

**A NEW APPROACH TO DETERMINE OPTIMUM GUARD INTERVAL FOR MC-CDMA SYSTEM**

**Çetin KURNAZ\*, Hülya GÖKALP**

*Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Kurupelit-SAMSUN*

**Received/Geliş: 22.03.2010 Revised/Düzeltilme: 21.05.2010 Accepted/Kabul: 21.05.2010**

**ABSTRACT**

In order to alleviate the effect of frequency selective channel a guard interval can be used. System performance varies depending on guard interval. In previous works, guard interval is associated with root mean square delay spread of the channel ( $\tau_{rms}$ ) and the symbol duration. This paper investigates the sensitivity of Multi Carrier Code Division Multiple Access (MC-CDMA) performance to guard interval and demonstrates a novel approach to determine optimum guard interval. System performance is determined from the Signal to Noise Ratio (SNR) level of a detected bit. Analytical expressions for useful power, interference power and the signal to noise ratio at the detector output of the MC-CDMA system is derived. The optimum guard interval for a given channel profile and system parameters is determined as the guard interval with maximum SNR. Unlike the previous studies, the optimum value for the guard interval was investigated for different  $E_s/N_0$ . We show that  $E_s/N_0$  and the optimum guard interval are growing increasingly and the optimum guard interval is approximately equal to maximum delay spread for  $E_s/N_0=30$  dB. Instead of all the values of  $E_s/N_0$  between the 0-30 dB to show the general trend was determined for values the optimum guard interval. After, which channel parameters can be associated with calculating the best for the optimum guard interval was investigated. The optimum guard interval is not exact multiple of  $\tau_{ms}$  and the symbol duration for different channel profiles and  $E_s/N_0$  values. We show that the optimum guard interval used depending on  $E_s/N_0$  can be selected as the delay window that includes certain multipath power. With such a method with different frequency selective channel profile without the need for complex operations can be identified the optimum guard interval.

**Keywords:** Multi carrier CDMA (MC-CDMA), optimum guard interval, mobile radio channel, root mean square (rms) delay spread, delay window.

**ÇT-KBÇE SİSTEMİNDE EN UYGUN GÜVENLİK ZAMANININ BELİRLENMESİ İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM**

**ÖZET**

Çok taşıyıcılı iletişimde yankılı kanalın bozucu etkisi güvenlik zamanı kullanımı ile azaltılır. Kullanılan güvenlik zamanına bağlı olarak sistem başarımı değişir. Literatürdeki çalışmalarda güvenlik zamanı kanalın  $\tau_{etkin}$  değeri ve sembol süresi ile ilişkilendirilmiştir. Bu çalışmada, güvenlik zamanının Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim (ÇT-KBÇE) sistem başarımına olan duyarlılığı incelenip En Uygun Güvenlik Zamanını (EUGZ) belirlemek için basit bir yaklaşım getirilmiştir. Sistem başarımı alınan bir bit için sinyal gürültü oranı (SGO) ile belirlenmiştir. SGO, yararlı güç ve girişim güçlerinin karamsal ifadesi türetilerek bulunmuştur. Verilen kanal profili ve sistem değişkenleri için SGO'yu en büyük yapan güvenlik zamanı EUGZ olarak adlandırılmıştır. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak EUGZ'nin kullanılan  $E_s/N_0$ 'a bağlı değişimi incelenmiştir. Sonuçlardan, artan  $E_s/N_0$  ile EUGZ'nin büyüdüğü  $E_s/N_0$ 'ın 30 dB değerinde yaklaşık en büyük yankı gecikmesine eşit olduğu görülmüştür.  $E_s/N_0$ 'ın 0-30 dB arasındaki tüm değerleri yerine genel eğilimi gösterecek değerleri için EUGZ'ler belirlenmiştir. Sonrasında EUGZ'nin en iyi hangi kanal parametresi ile ilişkilendirilebileceği araştırılmıştır. Farklı kanal profilleri ve  $E_s/N_0$  değerleri için EUGZ, kanalın  $\tau_{etkin}$  değeri ve sembol süresinin farklı katları olduğu görülmüştür. Kullanılan  $E_s/N_0$ 'a bağlı olarak EUGZ'nin toplam yankı gücünün belirli bir yüzdesini içeren pencere genişliği ile en iyi ifade edilebileceği sonucuna varılmıştır. Böyle bir yöntem ile farklı frekans seçicilikli kanal profilleri için karmaşık işlemlere gerek duymaksızın EUGZ belirlenebilir.

**Anahtar Sözcükler:** Çok taşıyıcılı KBÇE (ÇT-KBÇE), en uygun güvenlik zamanı, gezgin iletim kanalı, yankı gecikme dağılımının etkin değeri, pencere genişliği.

\*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: ckurnaz@omu.edu.tr, tel: (362) 312 19 19

## 1. GİRİŞ

Hücre sel iletişimdeki yoğunluğun ses iletişiminden veri iletişimine doğru kayması, çok sayıda kullanıcının yüksek veri hızlarını ve kaliteli iletişimi talep etmesi 4.Kuşak (4G) sistemlerin geliştirilmesine neden olmuştur [1, 2]. 4.Kuşak (4K) sistemler iletim bandını etkin kullanmayı, ayrılan bir bantta daha hızlı bilgi aktarmayı amaçlar [3]. Çok taşıyıcılı kod bölmeli çoklu erişim (multi-carrier CDMA) yüksek hızda iletme olanak sağlaması, iletim hattını verimli kullanması, hatta meydana gelebilecek girişimlere ve çoklu yol kayıplarına karşı olan dayanıklılığından dolayı 4K sistemlerde kullanılması planlanan erişim yöntemlerindedir [4–8].

Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim (ÇT-KBÇE) sisteminde Walsh-Hadamard kodları ile genişletilen her bit (çip) farklı dikgen alt taşıyıcı ile iletilir. ÇT-KBÇE sisteminde bir bit birden fazla taşıyıcı üzerinden aktarır. Kimi alt taşıyıcılar çok zayıflamış olsa da güçlü alınacak alt taşıyıcılar olacağından bitlerin hatalı algılama olasılığı azalır [9]. Bu bir tür frekans çeşitliliği olarak düşünülebilir ve ÇT-KBÇE'nin diğer çoğullama yöntemlerine göre esas üstünlüğünü oluşturur.

ÇT-KBÇE sisteminde alıcı ve verici karmaşıklığını azaltan hızlı Fourier dönüşümü (fast Fourier transform) - ters hızlı Fourier dönüşümü (inverse fast Fourier transform) kullanılır. Dikgen alt taşıyıcılar birbirlerine yakın yerleştirilerek tayf etkinliği artırılabilir. Çok taşıyıcılı sistemlere özgü tepe gücünün ortalama güce oranı (peak to average power ratio) sorunu nedeniyle bu sistemler doğrusal yükseltmenin gerçekleştirilebileceği aşağı hat için uygundur. Bu sistemlerin faz ve frekans kaymasına karşı duyarlılığı söz konusudur.

