

# SİLİNTİ KODLARIYLA, DFBC-TABANLI ÇOĞA GÖNDERİM OFDM BASED MULTICAST USING ERASURE CODES

Tolga Girici ve Fatma İrem Sökmen

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara  
tgirici@etu.edu.tr

## Özetçe

*Bu çalışmada Dik Frekans Bölmeli Çoklama kullanan çoğa gönderim sistemlerinde bit ve güç tahsisi üzerinde durulmuştur. Bu sistemde baz istasyonu DFBC altkanallarının her birinden belli miktarlarda bit göndermekte ve silinti kodlaması sayesinde alıcılar bu kanalların belli miktarını çözebildiklerinde orijinal mesajı elde edebilmektedirler. Böyle bir sistemde çoğa gönderim veri hızının eniyilenmesi problemi üzerinde yakın zamanda çalışılmış, ancak eniyi çözümü henüz bulunmamıştır. Bu çalışmada bu problem bir Karma Tamsayı Doğrusal Programlama (Mixed Integer Linear Programming) şeklinde kurulmuş ve çözülmüştür. Literatürde daha önce önerilmiş eniyi-altı algoritmaların başarımları eniyi çözümle karşılaştırılmıştır<sup>1</sup>.*

## Abstract

*We consider bit and power allocation in a multicast system based on Orthogonal Frequency Division Multiplexing. In this system the base station determines the bit loading for each subchannel and using erasure codes the users are able to obtain the original message if they are able to decode a fraction of sent subchannels. Multicast rate maximization problem in such a system has been recently studied, however no optimal solution was found. In this study we formulate this problem as a Binary Integer Program and solve it using standard tools. Then, the performance of some previously proposed suboptimal algorithms are compared with the optimal solution.*

## 1. GİRİŞ

Yeni nesil genişbant kablosuz sistemlerde en önemli uygulamalardan biri yayın ve çoğa gönderim uygulamalarıdır. IP Radyo Yayını ve Mobil TV bu uygulamalardan bazılarıdır [1]. Bu tür sistemlerde genellikle birden fazla çoğa gönderim grubu vardır ve bir gruptaki her kullanıcının aynı veriyi alması gerekir. Yayın sistemlerinde her kullanıcı tarafından geri bildirim gerektirdiği için ARQ/HARQ teknikleri kullanılamaz. Bu durumda sıradan kipleme ve kodlama teknikleri kullanıldığında erişilebilir kapasite ortamdaki en kötü durumdaki kullanıcı tarafından belirlenir [2]. [2]'de birden fazla çoğa gönderim grubu olduğu durumda toplam veri hızının en iyilenmesi problemi ele alınmıştır. Bu çalışmada ayrıca bazı düşük karmaşıklıkli algoritmalar önerilmiştir. [3]'te ve [4]'te ise toplam veri hızının artırılması

için çoklu tanımlı kodlama<sup>2</sup> tekniklerinden faydalanılmıştır [5]. Çoklu tanımlı kodlama sayesinde kanal durumu daha iyi olan kullanıcılar yine aynı yayını, ama daha iyi kaliteyle almaktadırlar. Ancak, bu çalışmalar sonucu kullanıcılar arasındaki adaletsizlikte bir değişiklik görülmemektedir ve kötü durumdaki kullanıcılar halen iyilere göre çok daha az hizmet almaktadırlar. Kullanıcı sayısı arttıkça en kötü kullanıcının aldığı hizmet kayda değer bir biçimde düşmektedir.

[6]'da tek veya çoklu gruplu çoğa gönderimde, en kötü kullanıcının veri hızını oldukça arttıran bir yöntem bulunmuştur. Bu teknik Reed-Solomon gibi silinti kodlarına dayanmaktadır. Bu önerilen yöntemde temel olarak Reed-Solomon kodlamasının hata düzeltilme yeteneğinden ve DFBC tekniğindeki çoklu kanal çeşitlemesinden faydalanılmaktadır. Bu yöntem aşağıda daha detaylı anlatılacaktır. [7]'de ise [6] temel almış ve döngülü<sup>3</sup> bir kaynak tahsis algoritması önermiştik. Önerilen algoritmamızın başarımları [6]'nın başarımlarından çok farklı olmasa da daha hızlı çalışıyordu. Bu iki çalışmadaki temel eksiklik bahsedilen kaynak tahsis problemi için en iyi çözümün sunulmamış olmasıdır. Bu çalışmamızda ise bu kaynak tahsis problemi için karma tamsayı-doğrusal programlama kullanılarak bir eniyi çözüm yöntemi önerdik. Önerilen çözümün gerçekleşmesi oldukça uzun bir zaman alsa da, daha evvel önerilen algoritmaların başarımları için mihenk taşı olarak kullanılabilir. Öncelikle [6]'daki çalışmayı biraz daha detaylı anlatacağız.

