

# Frekans Düzleminde Serpiştirmenin ÇT-KBÇE Sistem Başarımına Etkisi

Çetin Kurnaz<sup>1</sup> Hülya Gökalp<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisli Bölümü

<sup>1,2</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kurupelit, Samsun

<sup>1</sup>e-posta: ckurnaz@omu.edu.tr

<sup>2</sup>e-posta: hgokalp@omu.edu.tr

## Özetçe

Çok taşıyıcılı kod bölmeli çoklu erişim (ÇT-KBÇE) 100 Mbit/s'ye varan veri hızlarındaki hizmetleri desteklemeyi amaçlayan 4.Kuşak gezgin radyo sistemleri için çoklu erişim yöntemi olarak düşünülmektedir. Bu çalışmada ÇT-KBÇE sisteminin başarımı frekans düzleminde serpiştirmenin olduğu/olmadığı durumlar için ve farklı kullanıcı sayıları için incelendi. Ayrıca farklı frekans seçiciliğe sahip kanallarda 20 MHz ve 40 MHz iletim bant genişliklerinde 512 ve 1024 alt taşıyıcı için benzetimler yapıldı. Frekansta serpiştirme yapıldığında başarımda bir iyileşme görüldü ancak bu iyileşmenin artan alt taşıyıcı sayısı ile azaldığı gözlemlendi. Artan kullanıcı sayısı ile başarımdaki kötüleşme frekans seçiciliğinin yüksek olduğu kanallarda daha büyüktür. Frekans seçiciliğinin az olduğu kanallarda alt taşıyıcı sayısı 512'den 1024'e çıktığında başarımda iyileşirken seçiciliğinin yüksek olduğu kanallarda başarımda kayda değer bir iyileşme gözlenmedi.

## 1. Giriş

3. Kuşak (3K) sistemler için ayrılan bantlar yüksek veri hızında iletişime olan talebi karşılayamayacağı için 4.Kuşak (4K) sistemler tasarlanmaya başlamıştır [1]. 4K sistemler için düşünülen çoklu erişim ve modülasyon yöntemleri arasında frekans bandını etkin kullanan çok taşıyıcılı Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (DFBÇ, OFDM), Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoğullama (ÇT-KBÇE, MC-CDMA) ve Doğrudan Seri Kod Bölmeli Çoklu Erişim (DS-KBÇE, DS-CDMA) yöntemleri vardır.

Farklı hızlarda veri aktarımını kolaylıkla desteklediği ve kapasite artışı getirdiği için 3K sistemlerde DS-KBÇE kullanılmaktadırlar. Ancak 4K sistemler 100 Mbit/s'ye varan veri hızları için daha yüksek çip hızları gerektirir. Yüksek çip hızlarında çözünebilecek yankı sayısı artacağından bina dışı ortamlarda çok sayıda Tırmık Alıcı (rake receiver) parmağına gerek duyulacaktır. Bu ise alıcı yapısını karmaşıklaştırır. Buna karşın Hızlı Fourier dönüşüm (Fast Fourier Transform - FFT) algoritmalarıyla gerçekleştirilebilen DFBÇ yöntemi alıcı yapısını basitleştirdiği için geniş bantlı iletişim uygulamalarında tercih edilmektedir.

Çok taşıyıcılı iletişim, yüksek hızdaki veri akışını düşük hızda birkaç adet veri akışına dönüştürerek sembol süresini uzattığından frekans seçici sönmülmeye, dar bant girişimine ve semboller arası girişime dayanıklıdır [1-5]. Dikgen alt taşıyıcılar birbirlerine yakın yerleştirilerek tayf etkinliği artırılırken taşıyıcıların eş zamanlaması güçleşmekte ve tepe

gücünün ortalama güce oranı (Peak to Average Power Ratio-PAPR) yükselmektedir [5].

DFBÇ sisteminde her bir sembol farklı dikgen alt taşıyıcı ile iletilirken DFBÇ ile DS-KBÇE arasında bir yöntem olan ÇT-KBÇE sisteminde Walsh-Hadamard kodları ile genişletilen her bit (çip) farklı dikgen alt taşıyıcı ile iletilir. ÇT-KBÇE çip hızında azalma sağlar ve DFBÇ'nin iyi yanlarını kullanır [3]. Ayrıca ÇT-KBÇE ile kimi alt taşıyıcılar çok zayıflamış olsa da güçlü alınacak alt taşıyıcılar olacağından bitlerin hatalı algılama olasılığı azalır [6]. Bu bir tür frekans çeşitliliği olarak düşünülebilir. Bu nedenlerle ÇT-KBÇE 4K gezgin iletişim sistemleri için düşünülen çoğullama yöntemleri arasında önde gelmektedir.

