{10}{\zeta[N_e - \zeta]} + \frac{1}{\zeta[2N_e + \zeta]} - \frac{1}{\zeta[2N_e - \zeta]} - \\ & \frac{8}{N_e^2 - \zeta^2} + \frac{2}{[N_e + \zeta][2N_e - \zeta]} + \frac{2}{[N_e - \zeta][2N_e + \zeta]} - \\ & \left. \frac{1}{4N_e^2 - \zeta^2} \right) \times \text{sinc}\left(\frac{2\pi\zeta}{N_e}\right) - \left(\frac{4}{\zeta^2} + \frac{4}{[N_e + \zeta]^2} - \frac{10}{\zeta[N_e + \zeta]} + \right. \\ & \frac{2}{\zeta[N_e - \zeta]} + \frac{4}{\zeta[2N_e + \zeta]} - \frac{4}{N_e^2 - \zeta^2} - \frac{2}{[N_e + \zeta][2N_e + \zeta]} + \\ & \left. \frac{2}{[N_e - \zeta][2N_e + \zeta]} \right) \times \text{sinc}\left(\frac{2\pi[N_e + \zeta]}{N_e}\right) - \left(\frac{4}{\zeta^2} + \frac{4}{[N_e - \zeta]^2} + \right. \\ & \frac{10}{\zeta[N_e - \zeta]} - \frac{2}{\zeta[N_e + \zeta]} - \frac{4}{\zeta[2N_e - \zeta]} - \frac{4}{N_e^2 - \zeta^2} + \\ & \left. \frac{2}{[N_e + \zeta][2N_e - \zeta]} - \frac{2}{[N_e - \zeta][2N_e - \zeta]} \right) \times \text{sinc}\left(\frac{2\pi[N_e - \zeta]}{N_e}\right) - \\ & \left(\frac{1}{2\zeta^2} + \frac{2}{[N_e + \zeta]^2} + \frac{1}{2[2N_e + \zeta]^2} - \frac{2}{\zeta[N_e + \zeta]} + \frac{1}{\zeta[2N_e + \zeta]} - \right. \\ & \left. \frac{2}{[N_e + \zeta][2N_e + \zeta]} \right) \times \text{sinc}\left(\frac{2\pi[2N_e + \zeta]}{N_e}\right) - \left(\frac{1}{2\zeta^2} + \frac{2}{[N_e - \zeta]^2} + \right. \\ & \frac{1}{2[2N_e - \zeta]^2} + \frac{2}{\zeta[N_e - \zeta]} - \frac{1}{\zeta[2N_e - \zeta]} - \frac{2}{[N_e - \zeta][2N_e - \zeta]} \Big) \times \\ & \left. \text{sinc}\left(\frac{2\pi[2N_e - \zeta]}{N_e}\right) \right]. \end{aligned} \quad (14)$$

Eşitlik (12), (13) ve (14) de $\zeta = \lambda(u - v)$ dir. Yukarıdaki her bir kırmık dalga şekli için elde edilen $\bar{I}_m$ ifadelerinde $\zeta = \lambda(u - v) = 0$ için, I_0 ifadesi aşağıdaki gibi bulunur.

$$I_0 = \begin{cases} \frac{1}{3N_e}, (i) \\ \frac{1}{6N_e} + \frac{5}{4N_e\pi^2}, (ii) \\ \frac{1}{6N_e^2} + \frac{315}{432N_e\pi^2}, (iii) \end{cases} \quad (15)$$

bu eşitlikteki i, ii ve iii ;

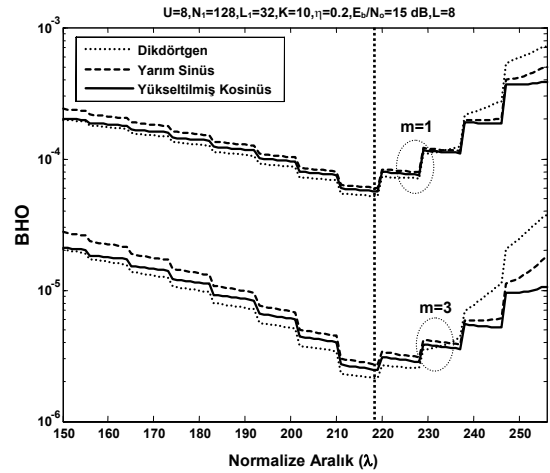
i -Dikdörtgen; ii -Yarım Sinüs iii -Yükseltilmiş Kosinüs'dür.