## 2. DFBC TABANLI ÇOĞA GÖNDERİM SİSTEMLERİNDE KAYNAK TAHSİSİ

$K$  kullanıcılu tek bir çoğa gönderim alıcı grubu ve  $N$  alt kanallı bir DFBC iletimini ele alalım. Baz istasyonunun  $P_T$  toplam gücü vardır ve bu baz istasyonu çoklu yayın grubuna alt kanal ve bit tahsis eder. Bunun için  $w_{n,k}$  belirteçi tanımlanmıştır. Bu belirteçe göre eğer  $n$  alt kanalı  $k$  kullanıcıya verildiyse değeri 1 dir, aksi halde 0 dir. Bir altkanalın bir kullanıcıya verilmesi, o kullanıcının o kanaldaki veriyi çözebileceği kadar yüksek bir güç kullanılması anlamına gelir. Dolayısıyla bir alt kanal bir kullanıcıya tahsis edilmişse, kanal durumu daha iyi olan kullanıcılara da tahsis edilmiş demektir.

$c_n$  değerini,  $n$  alt kanalına tahsis edilen bit sayısını ifade eder. Bu tahsis edilen  $c_n$  değerinin,  $c_n \in C =$

<sup>2</sup>Multiple description coding

<sup>3</sup>iterative

$\{C_1, C_2, \dots, C_M\}$  ayrık kümesinden seçildiği varsayılır. Bu durumda bir alt kanala tahsis edilebilecek bit sayısı en fazla  $C_M$ 'dir.  $R_k, k$  kullanıcısına tahsis edilen (onun çözebildiği) bitlerin toplamıdır ( $R_k = \sum_{n=1}^N c_n w_{n,k}$ ). Çoklu yayın grubu veri hızı ise gruptaki kullanıcıların veri hızının en küçüğüdür. Bu durumda bu değere  $R$  denirse,  $R = \min_k \left\{ \sum_{n=1}^N c_n w_{n,k} \right\}$  olarak ifade edilir. Bu değer aynı zamanda Reed-Solomon türü bir silinti kodlaması kodlaması kullanıldığında elde edilebilir çoklu yayın grubu hızıdır. Bu durumda her kullanıcı  $R$  bit veri hızını elde edebilir.  $R_{sum}$  değerini tüm alt kanallara yüklenen bitlerin toplamı olarak ifade edersek ( $R_{sum} = \sum_{n=1}^N c_n$ ),  $R_{sum} = R$  durumunda tüm alt kanallar tüm kullanıcılara tahsis edilmiş demektir.  $R_{sum} > R$  olduğunda ise Reed-Solomon kodlaması kullanıldığı varsayılmıştır [6]. Bu durumda  $R$  bitlik veri  $R_{sum}$  bitlik veriye kodlanmış, bu kodlanmış bitler ise ayrıştırılıp farklı alt kanallara yüklenmiştir. Herhangi bir  $R$  bitlik veriyi elde edebilen bir kullanıcı bu kodlama yöntemi sayesinde asıl çoklu yayın grubu verisine ulaşabilir.