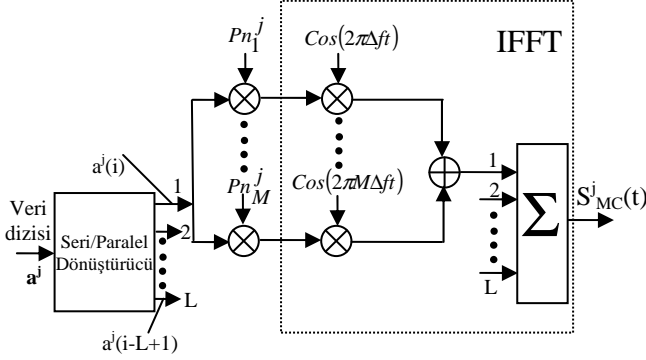
ÇT-KBÇE sistem başarımı, değişen kullanıcı ve alt taşıyıcı sayıları için [7]'de farklı kazanç birleştirme yöntemleri için [7, 8]'de, farklı doppler kaymaları için [9]'da incelenmiştir. [10]'da yapılan çalışmada komşu alt taşıyıcılar arası mesafe  $\Delta f$  olmak üzere ardışıl gelen çipleri modülleyen alt taşıyıcılar arası mesafenin farklı  $\Delta f$  olmasına bağlı olarak ÇT-KBÇE sistem başarımı incelenmiştir. [10]'da etkin gecikmesi 1µs olan bir adet kanal modeli kullanılmıştır.

Bu çalışmada ÇT-KBÇE sistemlerinde farklı frekans seçiciliğindeki kanallar için frekans düzleminde serpiştirmenin etkisini, kullanıcı sayısının etkisini ve 20 MHz/40MHz iletim bant genişlikleri için en uygun alt taşıyıcı sayısının varlığını inceledik. [2, 7, 8]'de yapılan çalışmalarda en iyi kazanç birleştirme yöntemi olarak en küçük ortalama kare hatası birleştirme (Minimum Mean Square Error Combining - MMSEC) belirlendiğinden birleştirme yöntemi olarak kullanıldı. Genişletme çarpanı (GC) 16, alt taşıyıcı sayıları 512-1024 olarak seçildi. Elde edilen sonuçları sadece  $\Delta f$  ile değil [10] kanalın frekans ilinti fonksiyonu ile ilişkilendirdik. Manchester kent merkezinde 2110-2170 MHz frekans aralığında elde edilen radyo yayını verileri [11] kullanıldı. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada frekans düzleminde bir kanal modeli kullanıldı. Bir kullanıcı için 25 Hz'lik doppler kayması; 0.77, 1.14, 0.22 µs'lik etkin gecikme ve 0.5, 11.7 ve 25 MHz'lik  $B_{T0.5}$  (0.5 ilinti katsayısı için kanalın tutarlı bant genişliği) değerleri, 20 MHz ve 40 MHz iletim bant genişlikleri için benzetimler yapıldı. Serpiştirme ile elde edilen iyileşmenin iletim bant genişliğine ve kullanılan alt taşıyıcı sayısına bağlı olduğu görüldü; artan alt taşıyıcı sayısı ile iyileşme azalmıştır. Bunun nedeni olarak alt taşıyıcı sayısının artması ile bir bitin çipleri frekansta birbirine daha yakın alt taşıyıcılar ile aktarılması gösterilebilir.

## 2. ÇT-KBÇE Sistem Modeli

### 2.1. Verici

Vericide her bir veri sembolü, uzunluğu M olan genişletme kodu ( $P_n$ ) ile çarpılır (Şekil 1). Elde edilen çipler IFFT bloğuna beslenir. IFFT bloğunun işlevi her bir çipi komşu alt taşıyıcı mesafesi  $\Delta f$  olacak biçimde BPSK modülasyonunu gerçekleştirmek ve farklı alt taşıyıcılardaki sinyali toplamaktır [7]. Sembol hızı frekans seçici kanal sönmülmesi için yeterince yüksek ise sinyale, frekans düzleminde genişletme yapılmadan önce seri-paralel dönüşüm uygulanır.



Şekil 1: ÇT-KBÇE verici yapısı

Çıktıdaki j. kullanıcı için ÇT-KBÇE sinyali,

$$S_{MC}^j(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M a^j(i-l) P_{n_m}^j p_s(t-iT_s) \cos(2\pi ml\Delta ft) \quad (1)$$

eşitliği ile ifade edilir. Burada; L:seri/paralel (S/P) dönüştürücü çıkışındaki bit sayısı,  $T_s$ : sembol süresi,  $\Delta f$  alt taşıyıcılar arası mesafe ( $\Delta f=1/T_s$ ),  $a^j(i-l)$ : S/P dönüştürücünün j. kullanıcı için l. çıkışı,  $P_{n_m}^j$  j. kullanıcı için m. genişletme kodunun m. çipi,  $p_s(t)$ : sembol süresine karşılık gelen darbedir.

$$p_s(t) = \begin{cases} 1 & (0 \leq t \leq T_s) \\ 0 & \text{Diğer yerlerde} \end{cases} \quad (2)$$

### 2.2. Alıcı

ÇT-KBÇE alıcısı frekans düzleminde saçılmış olarak aldığı sinyali birleştirir (Şekil 2). Alıcıya ulaşan toplam sinyal 3 eşitliği ile bulunur (J: kullanıcı sayısı).

$$r_{MC}(t) = \sum_{j=1}^J S_{MC}^j(t) + n(t) \quad (3)$$

Alıcıya ulaşan temel bant sinyalinin FFT dönüşümü alınarak demodülasyon işlemi gerçekleştirir. Demodülör çıkışlarının matematiksel bağıntısı eşitlik 4'de verilmektedir.