Yüksek veri hızı gerektiren uygulamalarda sembol süresi ( $T_s$ ) kanalın en yüksek yankı gecikmesinden ( $\tau_{\max}$ ) küçük olmakta, komşu veri sembolleri arasında girişim (inter symbol interference) meydana gelmekte ve sistem başarımı düşmektedir [10]. ÇT-KBÇE sisteminde gerekli sayıda alt taşıyıcı ve uygun güvenlik zamanı kullanılarak Semboller Arasında Girişim (SAG) en aza indirgenebilir. ÇT-KBÇE sisteminde güvenlik zamanı kullanımıyla sistemin yankı gecikmelerine olan duyarlılığı azalırken iletim bant genişliği artar, tayfsal verimlilik düşer ve sinyal gürültü oranında (signal to noise ratio) azalma olur. Dolayısıyla sistem başarımındaki eğişi en az yapan en uygun güvenlik zamanının (optimum guard interval) varlığından söz edilebilir.

Literatürdeki çalışmalarda güvenlik zamanı kanalın yankı gecikme dağılımının etkin değeri (root mean square delay spread) veya sembol süresi ile ilişkilendirilmiştir. [9, 11, 12]'de güvenlik zamanı kanalın yankı gecikme dağılımının etkin değerinin ( $\tau_{\text{etkin}}$ ) 4 katı olarak kullanılmıştır. [13, 14]'de güvenlik zamanı olarak kullanılan sembol süresinin %20'si [15]'de %25'i güvenlik zamanı olarak kullanılmıştır. [16]'da ise verilen bit hızı, Doppler frekansı ve kanalın  $\tau_{\text{etkin}}$  değeri için en uygun güvenlik zamanı ( $T_{\text{Güyg}}$ ) bit hata oranını (bit error rate) en aza indirmektedir. [16]'da yapılan çalışmada En Uygun Güvenlik Zamanını (EUGZ)  $E_s/N_0$ 'dan bağımsızdır.

ÇT-KBÇE sistem başarımı  $E_s/N_0$  değerine bağlı olarak değişmektedir. [9-15]'de tüm  $E_s/N_0$  değerleri için sabit güvenlik zamanı kullanılmıştır. Sabit güvenlik zamanı kullanıldığında  $E_s/N_0$  değerine göre SGO'da değişmekte ve sistem başarımı düşmektedir. Bu ise istenilmeyen bir durumdur. Kullanılan güvenlik zamanının en uygun değeri ile ilgili en kapsamlı çalışma [16]'da yapılmıştır. [16]'da alıcıya ulaşan sinyalin öz ilinti fonksiyonunu en büyük yapan güvenlik zamanı en uygun güvenlik zamanı olarak belirlenmiştir. [16]'da önerilen yöntemin eksikliği ise EUGZ'nin  $E_s/N_0$  değerine bağlı olmaması ve farklı frekans seçicilikli kanal profilleri ile güvenlik zamanları için öz ilinti fonksiyonlarını belirlemenin uzunca zaman almasıdır.

Bu çalışmanın amacı; EUGZ'yi  $E_s/N_0$ 'a bağlı, [16]'daki yöntemle oldukça yakın değerler veren ama daha basit ve tek değişkenli bir kanal parametresi ile ifade etmektir. ÇT-KBÇE sisteminde EUGZ'yi bulabilmek için dedektör çıkışındaki bir bite ait yararlı güç, girişim gücü ve Sinyal Gürültü Oranı (SGO) ifadeleri kuramsal olarak türetilmiştir Bu güç ifadeleri kullanılarak SGO'daki değişim gözlenmiştir. Farklı güvenlik zamanları için SGO'yu en büyük

yapan değer EUGZ olarak belirlenmiştir.  $E_s/N_0$ 'ın EUGZ'yi etkilediği aralık belirlenmiş ve bu aralıktaki referans değerler için (0, 10, 10, 30 dB) EUGZ'ler belirlenmiştir. Sonrasında ise bu sürenin; sembol süresi, kanalın  $\tau_{etkin}$  ve yankı güç pencere genişliği ile ilişkisi incelenmiştir.

## 2. ÇT-KBÇE SİSTEM MODELİ

ÇT-KBÇE sistemi Şekil 1'de gösterildiği gibi verici, gezgin iletim kanalı ve alıcı ana bloklarından oluşmaktadır. Verici bloğu çıkışındaki sinyal, gezgin iletim kanalına beslenip frekans seçici sönmülmeye uğrayıp toplanır beyaz Gauss gürültüsü (additive white Gaussian noise) eklendikten sonra alıcı bloğuna gelmektedir.

### A. Verici

Vericide, giriş veri dizisi L bitlik bloklara ayrılıp seri-paralel (S/P) dönüşüme uğrar. Her bir S/P çıkışı, uzunluğu N ve her bir kullanıcı için farklı olan genişletme kodu ( $C^u$ ) ile çarpılır. Elde edilen çipler ( $N \times L$  çip) ters ayrık Fourier dönüşümü (inverse discrete Fourier transform) bloğuna beslenir. Bu blokta temel bant ikili faz kaydırmalı anahtarlama (binary phase shift keying) modülasyonu gerçekleştirildikten sonra yeniden seri veri dizisine (zaman düzlemine) dönüştürülür. Zaman düzlemindeki dizinin son parçası sembolün başına getirilip güvenlik zamanı boyunca çevrimsel ön-ek eklenip kanala beslenir.  $u$ . kullanıcı için verici çıkışındaki ÇT-KBÇE sinyali (1) eşitliği ile verilir.

$$s_{i,\varphi}^u = \sqrt{\frac{E_s}{NL + \nu}} \sum_{\ell=0}^{L-1} \sum_{n=0}^{N-1} a_i^u(\ell) C^u_n e^{j2\pi\varphi \frac{(N\ell+n)}{NL}}, \quad \varphi = -\nu, \dots, NL - 1 \quad (1)$$

Burada N genişletme kodunun uzunluğu, L seri-paralel dönüştürücü çıkışındaki bit sayısı,  $E_s$  sembol enerjisi,  $a_i^u(\ell)$   $u$ . kullanıcı  $i$ .sembolün S/P dönüştürücünün  $\ell$ . çıkışı,  $C^u(n)$   $u$ . kullanıcının genişletme kodunun  $n$ . çipi,  $\nu$  güvenlik zamanı ( $T_G$ ) içindeki ve  $NL + \nu$  sembol süresindeki çiplerin sayısıdır.