3. Başarım Analizi ve Nümerik Sonuçlar

Bu bölümde Nakagami- m sönümlü kanallarda, farklı ortalama güç zayıflama oranlı genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE'de alttaşıyıcı sayısının sistem performansına etkisi değişik kırmık dalga biçimleri için incelenmiştir. Tüm şekillerde kullanılan sistem parametreleri şunlardır: Tek-taşıyıcı DD-KBÇE sisteminin çözülebilir yollarının sayısı ve yayma kazancı sırasıyla, $L_1=32$ ve $N_1=128$ 'dir. MIP gecikme faktörü $\eta=0.2$, eşzamanlı kullanıcıların sayısı $K=10$, bit başına SNR $E_b/N_0=15$ dB'dir. Bu bölümde kullanılan alttaşıyıcıların sayısı $U=8, 16$ ve 32 'dir. Alıcının, 8 çözülebilir yolu birleştirdiği kabul edilmiştir ($L=8$).

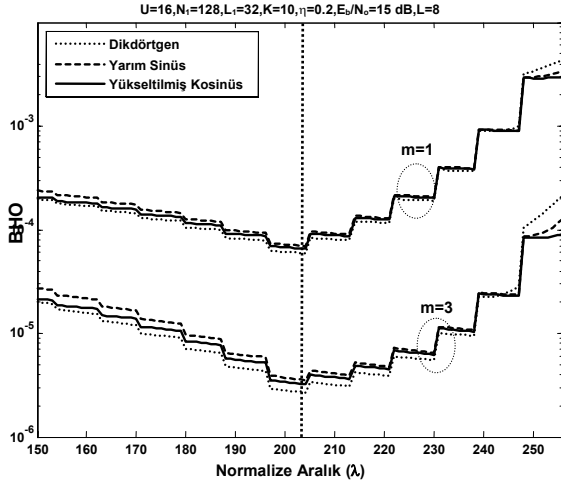
Nakagami- m dağılımı, m parametresinin değiştirilmesi ile oldukça geniş bir sönümlenme aralığına hitap eder. Örneğin bu dağılım, $m=1/2$ için tek taraflı Gaussian dağılımını $m=1$ için ise Rayleigh dağılımını içermektedir. m değeri sonsuza yaklaşıırken ($m \rightarrow \infty$) Nakagami- m sönümlü kanal sönümlenmesiz bir AWGN kanalına dönüşür. Benzer şekilde $m > 1$ olduğunda Nakagami- m dağılımı, Rician dağılımına yaklaşıp.

Şekil.1'de, alttaşıyıcı sayısının $U=8$ olduğu durumda $m=1$ ve $m=3$ sönümlenme değerleri için normalize alttaşıyıcı aralığının genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE sisteminin ortalama BHO'na etkisini göstermektedir. Şekilde optimum alttaşıyıcı aralığı $\lambda_{opt}=218$ olarak bulunmuştur.



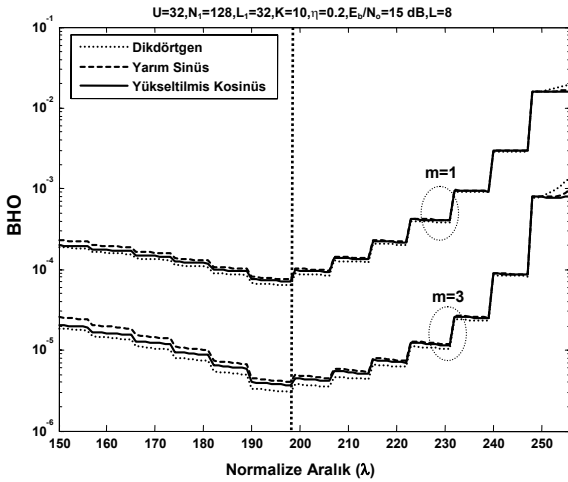
Şekil 1. $U=8$ ve $m \in \{1, 3\}$ değerlerinin kullanıldığı bir genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE sisteminde λ 'ya karşı BHO değişimi.

Şekil.2'de, alttaşıyıcı sayısının 16'ya eşit olduğu durumda $m=1$ ve $m=3$ sönümlenme parametreleri için normalize alttaşıyıcı aralığının genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE sisteminin ortalama BHO'na etkisini göstermektedir. Şekilde optimum alttaşıyıcı aralığının, şekil 1'deki $\lambda_{opt}=218$ sabit kalmayıp Şekil 2'de $\lambda_{opt}=203$ değerine kaydığı görülmektedir.