$$y_{l,m} = \sum_{j=1}^J z_{l,m}^j a^j(i-l) P_{n_m}^j + n_{l,m} \quad (4)$$

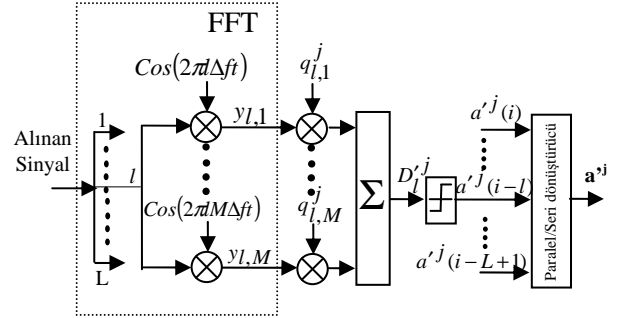
Burada  $z_{l,m}^j$  ve  $n_{l,m}$ : sırasıyla j. kullanıcının lxm. alt taşıyıcının karmaşık zarfı ve toplamsal beyaz Gauss gürültüsüdür ( $m=1,2, \dots, M$ ,  $l=1,2, \dots, L$ ). Alt taşıyıcılar ile gelen enerjiyi almak için demodülör çıkışları eşitlik 5'deki gibi  $q_{l,m}^j$  kazanç değeri ile çarpılarak toplanır.

$$D_l'^j = \sum_{m=1}^M q_{l,m}^j y_{l,m} \quad (5)$$

Kanal kazanç değerleri MMSEC algoritması ile elde edilir. MMSEC en iyi birleştirme yöntemi olmasına karşın mükemmel kanal ve gürültü varyansı tahmini gerektirmektedir. Taşıyıcılara ilişkin kanal kazanç değerleri;

$$q_{l,m}^j = \frac{P_{n_m}^j z_{l,m}^{j*}}{\sum_{j=1}^J |z_{l,m}^j|^2 + \sigma_n^2} \quad (6)$$

bağıntısı ile bulunur. Burada  $\sigma_n^2$  gürültünün varyansını  $z_{l,m}^{j*}$ :  $z_{l,m}^j$  nin karmaşık eşleniğini temsil etmektedir.



Şekil 2: ÇT-KBÇE alıcı yapısı ( $q_{l,1}^j, \dots, q_{l,M}^j$  alt taşıyıcılar için ideal kanal tahminleri)

### 2.3. Radyo Kanalı

Manchester kent merkezinde 2110–2170 MHz bandında yapılan radyo kanal ölçümünde [11] elde edilen yayınım verileri kullanıldı. Bu kanal verileri sürekli dalga frekans modülasyonlu (FMCW) kanal sonda cihazı ile elde edildi. Verici anten yedi katlı bir binanın çatısına, yakınında başka bir yüksek bina tarafından görüşü kısıtlanmayacak biçimde monte edildi. Verici ve alıcı anten yükseklikleri sırasıyla 46 m ve 1.75 m'dir. 1800 m'ye varan alıcı-verici uzaklıklarında 581 küçük ölçekli konumda 0.5–1 saniye süresince kanal örneklenildi. Kanal tarama hızı olarak 100 Hz veya 250 Hz kullanıldı. Ölçümde kullanılan yankı gecikme penceresi genişlikleri 16.66  $\mu$ s, 27.5  $\mu$ s ve 41.66  $\mu$ s'dir. Bu çalışmada üç ayrı küçük ölçekli konumda toplanan kanal verisi kullanıldı. Farklı frekans seçiciliklere sahip bu kanallar K1, K2 ve K3 olarak adlandırıldı. Bu kanal profilleri için frekans

düzlemindeki geçiş işlevleri (transfer function) Şekil 3’de, birim vuruş tepkeleri Şekil 4’de ve frekans iltinti fonksiyonları Şekil 5’de gösterilmiştir. Şekil 3’de görüleceği gibi K1’deki sönümlenmeler sık ve derindir; -35 dB’e varan sönümlenmeler bulunmaktadır. K2’de sönümlenmeler daha sık fakat sığdır. K3’de ise sönümlenmeler seyrek ve oldukça sığdır (40 MHz’lik kanallar frekans düzleminde 2120–2160 MHz’e, 20 MHz’lik kanallar 2130–2150 MHz’e denk gelmektedir).