### B. Alıcı

Alıcıya hücre içindeki tüm aktif kullanıcı sinyallerinin toplamı ulaşır. Çevrimsel-önek kaldırıldıktan sonra alınan sinyal ayrık düzlemde (2) eşitliğindeki gibi yazılır.

$$r(k) = \sum_{u=0}^{U-1} \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{\varphi=-\nu}^{NL-1} s_{i,\varphi}^u h[(k - \varphi) - i NL + \nu] + w(k) \quad (2)$$

Burada U toplam kullanıcı sayısı,  $w(k)$   $k$ . çıkış için Toplanır Beyaz Gauss Gürültüsü (TBGG),  $h(n)$  ayrık düzlemde kanal birim vuruş tepkesidir ve (3) eşitliğindeki gibi tanımlanır.

$$h(n) = 0 \quad \begin{cases} n < 0 \\ n \geq NL + \nu \end{cases} \quad (3)$$

Alıcıya ulaşan  $NL + \nu$  çiplik temel bant sinyalinden çevrimsel ön-ekler kaldırılıp ayrık Fourier dönüşümü (discrete Fourier transform) bloğuna beslenir. Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD) çıkışındaki demodüle edilmiş sinyalin matematiksel bağıntısı (4) eşitliğindeki gibidir.

$$Z_{r',n'} = \sqrt{\frac{1}{NL}} \sum_{k=0}^{NL-1} r_k e^{-j2\pi k \frac{(N\ell'+n')}{NL}} \quad (4)$$

AFD çıkışı en yükseğe oranlı birleştirme bloğuna (maximum ratio combining)

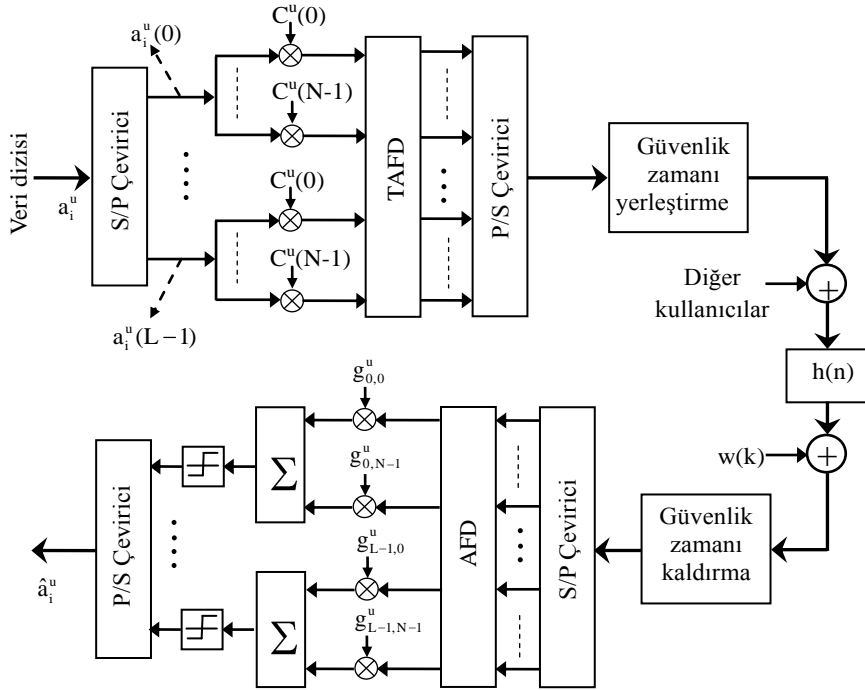
beslenir. Birleştirici çıkışındaki  $\ell'$  . bit (5) eşitliğindeki gibidir.

$$b^u(\ell') = \sum_{n=0}^{N-1} Z_{\ell',n} g_{\ell',n} C^u(n') \quad (5)$$

En Yüksek Oranlı Birleştirme (EYOB) için kanal kazanç birleştirme ifadesi (6) eşitliği ile verilir.

$$g_{\ell',n'} = H_{\ell',n'}^* \quad (6)$$

Burada  $H_{\ell',n}$   $N\ell + n$  . alt taşıyıcının karmaşık zarfıdır. Alt taşıyıcılar ile gelen enerjiyi almak için demodülatör çıkışları  $g_{\ell',n}$  kazanç değeri ile çarpılarak toplanır.



Şekil 1. ÇT-KBÇE verici, gezgin iletim kanalı ve alıcı yapısı

$n'=n$ ,  $i=0$  ve  $u=0$  için, (5) eşitliğinin sağ yanı SAG, taşıyıcılar arası girişim (inter carrier interference), çoklu erişim girişimi (multiple access interference) ve TBGG bileşenlerine ayrılabilir.

$$b_Y^0(\ell' = \ell) = \sqrt{\frac{NL}{NL + \nu}} E_s \sum_{k=0}^{NL-1} \frac{1}{NL} \sum_{\varphi=-\nu}^{NL-1} \sum_{n=0}^{N-1} a_0^0(\ell) C^0(n) h(k - \varphi) g_{\ell,n} \times C^0(n) e^{j2\pi\varphi \frac{(N\ell+n)}{NL}} e^{-j2\pi k \frac{(N\ell+n)}{NL}} \quad (7)$$

$$b_{SAG}^0(i, \ell') = \sqrt{\frac{NL}{NL + \nu}} E_s \sum_{k=0}^{NL-1} \frac{1}{NL} \sum_{\varphi=-\nu}^{NL-1} \sum_{n=0}^{N-1} a_i^0(\ell') C^o(n) h[(k - \varphi) - i NL + \nu] \times g_{\ell',n} C^o(n) e^{j2\pi\varphi \frac{(N\ell'+n)}{NL}} e^{-j2\pi k \frac{(N\ell'+n)}{NL}} \quad (8)$$

$$b_{TAG}^0(\ell') = \sqrt{\frac{NL}{NL + \nu}} E_s \sum_{k=0}^{NL-1} \frac{1}{NL} \sum_{\varphi=-\nu}^{NL-1} \sum_{n=0}^{N-1} a_0^0(\ell') C^o(n) h(k - \varphi) g_{\ell',n} \times C^o(n) e^{j2\pi\varphi \frac{(N\ell'+n)}{NL}} e^{-j2\pi k \frac{(N\ell'+n)}{NL}} \quad (9)$$

$$b_{CEG}^0(u, i, \ell') = \sqrt{\frac{NL}{NL + \nu}} E_s \sum_{k=0}^{NL-1} \frac{1}{NL} \sum_{\varphi=-\nu}^{NL-1} \sum_{n=0}^{N-1} a_u^0(\ell') C^u(n) h[(k - \varphi) - i NL + \nu] \times g_{\ell',n} C^o(n) e^{j2\pi\varphi \frac{(N\ell'+n)}{NL}} e^{-j2\pi k \frac{(N\ell'+n)}{NL}} \quad (10)$$

$$b_{TBGG}^0 = \sqrt{\frac{1}{NL}} \sum_{k=0}^{NL-1} \sum_{n=0}^{N-1} g_{\ell',n} C^o(n) w_k e^{-j2\pi k \frac{(N\ell'+n)}{NL}} \quad (11)$$

