

## II. TÜRDEN KARMA ARQ SİSTEMLERİNİN SİMETRİK VE SİMETRİK OLMAYAN İKİLİ KANALLAR İÇİN BAŞARIM ANALİZİ

Necmi TAŞPINAR, Kerim GÜNEY, Şaban ERGÜN  
Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, KAYSERİ

### ÖZET

Veri haberleşme sistemlerinde ilgilenilen başlıca konulardan birisi, kanal gürültüsünün neden olduğu iletim hatalarının denetlenmesi ve düzeltilmesi; böylece hatasız bir çalışmanın sağlanmasıdır. Bu sebeple son yıllarda karma otomatik tekrar isteği (karma ARQ) sistemleri üzerinde yoğun çalışmalar yapılmış olup, bu çalışmalar günümüzde de devam etmektedir.

Bu çalışmada farklı kod kelimesi uzunlukları, farklı kanal gecikmeleri, farklı data gönderme hızı ve farklı kod oranları için hata sezen kod olarak lineer blok veya konvolüsyon kodunu, hata düzelten kod olarak 1/2 oranlı konvolüsyon kodunu ve hata düzeltme işlemi için Viterbi kod çözme algoritmasını kullanan II. türden karma ARQ sistemlerinin başarımları analizi ikili simetrik kanal (BSC) ve simetrik olmayan ikili kanal için bilgisayar simülasyonu ile yapılmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

### THROUGHPUT ANALYSIS OF TYPE-II HYBRID ARQ SYSTEMS FOR BINARY SYMMETRIC AND NONSYMMETRIC CHANNELS

#### SUMMARY

A major concern in data communication system is how to control transmission errors caused by the channel noise so that error-free data can be delivered to the user. For this reason, it was done hard studies on hybrid ARQ systems in recent years and these studies also continue nowadays.

In this study, the throughput performance of type-II hybrid ARQ schemes using the linear block code or convolutional code for error detection and a 1/2 rate convolutional code and Viterbi decoding algorithm for error correction was investigated for different roundtrip delays, codeword lengths, data rates and code rates. All these schemes were simulated under the assumption of a binary symmetric channel and a binary nonsymmetric channel.

## 1. GİRİŞ

Veri haberleşmesinde karşılaşılan önemli bir sorun, kanal gürültüsünün neden olduğu iletim hatalarının nasıl denetleneceği ve hatasız çalışmanın nasıl sağlanacağıdır. Bu soruna bir çözüm, kodlamanın uygulanması, yani hata sezen ve hata düzelten kodların [1-3] kullanımınıdır. Temelde, veri haberleşme sistemlerinde iletim hatalarını denetlemek ve düzeltmek için kullanılan teknikler iki sınıfta toplanabilir [4]:

- 1) Otomatik tekrar isteği (ARQ) sistemleri,
- 2) İleri hata düzeltme (FEC) sistemleri.

Herhangi bir ARQ hata kontrol sisteminde, bir mesaj bloğu önce hata sezen bir koda göre oluşturulan parite-kontrol bitleriyle kodlanarak kanala verilir. İletilen kod kelimesi kanal gürültüsü tarafından bozulabilir ve böylece alınan kod kelimesi iletim hataları içerebilir. Bu yüzden alıcıda, kod kelimesinin paritesine bakılarak mesajın doğru olup olmadığına karar verilir. Eğer parite denetimi başarılı ise, alınan kod kelimesinin hatasız olduğu kabul edilir ve kullanıcıya verilir. Eğer parite denetimi başarısızsa hataların varlığı belirlenmiş olur. Bu durumda verici, aynı kod kelimesini tekrar göndermesi için bir geribesleme kanalı üzerinden alıcıyı uyarır [1,4].

Bir FEC hata kontrol sisteminde ise, bir mesaj bloğu hata düzeltici bir kodla kodlanarak alıcıya iletilir. Alıcı kod kelimesinde hata belirlerse, hataların yerlerini belirleyerek düzeltmeye çalışır. Eğer alıcı hataların varlığını veya hataların gerçek yerlerini belirleye-

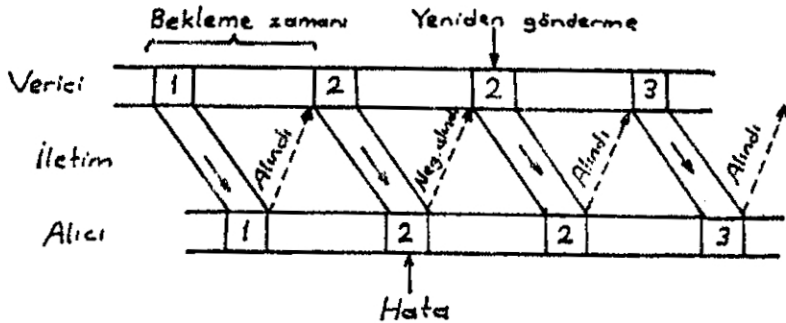
mezse, bu tür sistemlerde "yeniden gönderme" sözkonusu olmadığından dolayı alınan veri bloğu yanlış olarak çözülecek ve kullanıcıya hatalı veri verilecektir [4,5].