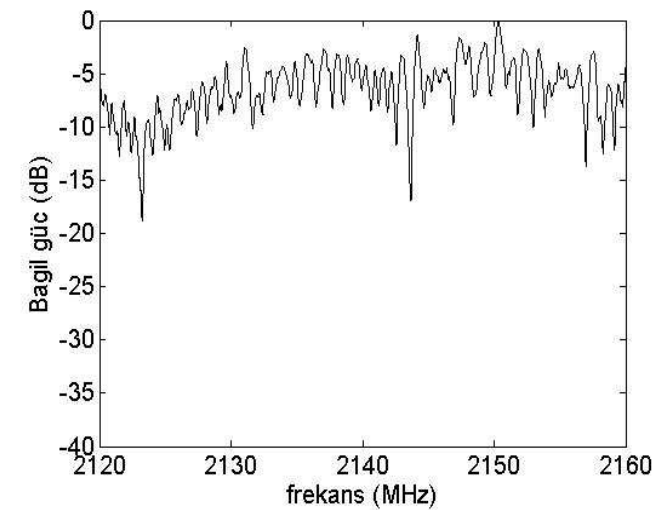
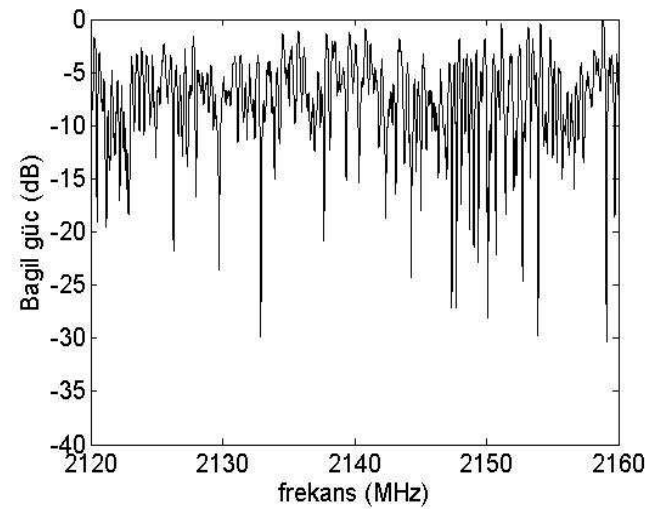
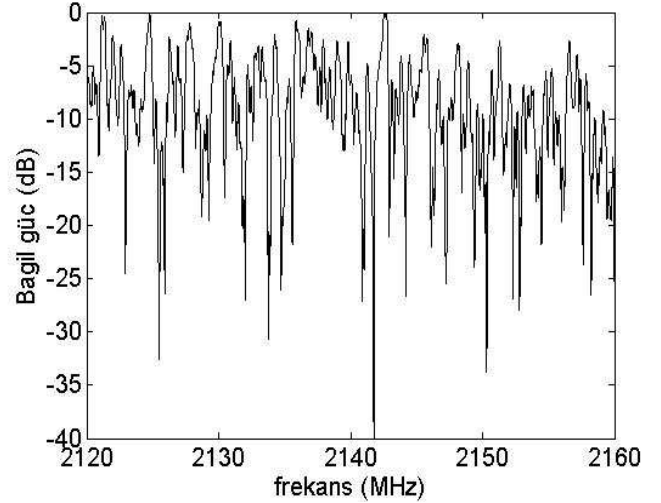
Geçiş işlevi, her bir tarama için elde edilen 2000 noktalı yankı profillerine sıfırlar eklendikten sonra 4000 noktalı DFT uygulanması ile bulundu. Böylece 60 MHz için 4000 ayrı frekans noktalı geçiş işlevi elde edildi. Bu geçiş işlevindeki 40 MHz’e denk gelen 2666 nokta alınarak benzetimler yapıldı. Tablo 1’de kanallara ait  $\tau_{etkin}$  değerleri, bu değerlere bağlı olarak hesaplanan tampon süreleri ve frekans iltinti fonksiyonunun (FİF, Frequency Correlation Function-FCF) 0.5, 0.75, 0.9 değerleri için kanalın tutarlı bant genişlikleri verilmiştir. FİF’nin 0.5 değeri için K1 için frekans seçiciliği fazla olduğundan tutarlı bant genişliği darken (0.5 MHz) düşük frekans seçiciliklerine sahip K2, K3 yapıları için tutarlı bant genişlikleri (sırasıyla 11.7 MHz ve 29 MHz) büyüktür.

Yankılı kanalda dikgenlik kaybolur ve ardışıl olarak iletilen semboller arasında semboller arası girişim oluşur. Semboller arası girişimi azaltmak için her ÇT-KBÇE sembolünün başına tampon zamanı yerleştirilir. [12]’de yapılan çalışmada tampon zaman aralığının kanalın  $\tau_{RMS}$  değerinin 4 katı olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla 3 farklı kanal yapısı için 3 farklı tampon süresi kullanılmıştır. K2 en büyük  $\tau_{etkin}$  değerine sahiptir. Dolayısıyla en geniş tampon süresi bu kanal profili için kullanılacaktır (4,56  $\mu$ s). K1 ve K3 için kullanılacak tampon süreleri 1,6  $\mu$ s ve 0,88  $\mu$ s’dir. Belirlenen bu tampon sürelerinde bir ÇT-KBÇE sembolünün sonundaki bilgi sonra gelen sembolün başına çevrimsel ön ek olarak eklendi. K1, K2, K3 için her bir ÇT-KBÇE sembol süresi aynıdır. Fakat tampon süreleri farklı olduğu için bir sembol süresinde gönderilen veri biti sayısı farklıdır. Dolayısıyla frekans düzleminde kanal gerçekleştirilmesi yaparken ayrılan frekans bandının belirli bir bölümü tampon zamanı için kullanılmaktadır. Tampon zamanı için ayrılan frekans bandı K2’de fazla iken K1, K3’de daha dardır.