Burada  $b_Y$ ,  $b_{SAG}$ ,  $b_{TAG}$ ,  $b_{CEG}$  ve  $b_{TBGG}$  sırasıyla bite ait yararlı, SAG, Taşıyıcılar Arası Girişim (TAG), Çoklu Erişim Girişimi (ÇEG) ve TBGG bileşenlerini gösterir.  $b_Y$ ,  $b_{SAG}$ ,  $b_{TAG}$ ,  $b_{CEG}$  ve  $b_{TBGG}$ , (eşitlik 7–11), bileşenlerini kullanarak ÇT-KBÇE sisteminde alıcıdaki  $\ell'$  bit için yararlı, SAG, TAG, ÇEG ve TBGG güç değerleri aşağıdaki gibi yazılır (örn.  $P_Y$ ,  $P_{SAG}$ ,  $P_{TAG}$ ,  $P_{CEG}$ ,  $P_{TBGG}$ ).

$$P_Y = E |b_Y(\ell' = \ell)|^2 \quad (12)$$

$$P_{TAG} = \sum_{\substack{\ell'=0 \\ \ell' \neq \ell}}^{L-1} E |b_{TAG}(\ell')|^2 \quad (13)$$

$$P_{SAG} = \sum_{\substack{i=-\infty \\ i \neq 0}}^{+\infty} \sum_{\ell'=0}^{L-1} E |b_{SAG}(i, \ell')|^2 \quad (14)$$

$$P_{CEG} = \sum_{u=1}^{U-1} \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{\ell'=0}^{L-1} E |b_{CEG}^0(u, i, \ell')|^2 \quad (15)$$

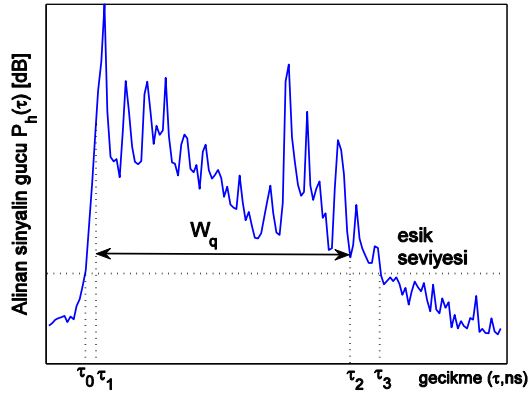
$$P_{TBGG} = E |b_{TBGG}^0|^2 \quad (16)$$

Burada  $E$  beklenen değeri göstermektedir.

### **C. Gezgin İletim Kanalı**

Gezgin iletişimde dış ortama iletilen sinyal farklı nesnelere tarafından zayıflatılmakta, yansıtılmakta, kırılmakta ve saçılmaktadır. Bunun sonucunda iletilen sinyal alıcıya farklı

gecikme, zayıflama ve faz kaymasıyla ulaşmaktadır [10,17–18]. Bu olgu *yankılı kanal yayını* olarak bilinir. Yankılı kanalın zamanda bozulma özellikleri ortalama yankı gecikmesi, yankı gecikme dağılımının etkin değeri ve yankı güç pencere genişliği ile ölçülür [10, 17]. Ortalama yankı gecikmesi yankı güç profilinin birinci momentidir. Yankı gecikme dağılımının etkin değeri yankı güç profilinin ikinci merkez momentinin karekökü alınarak elde edilir. Yankı güç pencere genişliği  $W_q$  ile gösterilir ve toplam yankı gücünün % $q$  kadarını içeren orta pencere genişliğidir (Şekil 2). Toplam yankı gücü, gürültü eşik seviyesi üzerindeki yankı güçlerinin toplamıdır. Yankı güç penceresi dışındaki enerji iki eşit parçaya bölünmüştür [10].



Şekil 2. Yankı güç profili

Pencere genişliği (17) eşitliği ile ifade edilir.

$$W_q = \tau_2 - \tau_1 \quad (17)$$

$$\int_{\tau_1}^{\tau_2} P_h \tau d\tau = \frac{q}{100} \int_{\tau_0}^{\tau_3} P_h \tau d\tau = \frac{q}{100} P_{m,tot} \quad (18)$$

Burada  $\tau_1$  ve  $\tau_2$  pencere genişliğinin sınırlarını belirler. Pencere genişliği dışında kalan kısım (19) eşitliğindeki gibi yazılır.

$$\int_{\tau_0}^{\tau_1} P_h \tau d\tau = \int_{\tau_2}^{\tau_3} P_h \tau d\tau = \frac{1-q/100}{2} \int_{\tau_0}^{\tau_3} P_h \tau d\tau = \frac{1-q/100}{2} P_{m,tot} \quad (19)$$

Burada  $\tau_0$  ve  $\tau_3$  yankı güç profilinin  $[P_h(\tau)]$  gürültü eşik seviyesini kestiği noktalarıdır  $\left[ P_h \tau = E |h \tau|^2 \right]$ .

Bu çalışmada gezgin iletim kanalı olarak Taşıt-A (vehicular-A) ve Banliyö (suburban) kanal profilleri kullanılmıştır. Altı yankılı Taşıt-A [19] ve 8 yankılı Banliyö kanal [20] profilinin yankı gecikme ve yankı güç değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Taşıt-A ve Banliyö kanalları için  $\tau_{etkin}$  değerleri sırasıyla 0.37  $\mu s$  ve 0.94  $\mu s$ ’dir.

**Çizelge 1.** Taşıt-A ve Banliyö kanal profilleri için yankı gecikmesi ve güç değerleri

Yankılar	Gecikme (µs)		Güç (dB)	
	Taşıt-A	Banliyö	Taşıt-A	Banliyö
1. yankı	0.0	0.0	0	0
2. yankı	0.31	1.0	-1	-4.34
3. yankı	0.71	2.0	-9	-8.68
4. yankı	1.09	3.0	-10	-13.02
5. yankı	1.73	4.0	-15	-17.37
6. yankı	2.51	5.0	-20	-21.71
7. yankı		6.0		-26.05
8. yankı		7.0		-30.40

### 3. GÜVENLİK ZAMANININ SİSTEM BAŞARIMINA ETKİSİ

Bu çalışmada, ÇT-KBÇE sistem başarımı alınan bir bit için SGO'daki değişime göre belirlendi. Sistem başarımındaki değişimin nedeni; güvenlik zamanında harcanan güç, yetersiz güvenlik zamanı kullanımından kaynaklı semboller arası girişim gücü, alt taşıyıcılar arası girişim gücü ve TBGG gücüdür.