Bir kullanıcının  $c_n$  kadar biti  $BER$  bit hata oranıyla, birim kanal kazancıyla alabilmesi için gereken güç  $f(c_n, BER)$  ile tanımlanır. Bu durumda  $n$  alt kanalı hangi kullanıcılara tahsis edilmişse (yani hangi kullanıcıların bu kanalı çözmeleri isteniyorsa) bu kullanıcılar arasından  $c_n$ 'i çözmek için gerekli olan en büyük güç  $P_n$  olarak hesaplanır ve şu şekilde ifade edilir,

$$P_n(c_n) = \max_k \left\{ \frac{f(c_n, BER) w_{n,k}}{h_{n,k}^2} \right\} \quad (1)$$

Kısaca  $c_n$  kadar biti tahsis etmek en kötü kullanıcıya bağlıdır. Problem formülasyonu ise aşağıdaki gibidir.

$$\max_{c_n, w_{n,k}} R \quad (2)$$

Öyle ki,

$$\sum_{n=1}^N P_n(c_n) \leq P_T \quad (3)$$

$$c_n \in C = \{1, 2, \dots, M\} \forall n \quad (4)$$

Problemde her kullanıcının en az  $R$  bit veri elde etmesi gereklidir. Burada amaç  $R$ 'yi en fazlalaştırarak  $c_n$  ve  $w_{n,k}$  değerlerini bulmaktır.

### 3. KARMA TAMSAYI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

(2),(3),(4) denklemleri ile ifade edilen tahsis problemini Karma Tamsayı Doğrusal Programlama olarak modellemek ve çözmek mümkündür. Tahsis yapılırken aşağıdaki kararlar verilmelidir.

1) Her altkanalda hangi bit seviyeleri kullanılacaktır?

2) Kanal için belirlenen  $c_n$  bit seviyesinden (kullanıcı kanal kazançları iyiden kötüye sıralandığında) ilk kaç kullanıcı istifade edecektir?

Problemdeki bu karar değişkenlerini tamsayı olarak tanımlamak mümkündür. İlk olarak NMK uzunluklu bir  $\mathbf{P}$

vektörü tanımlayalım

$$P_{(n-1)MK+(m-1)K+k} = \begin{cases} \max_i \frac{f(C_m, BER)}{h_{n,i}} & h_{n,i} \geq g_n^{(k)} \\ 0 & else \end{cases} \quad (5)$$

Burada,  $n$  altkanalına  $C_m$  bit yüklendiğinde ve bunu en iyi  $k$  kullanıcının çözmesi istendiğinde gereken güç miktarı vektörün  $P_{(n-1)MK+(m-1)K+k}$  hanesine yazılır.

Bir  $n$  altkanalı için sadece bir adet  $C_m$  bit sayısı ve  $k$  en iyi kullanıcı sayısı seçilebilir. Aşağıdaki matris bu kısıtı ifade etmek için kullanılacaktır.  $N \times NMK$  boyutlu bir  $\mathbf{A}$  matrisi tanımlayalım.

$$U_{n,(n-1)MK+1} = U_{n,(n-1)MK+2} = \dots = U_{n,nMK} = 1, \forall n = 1, \dots, N \quad (6)$$

Bu matrisle probleme  $N$  adet kısıt eklenmiştir.

Bütün kullanıcılara tahsis edilen veri hızının bir  $R_0$  değerinden büyük olması kısıtı için, şimdi de  $K \times NMK$  boyutlu bir  $\mathbf{R}$  matrisi tanımlayalım.

$$R_{i,(n-1)MK+(m-1)K+k} = \begin{cases} C_m & g_{n,i} \geq g_n^{(k)} \\ 0 & else \end{cases}, i = 1, \dots, K \quad (7)$$

$n$  altkanalına,  $C_m$  bit yüklenirse en iyi  $k$  adet kullanıcı arasına giren  $i$  kullanıcıları için  $R_{i,(n-1)MK+(m-1)K+k} = C_m$  olur aksi halde 0 olur.

Tahsis vektörü  $\mathbf{x}$ 'i  $NMK \times 1$ lik bir vektör olarak tanımlayalım. Burada  $x_{(n-1)MK+(m-1)K+k} = 1$  eşitliği, altkanal  $n$ 'nin  $C_m$  bit ile yüklenmesi ve en iyi  $k$  adet kullanıcının bu altkanalı çözmesi anlamına gelsin.