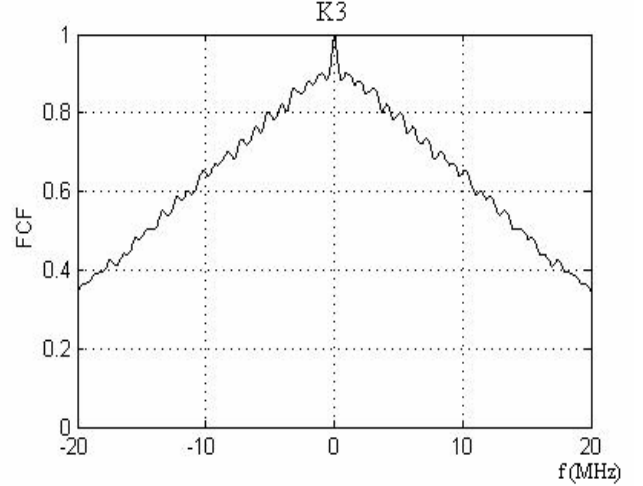
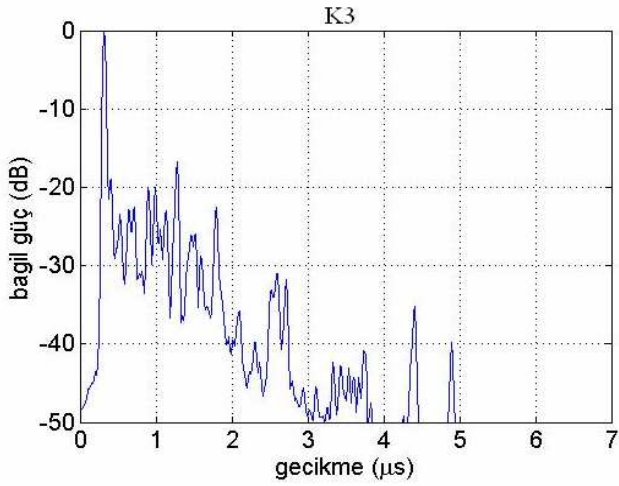
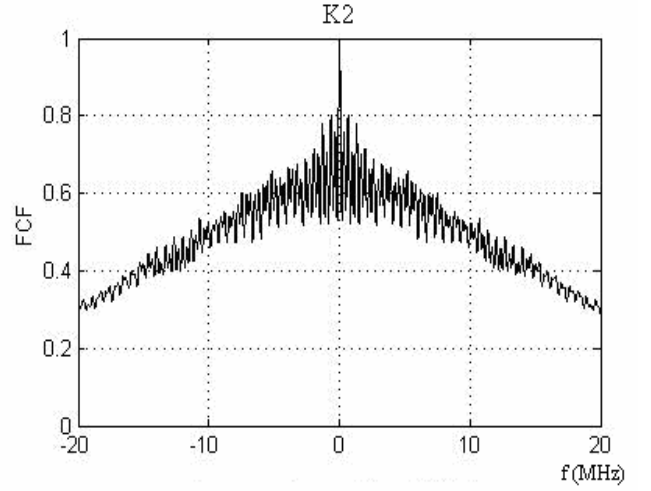
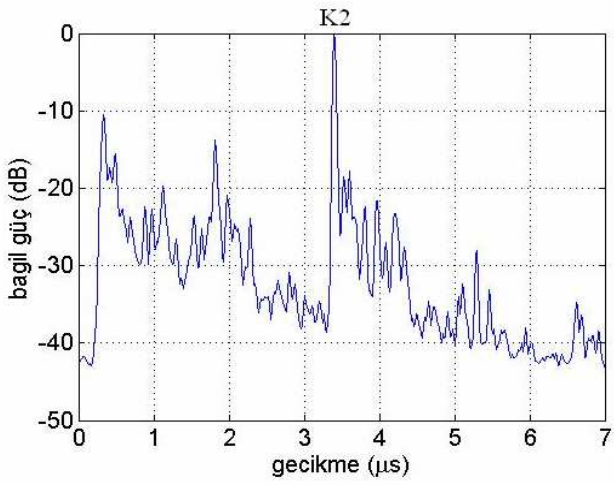
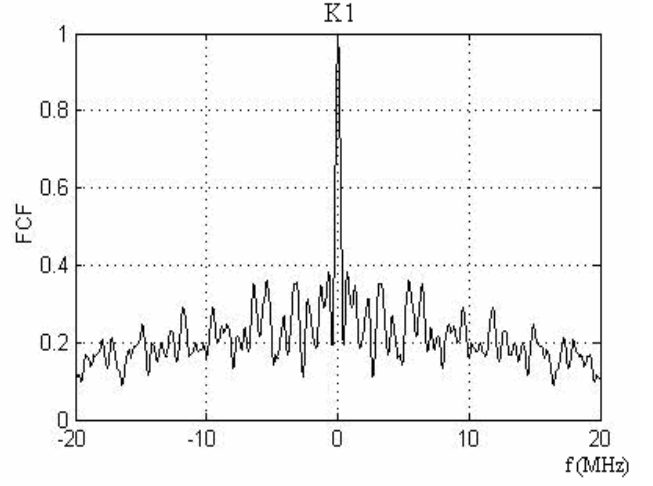
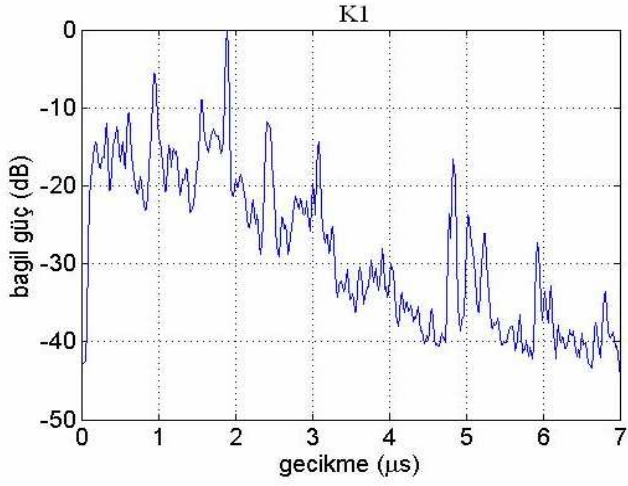
Kanal modeli frekans düzleminde gerçekleşti. Bunun için verici çıkışındaki sinyal frekans düzlemine aktarıldı ve kanalın geçiş işlevi ile nokta nokta çarpılarak alıcıya gelen sinyalin tayfı bulundu. Bu sinyal tekrardan zaman düzlemine aktararak toplamsal Gauss gürültüsü eklendi ve alıcı girişine beslendi. Değişen alt taşıyıcılar için yapılan benzetimlerde geçiş işlevi yeniden örneklenerek taşıyıcı sayısı ile aynı yapıldı.