ÇT-KBÇE sisteminde kazanç birleştirme aşamasından sonraki  $\ell$ . bit için güç ifadesi (20) eşitliğindeki gibidir.

$$P_{\ell} = E_s \left( \frac{NL}{NL + v} \right) [P_Y_{\ell} + P_{SAG}_{\ell} + P_{TAG}_{\ell} + P_{ÇEG}_{\ell}] + N_0 \quad (20)$$

Burada  $P_Y$  yararlı güç,  $P_{SAG}$  SAG gücü,  $P_{TAG}$  TAG gücü,  $P_{ÇEG}$  ÇEG gücü ve  $N_0$  TBGG gücüdür.  $\left( \frac{NL}{NL + v} \right)$  çarpanı güvenlik zamanı kullanımından kaynaklanan güç kaybını ifade etmektedir.

(20) eşitliğindeki  $NL + v$  ve  $NL$  çip süreleri, sırasıyla sembol süresini ve sembol aralığını ( $T_s - T_G$ ) göstermektedir. Bu veriler kullanılarak (20) eşitliği aşağıdaki gibi düzenlenir.

$$P_{\ell} = E_s \left( 1 - \frac{T_G}{T_s} \right) [P_Y_{\ell} + P_{SAG}_{\ell} + P_{TAG}_{\ell} + P_{ÇEG}_{\ell}] + N_0 \quad (21)$$

$\ell$ . bit için sinyal-gürültü oranı; yararlı gücün gürültü/girişim güçlerine oranı şeklindedir ve (22) eşitliğindeki gibidir.

$$\left( \frac{S}{N} \right)_{\ell} = \frac{E_s \left( 1 - \frac{T_G}{T_s} \right) P_Y_{\ell}}{E_s \left( 1 - \frac{T_G}{T_s} \right) [P_{SAG}_{\ell} + P_{TAG}_{\ell} + P_{ÇEG}_{\ell}] + N_0} \quad (22)$$

(22), (23) eşitliğindeki gibi düzenlenebilir.

$$\left(\frac{S}{N}\right)_\ell = \frac{E_s}{N_0} \cdot \left[ \frac{\left(1 - \frac{T_G}{T_s}\right) P_Y \ell}{1 + \frac{E_s}{N_0} \left(1 - \frac{T_G}{T_s}\right) P_{SAG} \ell + P_{TAG} \ell + P_{CEG} \ell} \right] \quad (23)$$

Bu çalışmada eşitliğin sağ tarafında köşeli parantez içerisindeki kısım güvenlik katsayısı (guard factor) olarak ifade edilmiştir. Sistem başarımındaki değişim Güvenlik Katsayısı (GK) ile belirlendi. GK kanal profiline,  $T_G$ ,  $T_s$ ,  $E_s/N_0$ ,  $P_Y$ ,  $P_{SAG}$ ,  $P_{CEG}$  ve  $P_{TAG}$  değerlerine bağlıdır.

Bu çalışmada EUGZ [16]'da olduğu gibi tek kullanıcı sistem için belirlenmiştir. Bu durumda  $P_{CEG}=0$ 'dır ve  $\ell$  bit için GK dB olarak (24) eşitliğindeki gibi yeniden yazılır.

$$GK = 10 \log \left( \frac{\left(1 - \frac{T_G}{T_s}\right) P_Y \ell}{1 + \frac{E_s}{N_0} \left(1 - \frac{T_G}{T_s}\right) [P_{SAG} \ell + P_{TAG} \ell]} \right) \quad (24)$$

ÇT-KBÇE sistem başarımını incelemek için  $P_Y$ ,  $P_{SAG}$  ve  $P_{TAG}$  değerlerinin bilinmesi gerekir. Bu güç değerleri güvenlik zamanına ve kanalın yankı güç profiline bağlı olarak değişmektedir.

#### 4. ANALİZ SONUÇLARI

Analizlerde kullanılan değişkenler Çizelge 2'de gösterilmiştir. Analizler 40 MHz iletim bant genişliğinde gerçekleştirilmiştir. Genişletme kodu olarak Walsh-Hadamard OVFSF kodlar ve kod uzunluğu olarak 4 kullanılmıştır. [21]'de farklı frekans seçicilikli kanal profilleri kullanılarak değişen Alt Taşıyıcı Sayıları (ATS) için sistem başarımı incelenmiş belirli bir değerden sonra ATS'deki artışın sistem başarımına etkisinin fazla olmadığı görülmüştür. Bu değer Gerekli Alt Taşıyıcı Sayısı (GATS) olarak ifade edilmiştir. Aynı çalışmada GATS 0.9 ilinti katsayılı tutarlı bant genişliği (coherence bandwidth) ile (25) eşitliğinde verildiği gibi ilişkilendirilmiştir.

$$GATS \cong 5 \frac{B}{B_{T,0.9}} \quad (25)$$

Burada B iletim bant genişliği,  $B_{T,0.9}$  0.9 ilinti katsayılı tutarlı bant genişliğidir. Taşıt-A ve Banliyö kanalları için GATS değerleri (25) eşitliği kullanılarak sırasıyla 625 ve 1250 elde edilmiştir. Dolayısıyla bu kanal profilleri için 512 ve 1024 alt taşıyıcı sayıları kullanılmıştır. Kanal profilleri her durumda toplam yankı enerjisinin 1 olması için normalize edilmiştir. Normalize edilmiş her kanal için  $P_{Y,norm}$ ,  $P_{SAG,norm}$ ,  $P_{TAG,norm}$  güçleri belirlenmiş ve değişen güvenlik zamanları için güvenlik katsayısı hesaplanmıştır. Güvenlik katsayısını en büyük yapan güvenlik zamanı EUGZ olarak belirlenmiştir. (24) eşitliğinde görüldüğü gibi EUGZ  $E_s/N_0$ 'a bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle ilk önce  $E_s/N_0$ 'ın EUGZ'yi etkilediği aralık belirlenmiştir. Bu aralıktaki referans değerler için EUGZ'ler belirlenip bu değerlerin sembol süresi, kanalın  $\tau_{etkin}$  ve  $W_q$  değerleri ile ilişkisi incelenmiştir.