$\mathbf{1}_{N \times 1}$  ve  $\mathbf{1}_{K \times 1}$  vektörleri sadece 1'lerden oluşan  $N$  ve  $K$  uzunluklu sütun vektörleri olsun. Problem şöyle tanımlanır

$$\max_{x, R_0} R_0 \quad (8)$$

öyle ki

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A} \\ -\mathbf{R} \\ \mathbf{P}^T \end{bmatrix} \mathbf{x} \leq \begin{bmatrix} \mathbf{1}_{N \times 1} \\ -R_0 \mathbf{1}_{K \times 1} \\ P_T \end{bmatrix} \quad (9)$$

Yukarıdaki kısıt eşitsizliğinin son kısmı  $\mathbf{P}^T \mathbf{x} \leq P_T$  toplam güç kısıtıdır. Bu problem bir tür Karma Tamsayı-Doğrusal Programlama<sup>4</sup> problemidir. Buradaki tamsayı olmayan tek değişken  $R_0$  değişkenidir. Bu problemleri çözmek için Internet'te halka açık olarak bulunan bir MATLAB kodunu kullandık.

Alternatif olarak problem bir İkili Tamsayı Programlama Problemi olarak tanımlanabilir. Bu durumda bir hedef veri hızı seçilir ve bunu minimum güçle sağlayan kanal tahsisi bulunur. Gereken toplam güç  $P_T$ 'den fazlaysa o durumda hedef veri hızı azaltılır. Problem aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\min_x \mathbf{P}^T \mathbf{x} \quad (10)$$

öyle ki

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A} \\ -\mathbf{R} \end{bmatrix} \mathbf{x} \leq \begin{bmatrix} \mathbf{1}_{N \times 1} \\ -R_0 \mathbf{1}_{K \times 1} \end{bmatrix} \quad (11)$$

<sup>4</sup>Mixed Integer-Linear Programming

Bu problem ise MATLAB bintprog gibi standart programlarla çözülebilir. Karma Tamsayı-Doğrusal Programlama daha pratik ve hızlı olduğu için o çözüm tercih edilmiştir.

#### 4. ÇÖZÜMÜN ÇOK GRUPLU SİSTEMLERE GENİŞLETİLMESİ

Gerçek bir senaryoda birden fazla çoğa gönderim grubu olabilir. Bir kullanıcı bir veya daha fazla grupta yer alabilir. Bu durumda her grup için ayrı kanallar tahsis edilmelidir. Problem formülasyonunda yapılacak ufak değişikliklerle yukarıdaki formülasyon bu probleme de uygulanabilir.  $G$  grup sayısı olsun. Bu durumda problemin  $NMKG$  adet değişkeni olur. Kısıt denklemindeki matris  $N + K + 1$  yerine  $N + GK + 1$  satırlı olur. Dolayısıyla problem karmaşıklaşır.

#### 5. AÇ GÖZLÜ ALGORİTMA

[6]'da DFBC'daki çoklu kanal çeşitlemesinden ve Reed-Solomon kodlarının hata düzeltme yeteneğinden yararlanarak çoğa gönderim sistemi veri hızı iyileştirmesi üzerinde durulmuştur. [6]'da basit çözümler sağlayan algoritmalar amaçlanmıştır. Bunun için iki aşamalı çözüm önerilmiştir. Öncelikli olarak her alt kanala eşit güç tahsis edildiği varsayılarak alt kanal tahsisi gerçekleştirilir ve bu tahsisin bir sonucu olarak artan güçle ikinci aşama bit tahsisine devam edilerek kaynak tahsisi sonuçlandırılır.

*Alt kanal tahsisi:* Her alt kanala  $P_t/N$  eşit güçle iletim yapıldığını varsayalım.  $g(BER, P)$  değeri  $BER$  bit hata oranı ve  $P$  iletim gücü ile elde edilen bit sayısını temsil etsin. Burada  $g(BER, P)$  değerini elimizdeki sınırla sayıda modülasyon ve kodlama tipi kümesinden biri olmaktadır.  $\frac{P_T h_{n,k}^2}{N}$  alınan güç olduğunda,  $BER$  ile  $k$  kullanıcısının  $n$  alt kanalında elde ettiği bit sayısı

$$b_{n,k} = \min \left( g(BER, \frac{P_T h_{n,k}^2}{N}), C_M \right) \quad (12)$$