Tablo 1. Benzetimlerde kullanılan kanalların gecikme dağılımının etkin değeri buna bağlı tampon zamanı ve tutarlı bant genişlikleri.

Kanal	$\tau_{etkin}$ ( $\mu$ s)	$B_{T,0.5}$ (MHz)	$B_{T,0.75}$ (MHz)	$B_{T,0.9}$ (MHz)	Tampon zamanı
K1	0.77	0.5	0.35	0.18	3,08 $\mu$ s
K2	1.14	11.7	0.23	0.12	4,56 $\mu$ s
K3	0.22	29	11	0.82	0,88 $\mu$ s



Şekil 3: Benzetimlerde kullanılan 40 MHz genişlikli üç farklı kanalın frekans geçiş işlevi



Şekil 4: Benzetimlerde kullanılan 40 MHz genişlikli üç farklı kanalın birim vuruş tepkisi

Şekil 5: Benzetimlerde kullanılan 40 MHz genişlikli üç farklı kanalın frekans ilinti fonksiyonu

### 3. ÇT-KBÇE Sistem Benzetimi

Verici, radyo kanalı ve alıcı ana bloklarından oluşan çok kullanıcı tek hücreli, bir ÇT-KBÇE sistem benzetimi yapıldı. GÇ değerleri 16; alt taşıyıcı sayıları 512, 1024 seçilerek vericiden 200 çerçeve gönderildi. Çerçeve süresi 1 ms'dir. Verici kısmında kullanıcı bildiri bitleri BPSK modülasyonuna uğrattırılıp 1/2'lik katlamalı kanal kodlamasından geçirilip L bitlik S/P dönüşüm yapılarak; M uzunluğundaki genişletme kodu ile çarpıldı. S/P dönüştürücü çıkışındaki her bir bite karşılık gelen çipler IFFT bloğunun girişine paralel olarak beslendi. Bu modülasyonlu sinyal radyo kanalına beslendi. Tampon süresince çevrimsel ön ek eklenip sinyale güç yoğunluğu  $N_0$  olan toplamsal beyaz Gauss gürültüsü katıldı.  $f_d=25$  Hz olduğu için her 4 ms'de kanal verisi yenilendi. Alıcıya gelen sinyale  $M \times L$  noktalı FFT uygulanarak her bir alt taşıyıcı ile gelen sinyal elde edildi. Çevrimsel ön ek kaldırıldıktan sonra MMSEC olarak toplanıp bit tahmincisine beslendi. P/S dönüşüm ve viterbi kod çözme işleminden sonra demodüle edilen bitler gönderilen veri bitleri ile karşılaştırılarak BER (Bit Hata Oranı, Bit Error Rate) hesaplandı. Benzetimlerde ideal kanal tahmini yapıldığı varsayılmıştır.