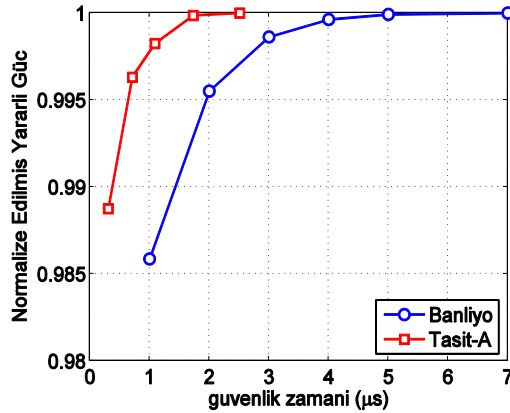


**Çizelge 2.** Analizlerde kullanılan sistem değişkenleri ve kanal özellikleri

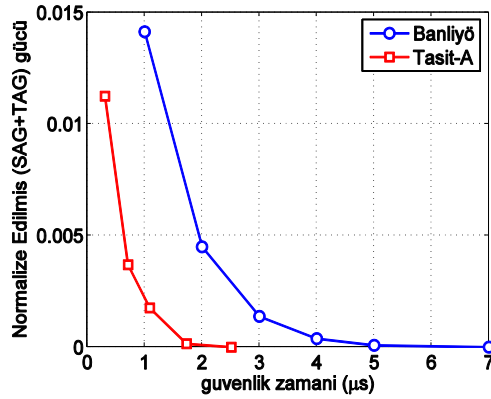
Kullanıcı sayısı	Tek kullanıcı	
Yukarı/Aşağı Hat	Aşağı Hat	
Geniştirme kodu	Walsh-Hadamard OVSF	
Kod uzunluğu, N	4	
(Kazanç) birleştirme	EYOB	
İletim bant genişliği, B	40 MHz	
Kanal profili	Taşıt-A	Banliyö
Alt taşıyıcı sayısı	512	1024
$\tau_{\text{etkin}}$	0.37 $\mu\text{s}$	0.94 $\mu\text{s}$
Tutarlı bant genişliği, $B_{T,0.9}$	0.32 MHz	0.16 MHz
Sembol süresi, $T_s$	12.8 $\mu\text{s}$	25.6 $\mu\text{s}$

#### A. En Uygun Güvenlik Zamanı

Şekil 3’de her iki kanal profili için güvenlik zamanının normalize edilmiş yararlı güce ( $P_{Y,\text{norm}}$ ) etkisi gösterilmiştir. Şekil 4’de ise bu iki kanal profilleri için normalize edilmiş SAG ve TAG güç değerlerinin toplamı verilmiştir. Şekil 3’ün daha anlaşılır olması için  $P_{Y,\text{norm}}$ ’un 0.98 ile 1 arasındaki değerleri gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi artan güvenlik zamanı ile  $P_{Y,\text{norm}}$  artmakta, Taşıt-A ve Banliyö kanalları için yaklaşık 1.7  $\mu\text{s}$  ve 4  $\mu\text{s}$ ’den sonra 1’e yaklaşmaktadır.



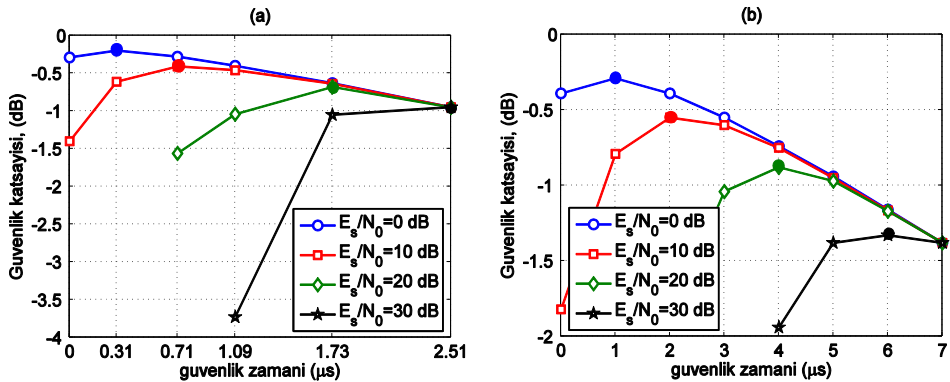
**Şekil 3.** Taşıt-A ve Banliyö kanalları için  $P_{Y,\text{norm}}$  değerleri



Şekil 4. Taşıt-A ve Banliyö kanalları için  $P_{SAG,norm}$  ve  $P_{TAG,norm}$  değerleri toplamı

Şekil 5’de farklı iki kanal profili için (12–14, 16, 24) eşitlikleri kullanılarak 0, 10, 20 ve 30 dB’lik  $E_s/N_0$  değerlerinde güvenlik katsayıları verilmiştir. Güvenlik katsayısını en büyük yapan güvenlik zamanı EUGZ’dir ve koyu renkte gösterilmiştir. En uygun değerden kısa güvenlik zamanı ( $T_G < T_{G,uyg}$ ) kullanımında birim vuruş tepkesinin güvenlik zamanını geçen parçası SAG’a neden olmakta ve başarımlı düşmektedir.  $T_G > T_{G,uyg}$  için ise başarımlı, güvenlik zamanı kullanım kayıplarından dolayı düşmektedir. Şekil 5’de artan güvenlik zamanı ile güvenlik katsayısı eğrisinin  $E_s/N_0$ ’a daha az bağımlı olduğu görülmektedir. Bu sonuç (24) eşitliği ile uyumludur. (24) eşitliğinde verildiği gibi artan güvenlik zamanı ile  $P_{Y,norm}$  1’e yaklaşmakta girişim güçleri ise ihmal edilebilir düzeye gelmektedir.

Şekilden EUGZ’nin 0-30 dB arasındaki  $E_s/N_0$ ’dan etkilendiği görülmektedir. Artan  $E_s/N_0$  ile EUGZ büyümekte ve  $\tau_{max}$ ’a yaklaşmaktadır.  $E_s/N_0$ ’ın 30 dB ve üzeri değerleri için EUGZ  $\tau_{max}$  alınabilir (Şekil 5.b’de 30 dB’lik  $E_s/N_0$  değerinde 6 ve 7  $\mu s$ ’lik güvenlik zamanları için güvenlik katsayıları yaklaşık olarak aynıdır). Taşıt-A kanalı için EUGZ  $E_s/N_0=0$  dB için 0.31  $\mu s$ ’dir.  $E_s/N_0$ ’ın 10, 20 ve 30 dB değerleri için bu değerler sırasıyla 0.71  $\mu s$ , 1.73  $\mu s$  ve 2.51  $\mu s$ ’dir. Banliyö kanalı için; ise bu değerler sırasıyla 1  $\mu s$ , 2  $\mu s$ , 4  $\mu s$  ve 6  $\mu s$ ’dir.



Şekil 5. 0, 10, 20 ve 30 dB’lik  $E_s/N_0$  değerlerinde (a) Taşıt-A, (b) Banliyö kanalı için güvenlik katsayısı

**B. En Uygun Güvenlik Zamanı ve Etkin Yankı Gecikmesi**

Çizelge 3’de iki kanal için kuramsal olarak bulunan EUGZ’lerin sembol süresi, kanalın  $\tau_{\text{etkin}}$  ve toplam yankı gücünün %q kadarını içeren pencere genişlikleri ile olan ilişkisi verilmiştir. Çizelge 3’den görüldüğü gibi farklı kanal profilleri ve  $E_s/N_0$  değerleri için EUGZ’ler kanalın  $\tau_{\text{etkin}}$  değerinin farklı katları şeklindedir (örn. 20 dB’lik  $E_s/N_0$  değerinde Taşıt-A için  $EUGZ=4.25\tau_{\text{etkin}}$  iken Banliyö kanalı için  $EUGZ=4.67\tau_{\text{etkin}}$ ’dir). Yine Çizelgeden aynı  $E_s/N_0$  değerleri için EUGZ’lerin sembol sürelerinin de farklı katları olduğu görülmektedir (örn. 10dB’lik  $E_s/N_0$  değerinde Taşıt-A için  $EUGZ \cong 18T_s$  iken Banliyö kanalı için  $EUGZ \cong 13T_s$ ’dir). Dolayısıyla farklı kanal profilleri için EUGZ ile sembol süresi ve kanalın  $\tau_{\text{etkin}}$  değeri arasında doğrusal bir ilişki yoktur.