$U_n$ ,  $n$  alt kanalının tahsis edildiği kullanıcılar kümesi,  $S_k$  ise  $k$  kullanıcıya tahsis edilen alt kanallar kümesi olsun. Bu durumda  $n$  alt kanalına tahsis edilen bit sayısı,

$$c_n = \min_{k \in U_n} b_{n,k} \quad (13)$$

olmaktadır. Bu durumda problem aşağıdaki gibi tanımlanır

$$\max_k \min \left\{ \sum_{n=1}^N \min_{k \in U_n} b_{n,k} w_{n,k} \right\} \quad (14)$$

[6] çalışmasında az karmaşıklığa sahip döngüsel bir algoritma tanımlanmıştır. Her döngüde bir  $R_k$  en düşük veri hızlı kullanıcı belirlenir ve alt kanal tahsisi yapılır. Bu algoritmanın işleyişi aşağıdaki gibi tanımlanır, (SAAU-EP)

1. Tüm  $n$  alt kanalları ve  $k$  kullanıcıları için  $w_{n,k} = 0$ ,  $U_n = \emptyset$  ve  $S_k = \emptyset$  olarak ayarla.  $R_K = 0$  olarak ayarla.
2. Tüm  $k$  kullanıcıları için  $S = \{k | k = \arg \min R_k\}$ 'yi sağlayan  $S$  kullanıcı kümesini bul.
3.  $|S| > 1$  ise satır 4'e geç, değilse satır 5'e atla.

4.  $S$  kümesindeki tüm  $k$  kullanıcılar ve tahsis edilmemiş tüm  $n$  alt kanallar için  $[n^*, k^*] = \arg \max b_{n,k}$  eşitliğini sağlayan  $n^*$  ve  $k^*$  bul ve  $w_{n^*,k^*} = 1$  yap. Satır 6'ya geç.
5.  $S$  kümesindeki  $k^*$  kullanıcısı için, her bir tahsis edilmemiş  $n$  alt kanalı için,  $w_{n,k^*} = 1$  varsayarak  $R_{gecici}^n = \min \sum_{n=1}^N \min(b_{n,k} w_{n,k})$  değerini bul. Bu  $R_{gecici}^n$  değerini en fazla yapan  $n^*$  alt kanalı  $k^*$ 'ye tahsis et ( $w_{n^*,k^*} = 1$ ).
6.  $n^*$ 'ye tahsis edilmiş alt kullanıcıları arasından  $b_{n^*,k^{**}} > b_{n^*,k^*}$  değerini sağlayan  $k^{**}$ 'leri bul ve  $w_{n^*,k^{**}} = 1$  olarak eşitle.
7.  $U_{n^*} = U_{n^*} \cup \{k^*, k^{**}\}$ ,  $S_{k^*} = S_{k^*} \cup \{n^*\}$  ve  $S_{k^{**}} = S_{k^{**}} \cup \{n^*\}$  olarak güncelle.
8. Her kullanıcı için  $R_k = \sum_{n=1}^N \min_{k \in U_n} (b_{n,k}) w_{n,k}$  şeklinde güncelleme yap.
9. Tüm alt kanallar tüm kullanıcılara tahsis edilmişse döngüden çık. Edilmemişse Satır 2'den devam et.

Bu algoritmada önce en düşük veri hızına sahip kullanıcı seçilir, sonra elde olan serbest alt kanallardan bu kullanıcının veri hızını en fazla artıracak olanı seçilir ve tahsis edilir. Sonra bu kanaldaki bitleri çözebilecek olan (kanalı daha iyi olan) diğer kullanıcılara da bu kanal tahsis edilir. Bütün kanallar tahsis edilene kadar bu devam eder.

*Güç Tahsisi:* Alt kanal kaynak tahsisinde her alt kanal için  $P_T/N$  kadar eşit miktarda güç tahsis ediliyordu. Her alt kanala bitler ise bir ayrı kümeden tahsis ediliyordu, bu sebeple bir miktar güç gereksiz olarak tahsis ediliyordu. Tüm bu artık güçler hesaplanır ve bir  $P_R$  değeri olarak bulunur. Her aşamada en düşük veri hızlı kullanıcı belirlenip bu artık güçle o kullanıcı bir üst bit seviyesine çıkarılır. Her aşamada  $P_R$  değeri azalır.  $P_R$  değeri en düşük veri hızlı herhangi bir kullanıcıyı bir üst bit seviyesine yükseltmek için yetersiz olana kadar algoritma devam eder. Bu yöntem **RPA** algoritması olarak tanımlanmıştır[6]. Bu algoritmanın detayları [6] bildirisinde bulunabilir.