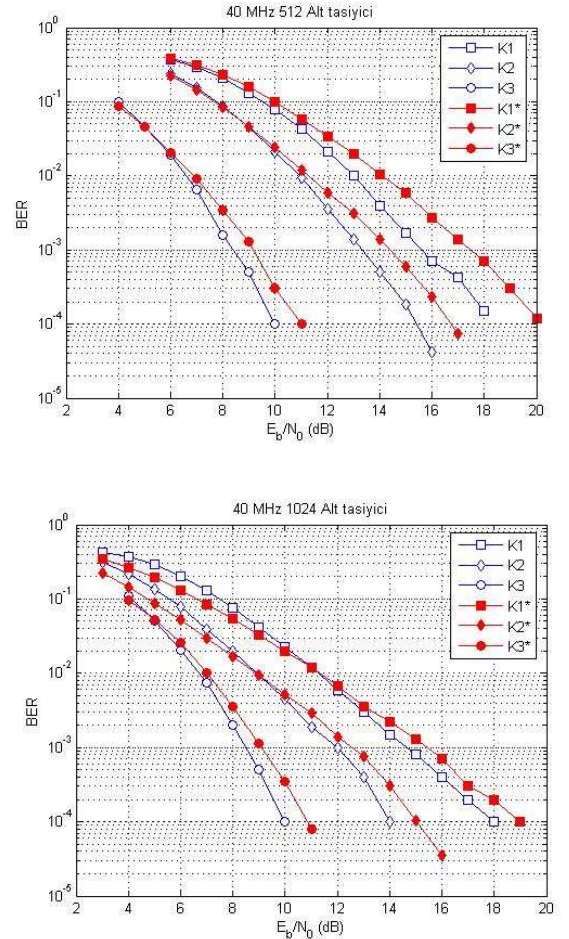
### 4. Benzetim Sonuçları

Genişletme çarpanı 16 seçilerek 40 MHz ve 20 MHz'lik kanallar için 512, 1024 alt taşıyıcılı tek kullanıcı ÇT-KBÇE sistem başarımı incelendi. Frekansta serpiştirme olup olmamasına bağlı olarak iki durum incelendi (frekansta serpiştirme olmaması  $K1^*$ ,  $K2^*$ ,  $K3^*$  şeklinde ifade edilmektedir). Şekil 6'da görüldüğü gibi 40 MHz bant genişlikli kanal 512, 1024 alt taşıyıcıya bölünerek sistem başarımları incelendiğinde en iyi başarımları sırasıyla  $K3$ ,  $K2$  ve  $K1$  kanal profilleri için elde edildi. Frekans düzleminde serpiştirme yapıldığında sistem başarımında iyileşme görüldü (Şekil 6). Serpiştirmenin etkisi farklı kanal profilleri için farklı olmaktadır. 512 alt taşıyıcı için  $K1$  için serpiştirme yapıldığındaki başarımdaki iyileşme  $K2$ ,  $K3$  kanal profillerine göre daha fazladır. Farklı alt taşıyıcılar için serpiştirmenin etkisi incelendiğinde alt taşıyıcı sayısının 512'den 1024'e çıkması durumunda serpiştirmenin etkisi azalmıştır ve elde edilen iyileşme kanaldan bağımsız hale gelmiştir. Artan alt taşıyıcı sayısı ile iyileşmenin azalmasının nedeni olarak alt taşıyıcı sayısının artması ile bir bitin çipleri frekansta birbirine daha yakın alt taşıyıcılar ile aktarılması gösterilebilir. Şekil 7'de 20 MHz'lik kanallar içinde benzer yorumlar söylenebilir. Şekil 6 ve Şekil 7 birlikte incelendiğinde aynı alt taşıyıcı sayısı için (örneğin 512) kanal bant genişliği azaldığında alt taşıyıcılar da frekans seçiciliğinin etkisi azaldığı için daha iyi başarımlar elde edildi. Başarımların iyi olmasına karşılık 40 MHz'lik kanal için veri hızı 2.5 Mbit/s iken 20 MHz de bu değer 1.25 Mbit/s'dir.

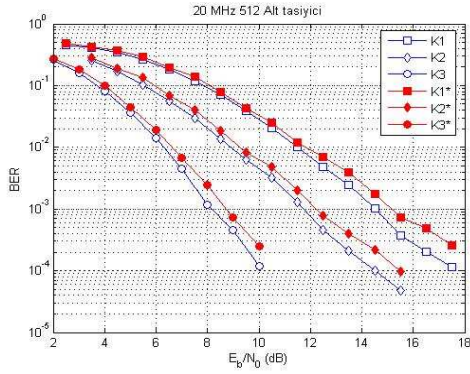
40 MHz'lik kanal 512 alt taşıyıcı, farklı kullanıcı sayıları ve farklı kanal profilleri için sistem başarımı Şekil 8'de verilmiştir (benzetimlerde frekansta serpiştirme vardır). Artan kullanıcı sayısına bağlı olarak frekans seçiciliğinin yüksek

olduğu kanallardaki sistem başarımı seçiciliğinin az olduğu kanallara oranla daha düşük olduğu görüldü.

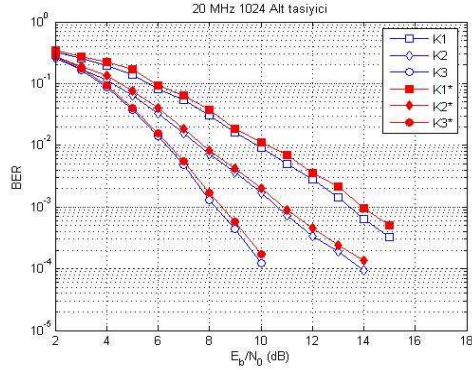
40 MHz için artan alt taşıyıcı sayısına bağlı olarak sistem başarımı incelendiğinde (tek kullanıcı sistem)  $K1$  için belirli bir  $E_b/N_0$  (18 dB) değerinden sonra benzer başarımlar elde edildi (Şekil 9). Düşük BER değerleri için PAPR sorunu dikkate alındığında bu tür frekans seçiciliğe sahip kanallar için 1024 yerine 512 alt taşıyıcı kullanılabilir.  $K2$  için artan alt taşıyıcı sayısına bağlı olarak BER de azalma olmuştur. Frekans seçiciliği az olan  $K3$  kanal profili için benzer sistem başarımları elde edilmiştir. Dolayısıyla PAPR sorunu göz önüne alındığında bu tür frekans seçiciliğe sahip kanallar için 512 alt taşıyıcı kullanılmalıdır. Benzer yorumlar 20 MHz'lik kanallar için de söylenebilir.  $K1$ ,  $K2$  kanal profilleri için düşük BER gerektiren uygulamalarda 512 alt taşıyıcı kullanılırken  $K1$  için tüm BER değerleri için 512 alt taşıyıcı kullanılabilir (Şekil 10). Özetlenirse frekansta seçiciliğinin az olduğu kanallarda alt taşıyıcı sayısı arttıkça başarımda bir iyileşme görülmedi. Frekansta seçiciliğinin yüksek olduğu kanallarda ise belli bir alt taşıyıcıdan sonra sistem başarımında kayda değer bir iyileşmeye sağlanamadı.