**Çizelge 3.** Taşıt-A ve Banliyö kanal profilleri için en uygun güvenlik zamanının  $\tau_{\text{etkin}}$ ,  $T_s$  ve yankı enerjisinin yüzdesi ile ilişkisi

$E_s/N_0$	Taşıt-A				Banliyö			
	$T_{G_{\text{oyg}}}$ ( $\mu\text{s}$ )	$\frac{T_{G_{\text{oyg}}}}{\tau_{\text{etkin}}}$	$\frac{T_s}{T_{G_{\text{oyg}}}}$	%q	$T_{G_{\text{oyg}}}$ ( $\mu\text{s}$ )	$\frac{T_{G_{\text{oyg}}}}{\tau_{\text{etkin}}}$	$\frac{T_s}{T_{G_{\text{oyg}}}}$	%q
0 dB	<b>0.31</b>	0.84	41.29	87.0	<b>1.0</b>	1.06	25.6	86.5
10 dB	<b>0.71</b>	1.92	18.03	93.1	<b>2.0</b>	2.13	12.80	95.0
20 dB	<b>1.73</b>	4.67	7.39	99.5	<b>4.0</b>	4.25	6.40	99.3
30 dB	<b>2.51</b>	6.78	5.09	100	<b>6.0</b>	6.38	4.26	$\cong 100$

**C. En Uygun Güvenlik Zamanı ve Pencere Genişliği**

Bu çalışmada, pencere genişliği her bir yankıyı içine alacak şekilde tek tek belirlenmiştir. Banliyö kanalının ilk 2 yankısını içine alacak pencere genişliği 1  $\mu\text{s}$  iken tüm yankılarını içine alan pencere genişliği 7  $\mu\text{s}$ ’dir. Taşıt-A kanalı için olası pencere genişlikleri ise 0.31  $\mu\text{s}$ , 0.71  $\mu\text{s}$ , 1.09  $\mu\text{s}$ , 1.73  $\mu\text{s}$  ve 2.51  $\mu\text{s}$ ’dir. Bu pencere genişliklerinde toplam yankı güçleri sırasıyla %87, %93.1, %98, %99.5, %100’dür.

Çizelge 3’de Taşıt-A ve Banliyö kanal profilleri için EUGZ süresindeki ( $W_q=T_{G_{\text{opt}}}$ ) toplam yankı gücü (%q) verilmiştir. Çizelgeden EUGZ ile pencere genişliği arasındaki doğrusal ilişki görülmektedir. Taşıt-A kanalı için  $E_s/N_0$ ’ın 0 dB değerinde EUGZ 0.31  $\mu\text{s}$  olarak belirlenmiştir. Bu süre ise toplam yankı gücünün %87’ini içeren pencere genişliğine denk gelmektedir. Dolayısıyla bu kanal profili için  $E_s/N_0$ ’ın 0 dB değerinde toplam yankı gücünün %87’sini içeren pencere genişliği EUGZ olarak seçilebilir. 0 dB’lik  $E_s/N_0$  değerinde Banliyö kanalı için EUGZ 1  $\mu\text{s}$ ’dir ve bu süre toplam yankı gücünün yaklaşık %86.5’ini içeren pencere genişliği kadardır.  $E_s/N_0$ ’ın diğer değerleri için benzer işlemler yapılarak EUGZ ile pencere genişlikleri ilişkilendirilmiştir.  $E_s/N_0$ ’ın 10, 20 ve 30 dB değerlerinde her iki kanal profili içinde EUGZ’ler toplam yankı gücünün yaklaşık %95, %99.5 ve %100’ünü içeren pencere genişliği kadardır.

Çizelgeden, verilen  $E_s/N_0$  değeri için bulunan EUGZ’nin kanal parametrelerinden en iyi pencere genişliği ile ilişkilendirilebileceği görülmektedir. Bu çalışmada  $E_s/N_0$ ’ın 0-30 dB arasındaki tüm değerleri yerine referans değerler kullanılmıştır. Bunun dışında istenilen  $E_s/N_0$  değeri için (24) eşitliği kullanılarak EUGZ bulunup pencere genişliği ile ilişkilendirilebilir. Başka bir yöntem ise istenilen  $E_s/N_0$ ’a yakın değerler için bulunan pencere genişliklerine bakılarak fikir

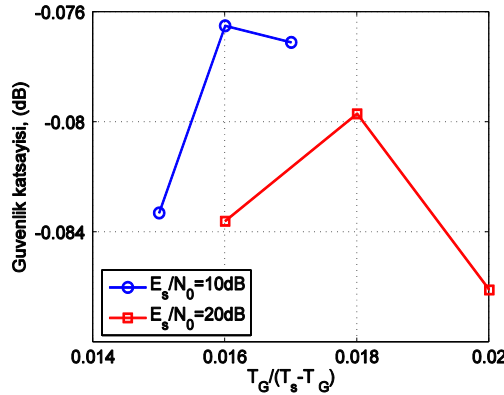
yürütülebilir. Örneğin bu iki kanal profili için 15 dB'lik  $E_s/N_0$  değerinde EUGZ belirlenmek istendiğinde; 10 ve 20 dB'lik  $E_s/N_0$  için pencere genişliklerine bakılır ve toplam yankı gücünün yaklaşık %97'sini içeren pencere genişliği alınabilir. Bu sonuç [21]'deki çalışmada bulunan değer ile de uyumludur.

İki kanal profili dışında [21]'de Manchester kent merkezinde UMTS/FDD bantlarında yapılan iletim kanal ölçümlerinde elde edilen farklı frekans seçicilikli 20 kanal profili için EUGZ'ler ile pencere genişlikleri arasındaki ilişki incelenmiştir. [21]'de 5 dB'lik  $E_s/N_0$  değeri için EUGZ'ler toplam yankı gücünün %93'ünü içeren pencere genişliği kadarken 10, 15, 20 ve 30 dB'lik değerler için EUGZ'ler yaklaşık %95, %97, %99 ve %100'lük pencere genişlikleri kadardır.