#### 6. BENZETİM SONUÇLARI

Tanımlanan algoritmaların başarımlarını karşılaştırmak için benzetim çalışması yapılmıştır. Tek bir çoğa gönderim grubuna ait kullanıcılar 1m yarıçaplı daire içine rasgele dağıtılmışlardır. Gürültü gücü 1 W'dır. Yol kaybı katsayısı 4 olan frekans seçici bir kanal varsayılmıştır, Bu sistemde kullanılan modülasyon yöntemi M-dizili QAM dir. İstenen bit sayısına karşılık gelen alıcısındaki güç  $f(c_n, BER) = \frac{N_0}{3} [Q^{-1}(BER/4)]^2 (2^{c_n} - 1)$  formülüne göre bulunur<sup>5</sup> [6]. MATLAB tamsayı programlama kodu uzun sürede çalıştığı için alt kanal sayısı az tutulmuştur. Toplam baz istasyonu gücü  $P^T$  1000 Watt ve  $BER$  değeri  $10^{-6}$  alınmıştır. Altkanallardaki bit sayıları  $C = \{0.53 0.79 1.58 3.17 4.75 6.34 9.50 12.67 14.26 15.84\}$  kümesinden seçilir. Bu bit sayıları WiMax (802.16) dokümanlarından alınmıştır.

Karşılaştırma amaçlı olarak başka algoritmalar da ele alınmıştır.

<sup>5</sup> $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt$

**LSGA:** Tüm alt kanallar tüm kullanıcılara verildiği kabul edilir. Bu durumda her alt kanalda yüklenen biti en düşük kanal kazancına sahip kullanıcı belirler. Bu durumda çoklu yayın veri hızı

$$R = \sum_{n=1}^N \min b_{n,k}, \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (15)$$

olarak tanımlanır.

**EqualC:** Bu algoritmada (basitlik amacıyla) bütün altkanallara eşit bit yüklenmektedir.  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_M\}$  kümesinin elemanları teker teker ele alınarak hangisi için çoğa gönderim veri hızının en fazla olduğu bulunur. Burada  $C_1$  seçilirse bütün kanalları hemen hemen bütün kullanıcılar çözebilir ancak toplamda veri hızı az olur.  $C_M$  seçilirse ise kanalların veri hızı fazla olur ama bazı kullanıcılar hiçbir kanalı çözemez ve çoğa gönderim veri hızı sıfıra yakın olur.

Tablo 1'de SAAU-EP+RPA, LSGA, EqualC algoritmalarının başarımları eniyi çözümle karşılaştırılmıştır. Eniyi çözüm zaman aldığı için ancak 20,25 kullanıcı ve 20 kanallı bir sistem ele alınabilmektedir. Her satır farklı bir rasgele değişken üretimi ve dolayısıyla farklı kanal durumlarına karşılık gelir. Sonuçlara baktığımızda SAAU-EP+RPA algoritmasının en iyi çözüme göre yüzde 25'e varan kayıpları olduğunu görmekteyiz. Bu denemelerde SAAU-EP+RPA algoritmasının kaybı minimum yüzde 10'dur. EqualC algoritması çok daha basit olmasına rağmen SAAU-EP+RPA'ya başarımlar açısından yakındır. LSGA ise neredeyse yarı yarıya başarımlarına neden olmaktadır. Bu algoritmanın başarımlarının kullanıcı sayısı arttıkça çok daha fazla düştüğü bilinmektedir[6].