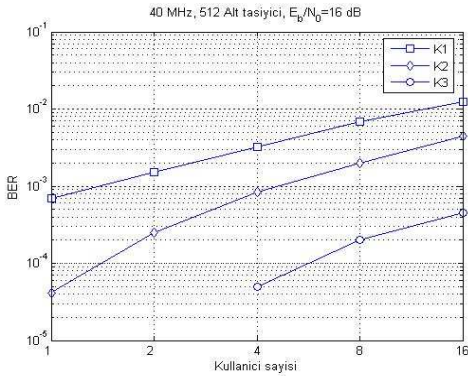
Şekil 6: Üç farklı kanal profili için 40 MHz genişlikli kanalda 512–1024 alt taşıyıcı için serpiştirmeli/serpiştirmesiz ÇT-KBÇE sistem başarımı



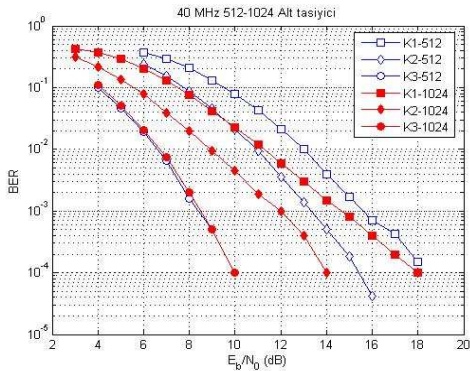
Şekil 7: Üç farklı kanal profili için 20 MHz genişlikli kanalda 512–1024 alt taşıyıcı için serpiştirmeli/serpiştirmesiz ÇT-KBÇE sistem başarımı



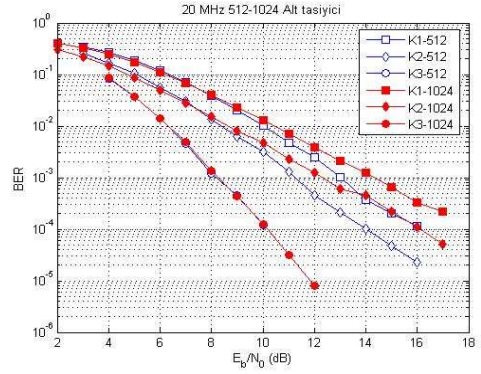
Şekil 8: Üç farklı kanal profili için 20 MHz genişlikli kanalda 512–1024 alt taşıyıcı için serpiştirmeli/serpiştirmesiz ÇT-KBÇE sistem başarımı



Şekil 9: Üç farklı kanal profili için kullanıcı sayısına bağlı ÇT-KBÇE sistem başarımı ( $E_b/N_0=16$  dB)



Şekil 10: Üç farklı kanal profili için 40 MHz genişlikli kanalda 512–1024 alt taşıyıcı için ÇT-KBÇE sistem başarımı



Şekil 10: Üç farklı kanal profili için 20 MHz genişlikli kanalda 512–1024 alt taşıyıcı için ÇT-KBÇE sistem başarımı

## 5. Kaynakça

- [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, Oct. 2003, pp.116–124
- [2] Prasad, R., Hara, S., "Overview of Multicarrier CDMA", IEEE Commun. Mag. Dec 1997, pp. 126–133
- [3] Yee, N., J., P., Linnartz, Fettweis, G., "Multi-carrier CDMA in indoor Wireless Radio Networks", in Proc. IEEE PIMRC'93, , 1993, pp.468–472
- [4] Kondo, S., Milstein, L.B., "Performance of Multicarrier DS-CDMA Systems", IEEE Transactions on Communications, vol.44, no.2, Feb. 1996, pp.238–246
- [5] Fazel, K., Kaiser, S., "Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems", John Wiley&Sons Ltd, England, 2003
- [6] Nee, R., V., Prasad, P., "OFDM for Wireless Multimedia Communications", Artech House, 2000
- [7] 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, Sept.1999, pp.1584-1595
- [8] El-Barbary, K., Alneyadi, H., M., "Compression of the behavior of MMSE detection scheme for DS-CDMA and MC-CDMA Wireless and Optical Communications Networks", WOCN-2005, Second IFIP International Conference, March 2005, pp.490-495
- [9] J., P., Linnartz, "Performance Analysis of Synchronous MC-CDMA in Mobile Rayleigh Channel with both Delay and Doppler Spreads", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol.50, no.6, November 2001, pp.1375-1387
- [10] Li, Z., Lavta-aho, M., "Performance Evaluation of Interleaved MC-CDMA Systems with Correlated Nakagami Fading Channels ", Vehicular Technology Conference, vol.1, 30 May-1 June 2005, pp.387-391
- [11] Salous, S., Gokalp, H., "Dual-frequency sounder for UMTS frequency-division duplex channels", Communications, IEE Proceedings, vol.149, Issue.2, Apr. 2002, pp.117–122
- [12] B. S. Lee, S.C. Park, "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, 7–10 Sept. 2003, pp:2230 – 2233