Kullanılan  $E_s/N_0$  değerine bağlı olarak EUGZ'nin en iyi toplam yankı gücünün belirli bir yüzdesinin içeren pencere genişliği ile ilişkilendirilebileceği savımızın doğruluğu [16]'da yapılan çalışma ile sınanmıştır. [16]'da yedi yankılı üstel olarak azalan kanal profili için en uygun alt taşıyıcı sayısı 1024 ve  $E_s/N_0$ 'a bağlı olmaksızın EUGZ ifadesi  $\frac{T_{G_{\text{uyg}}}}{T_s - T_{G_{\text{uyg}}}} = 0.018$  olarak belirlenmiştir. [16]'da kullanılan kanal profili için yankılar arası gecikme 10 ns'dir ( $\Delta\tau=10$  ns,  $\Delta\tau=\tau_m-\tau_{m-1}$ ,  $m=2,3,\dots,7$ ) [22].

[16]'daki çalışma ile karşılaştırma yaparken aynı kanal profili ve 1024 alt taşıyıcı sayısı için  $P_Y$ ,  $P_{SAG}$  ve  $P_{TAG}$  güç değerleri kuramsal olarak bulunmuştur. 10 ve 20 dB'lik  $E_s/N_0$  değerlerindeki SGO'daki değişimine bakılmıştır.  $E_s/N_0$ 'ın 10 ve 20 dB'lik değerleri için SGO'daki değişim Şekil 6'da verildiği gibidir. 20 dB'lik  $E_s/N_0$  değeri için SGO'daki değişim en az  $\frac{T_{G_{\text{uyg}}}}{T_s - T_{G_{\text{uyg}}}} = 0.018$  'dir. Bu oran 10 dB'lik  $E_s/N_0$  için 0.016'dır. 20 dB için 0.018 oranını veren

EUGZ toplam yankı gücünün yaklaşık %99'unu içeren pencere genişliği kadarken 10 dB için bu değer yaklaşık olarak %96'dır. Sonuçlardan, EUGZ ile pencere genişliği arasında önerdiğimiz ilişkinin doğruluğu görülmektedir.



Şekil 6. 7 yankılı üstel azalan kanal profili için güvenlik katsayısı ile  $T_G/(T_s - T_G)$ 'nin değişimi

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada, ÇT-KBÇE sistemi alıcı dedektör çıkışındaki bir bit için SGO ifadesi kuramsal olarak türetilmiştir. SGO'yu en büyük yapan güvenlik zamanı EUGZ olarak adlandırılmıştır.

Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak  $E_s/N_0$ 'ın EUGZ'yi etkilediği aralık belirlenmiş ve bu aralıkta EUGZ'nin en iyi hangi kanal değişkeni ile ifade edilebileceği araştırılmıştır.  $E_s/N_0$ 'ın artmasıyla EUGZ'ninde arttığı ve 30 dB'den sonra yaklaşık en yüksek yankı gecikmesine eşit olduğu görülmüştür. Farklı kanal profilleri ve  $E_s/N_0$  değerleri için bulunun EUGZ ile sembol süresi ve kanalın yankı gecikme dağılımının etkin değeri arasında doğrusal bir ilişki bulunamamıştır. EUGZ'nin  $E_s/N_0$ 'a bağlı olarak toplam yankı gücünün belirli bir yüzdesini içeren pencere genişliği ile en iyi ifade edilebileceği sonucuna varılmıştır. Elde edilen bu sonuç ile verilen kanal profili ve  $E_s/N_0$  değeri için EUGZ, karmaşık güvenlik katsayısı hesaplamasına gerek olmaksızın kolaylıkla hesaplanabilir.

#### REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Lie-Liang Y., Hanzo L., "Multicarrier DS-CDMA: a multiple access scheme for ubiquitous broadband wireless communications", IEEE Communications Magazine, vol.41, Issue.10, pp.116–124, October, 2003.
- [2] Berg R. M., Chitamu P. J., "Design Considerations for the Fourth Generation Mobile Network Architecture", Southern African Telecommunications Networks and Applications Conference (SATNAC) 2005 Proceedings, vol. 2, pp. 45-46, September, 2005.
- [3] Ibrahim J., "4G Features", Bechtel Telecommunications Technical Journal, vol. 1, no.1, pp. 11-14, December, 2002.
- [4] Yee N., Linnartz J. P, Fettweis G., "Multi-carrier CDMA in indoor Wireless Radio Networks", in Proc. IEEE PIMRC'93, pp.468–472, 1993.
- [5] Kondo S., Milstein L. B., , "Performance of Multicarrier DS-CDMA Systems", IEEE Transactions on Communications, vol.44, no.2, pp.238–246, February, 1996.
- [6] Prasad R., Hara S., "Overview of Multicarrier CDMA", IEEE Commun. Mag., pp.126–133, December, 1997.
- [7] Yang L. L., Hanzo L., "Multicarrier DS – CDMA: A Multiple Access Scheme for Ubiquitous Broadband Wireless Communications", IEEE Communications Magazine, pp.116-124 , 2003.
- [8] Fazel K., Kaiser S., Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems, John Wiley&Sons Ltd, England, 2003.
- [9] Nee R. V., Prasad R., "OFDM for Wireless Multimedia Communications", Artech House, 2000.
- [10] Parsons J. D., "The Mobile Radio Propagation Channel" John Wiley & Sons Ltd, England, 1992.
- [11] Lee B. S., Park S. C., "Design and Performance Analysis of the MC-CDMA", the 14<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication Proceeding, vol.3, pp.2230 – 2233, 7–10 September, 2003.
- [12] Engels M., "Wireless OFDM Systems", Kluwer Academic Publisher, USA, 2002.
- [13] McCormick A. C., Al-Susa E. A., "Multicarrier CDMA for future generation mobile communication" Electronics & Communication Engineering Journal, vol.14, pp.52–60, April, 2002.
- [14] Kunnari E., Iinatti J., "Performance Analysis of Multirate MC-CDMA in Rayleigh-Fading Channels with Delay Power Spectrum Exceeding the Guard Interval", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.24, no.3, March, 2006.
- [15] Nours S. L., Nouyel F., Helard J. F., "Design and Implementation of MC-CDMA systems for future wireless networks", EURASIP Journal on Applied Signal Processing, pp.1604-1615, January, 2004.

- [16] Hara S., Prasad R., “Design and Performance of Multicarrier CDMA System in Frequency-Selective Rayleigh Fading Channels”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol.48, no.5, pp.1584-1595, September, 1999.
- [17] Rappaport T. S., “Wireless Communications Principles and Practice”, Prentice Hall PTR, 1996.
- [18] Salous S., Gokalp H., “Dual-frequency sounder for UMTS frequency-division duplex channels”, Communications, IEE Proceedings, vol.149, Issue 2, pp.117-122, April, 2002.
- [19] ITU-R, ITU-R Recommendation M.1225: “Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT–2000”, 1997.
- [20] Cost 207, “Digital land mobile radio communications”, Final Report, 1989.
- [21] Kurnaz Ç., “Analitik Modelleme ve Bilgisayar Benzetimi ile Gezgin İletim Kanal Değişkenlerinin ÇT-KBÇE Sistem Başarımına Etkisinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [22] Lee W. C. Y., “Mobile Communications Engineering”, New York, McGraw-Hill, 1995.