Şekil 2. $U=16$ ve $m \in \{1, 3\}$ değerlerinin kullanıldığı bir genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE sisteminde λ 'ya karşı BHO değişimi.

Şekil.3, alttaşıyıcı sayısının $U=32$ olduğu durumda $m=1$ ve $m=3$ sönümlenme parametreleri için normalize alttaşıyıcı aralığının genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE sisteminin ortalama BHO'na etkisini göstermektedir. Sonuç olarak λ -BHO ilişkin şekiller incelendiğinde alttaşıyıcı sayısının değişimiyle optimum alttaşıyıcı aralığının değiştiği gözlemlenmiştir. Şekil 3'de alttaşıyıcı aralığı $\lambda_{opt} = 198$ bulunmuştur.



Şekil 3. $U=32$ ve $m \in \{1, 3\}$ değerlerinin kullanıldığı bir genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE sisteminde λ 'ya karşı BHO değişimi.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, çokyollu Nakagami-m sönümlü kanallarda, dikdörtgen, yüksek kosinüs ve yarım sinüs kırkık dalga biçimlerini kullanan genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE sistemlerinin başarımları analizi yapılmıştır. ÇT DD-KBÇE sistemi için optimum alttaşıyıcı aralığının alttaşıyıcı sayısına bağımlılığı araştırılmıştır. Alttaşıyıcı sayısının değişimiyle birlikte optimum alttaşıyıcı aralığının dikdörtgen, yüksek

kosinüs ve yarım sinüs için değiştiği gözlenmiştir. Yapılan analiz sonucunda alttaşıyıcı sayısının artması ile birlikte optimum alttaşıyıcı aralığının azaldığı bulunmuştur.

5. Teşekkür

Bu çalışma, FBT-07-09 proje kod numarası ile Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmektedir.

6. Kaynakça

- [1] Nee van, R. and Prasad, R., *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House Publisher, Boston, 2000.
- [2] Kondo, S. and Milstein, L. B., "Performance of Multicarrier DS CDMA Systems", *IEEE Trans. Commun.*, 44:238-246, 1996.
- [3] Develi, İ., Çiftlikli, C. ve Şener, S., "Sınırlı Sayıda Çözülebilir Yol Birleştirilmiş Alıcıların Kullanıldığı Genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE Sistemi İçin Optimum Normalize Alttaşıyıcı Aralığının İncelenmesi", *İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu ve Fuarı* (ITUSEM 2005), 247-251, Adana, 2005.
- [4] Fazel, K., "Performance of CDMA/OFDM for Mobile Communication System", *Proc. of IEEE Int. Conf. On Univ. Personal Commun.* (ICUPC'93), 975-979, Ottawa, Canada, 1993.
- [5] Hanzo, L., Yang, L. L., Kuan, E. L. and Yen, K., *Single and Multi-Carrier DS-CDMA: Multi-User Detection, Space-Time Spreading, Synchronisation, Networking and Standards*, John Wiley & Sons, 2003.
- [6] Develi, İ., Karaboğa, N., ve Şener, S., "Farklı Ortalama Güç Zayıflama Oranlı Genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE'de Alttaşıyıcı Sayısının Bit Hata Oranı Başarımına Etkisi", *İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu ve Fuarı* (ITUSEM 2005), 139-143, Adana, 2005.
- [7] Yang, L. L. and Hanzo, L., "Performance of Generalized Multicarrier DS-CDMA over Nakagami-m Fading Channels", *IEEE Trans. Commun.*, 50(6):956-966, 2002.
- [8] Develi, İ., Çiftlikli, C., Şener, S. ve Akdağlı, A., "Çok Yollu Nakagami-m Sönümlü Kanallarda Genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE için Optimum Normalize Alttaşıyıcı Aralığının Detaylı Analizi", *IEEE 13. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı* (SİU'2005), CD-ROM, Kayseri, 2005.
- [9] Develi, İ., and Sener S., "Analysis of the Relationship between Multipath Fading and Optimum Subcarrier Spacing for Generalized MC DS-CDMA Systems," *İstanbul University- Journal of Electrical and Electronics Engineering*, (accepted for publication), 2007.
- [10] Yang, L. L., and Hanzo, L., "Performance of Generalized multicarrier DS-CDMA using various chip waveforms", *IEEE Trans. Commun.*, 2:748-752, 2003.
- [11] Yang, L. L., and Hanzo, L., "Generalized multicarrier DS-CDMA using various chip waveforms". *IEEE Wireless Communications and Networking Conference* (WCNC'2003), 2: 790-794, 2003.