Tablo 1: K=20,25 kullanıcı bir grup ve N=20 kanallı bir sistem için başarımların karşılaştırılması

Deneme	LSGA	EqualC	SAAU-EP+RPA [6]	OPT
K=20	15.01	22.13	22.15	28.49
K=20	17.39	23.47	29.27	31.67
K=20	16.59	25.30	26.89	33.25
K=20	14.22	22.14	22.16	29.82
K=20	28.47	34.85	33.24	44.34
K=20	18.18	28.47	27.70	34.84
K=25	12.64	23.71	24.49	26.90
K=25	14.22	22.14	23.74	30.88
K=25	17.39	20.57	25.31	30.86
K=25	13.43	22.13	25.29	31.66
K=25	12.64	20.55	19.78	26.10

## 7. SONUÇLAR

Bu çalışmamızda Reed-Solomon gibi silinti kodları kullanarak çoğa gönderim yapılan DFBC-tabanlı sistemlerde kaynak tahsisi problemi için eniyi çözümü bulduk. En iyi çözüm gerçekte uygulanamayacak kadar uzun çalışma süresine sahip olsa da daha basit algoritmalar için mihenktaşı vazifesi görmektedir. Önerdiğimiz çözüm yöntemi birden fazla çoğa gönderim grubu içeren sistemler için de genişletilebilir. Benzetim sonuçları literatürde önerilen algoritmanın klasik çoğa gönderime göre oldukça avantaj sağlamasına rağmen eniyi çözümle arasında halen kaydedeğer bir mesafe olduğunu göstermektedir.

Gelecek çalışmalarda röleli ve işbirlikli bir çoğa gönderim sisteminde benzer şekilde eniyileme yapılacak ve daha basit ama iyi başarımlı algoritmalar önerilecektir. Hücreli röleli haberleşmede genellikle bir iletim çerçevesi zaman alanında iki parçaya ayrılmakta ve ilk aşamada baz istasyonu ikinci aşamada ise röle iletim yapmaktadır. Alıcılar ise her altkanalda iki koldan gelen sinyalleri birleştirmektedirler. Burada her altkanalda bit sayısı belirlenmeli ve ayrıca hem baz istasyonu hem de rölenin altkanal bazında kullanacakları güçler de belirlenmelidir. Dolayısıyla problemin daha karmaşık olması beklenmektedir.

## 8. TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan Karma Tamsayı-Doğrusal Programlama kodu Sharif Tawfik tarafından yazılmış halka açık bir koddur, ve <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/6990> adresinde bulunmaktadır. Kendisine teşekkür ederiz.

## 9. Kaynakça

- [1] Tao Jiang; Weidong Xiang; Hsiao-Hwa Chen; Qiang Ni; , "Multicast Broadcast Services Support in OFDMA-Based WiMAX Systems [Advances in Mobile Multimedia]," IEEE Comm. Mag. , vol.45, no.8, pp.78-86, August 2007
- [2] Juan Liu; Wei Chen; Zhigang Cao; Letaief, K.B.; , "Dynamic Power and Sub-Carrier Allocation for OFDMA-Based Wireless Multicast Systems," Communications, 2008. ICC '08. IEEE International Conference on , vol., no., pp.2607-2611, 19-23 May 2008
- [3] Changho Suh; Jeonghoon Mo; , "Resource allocation for multicast services in multicarrier wireless communications," Wireless Communications, IEEE Transactions on , vol.7, no.1, pp.27-31, Jan. 2008
- [4] Yao Ma; Letaief, K.; Zhengdao Wang; Murch, R.; Zhiqiang Wu; , "Multiple Description Coding-Based Optimal Resource Allocation for OFDMA Multicast Service," GLOBECOM 2010, 2010 IEEE Global Telecommunications Conference , vol., no., pp.1-5, 6-10 Dec. 2010
- [5] JK Wolf, AD Wyner, and J. Ziv, "Source coding for multiple descriptions", Bell Syst. Tech. J., vol. 59, no. 8, pp. 1417-1426, Oct. 1980
- [6] Bakanog?lu, K.; Wu Mingquan; Liu Hang; Saurabh, M.; , "Adaptive Resource Allocation in Multicast OFDMA Systems," Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2010 IEEE , vol., no., pp.1-6, 18-21 April 2010
- [7] F.I. Sokmen, T. Girici, "Resource Allocation in OFDMA-Based Multicast Systems", Accepted to, International Symposium on Wireless Communication Systems, ISWCS 2011,
- [8] Jin Jin; Baochun Li; , "Cooperative multicast scheduling with random network coding in WiMAX," Quality of Service, 2009. IWQoS. 17th Int. Workshop on , vol., no., pp.1-9, Jul. 2009
- [9] J. Campello, "Discrete Bit Loading for Multicarrier Modulation Systems", Ph. D dissertations, Stanford, 1997.