ARQ ve FEC tekniklerinin uygun bir şekilde birleştirilmesiyle ortaya çıkan "karma ARQ" sistemleriyle her iki yöntemin dezavantajları yok edilir. Böyle bir karma ARQ sisteminde FEC altsistemi kod kelimesindeki hataları düzelterek yeniden gönderme sayısını azaltırken, yeniden gönderme işlemleri yanlış veri kelimelerinin kullanıcıya iletilmesini önler. Böylece karma ARQ sistemleriyle yüksek sistem başarıımı ve yüksek sistem güvenilirliği sağlanmış olur.

## 2. TEMEL ARQ SİSTEMLERİ VE BAŞARIM ANALİZİ

Temel ARQ sistemleri kullanılan yeniden gönderme yöntemlerine göre üç sınıfa ayrılırlar:

- 1) Dur ve bekle (SW) ARQ sistemi,
- 2) N kelime geri git (GEN) ARQ sistemi,
- 3) Seçici tekrar (SR) ARQ sistemi.



Şekil - 1 : SW (dur ve bekle) ARQ sistemi.

SW ARQ sistemi en basit ARQ sistemi olup, aynı zamanda ilk geliştirilen hata kontrol sistemidir. Şekil-1'de görülen SW ARQ hata kontrol sisteminde, verici alıcıya bir kod kelimesi gönderir ve gönderdiği her bir kod kelimesinin ardından mesajın doğru ya da yanlış alındığına ilişkin alıcının göndereceği alındıyı bekler ve bu bekleme süresince yeni kod kelimesi göndermez. Alıcıdan gelen alındı olumlu (ACK) ise verici, iletim sırasında bulunan yeni bir kod kelimesini gönderir. Eğer alıcıdan gelen alındı olumsuz (NAK) ise, kod kelimesi yeniden gönderilir ve verici gönderilen kod kelimesine ilişkin alındı alınuncaya kadar bekler.

SW ARQ sistemi için, vericinin mesaj dizisini göndermesi ile bu diziyeye ilişkin alındıyı alması arasında geçen süre  $\lambda$ , vericinin veri hızı ise  $\gamma$  olsun. Verici bekleme süresi boyunca  $n + \lambda\gamma$  bit iletebileceğinden, bir kod kelimesinin doğru olarak alınabilmesi için vericinin göndermesi gereken ortalama bit sayısı:

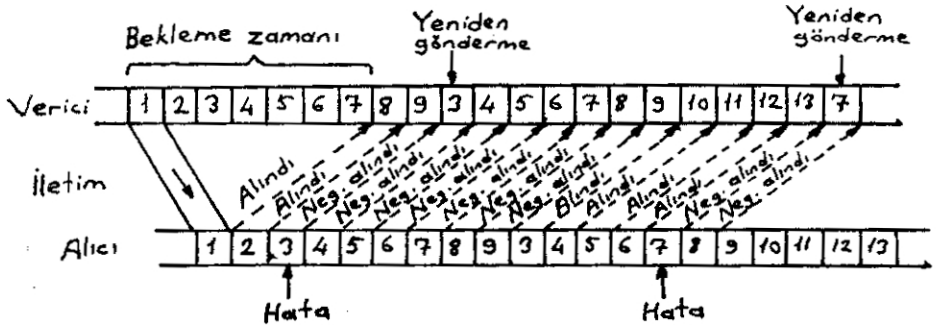
$$E[V]_{SW} = (n + \lambda\gamma)P_C + 2(n + \lambda\gamma)P_C(1-P_C) + 3(n + \lambda\gamma)P_C(1-P_C)^2 + \dots + i(n + \lambda\gamma)P_C(1-P_C)^{i-1} + \dots = \frac{n + \lambda\gamma}{P_C} \quad (1)$$

şeklinindedir. Burada  $P_C$ , n-bitlik bir mesaj bloğunun hatasız alınma olasılığı olup, değeri  $(1 - \epsilon)^n$ 'dir.  $\epsilon$  ise kanal bit hata olasılığıdır. Bir ARQ sisteminin başarımı, birim zamanda doğru alınan bit sayısının birim zamanda iletilen bit sayısına oranı olarak tanımlanır. Bu durumda SW ARQ sisteminin başarımı:

$$\eta_{SW} = \frac{k}{E[V]_{SW}} = \frac{P_C \cdot k}{n + \lambda\gamma} = \frac{P_C(k/n)}{1 + (\lambda\gamma/n)} \quad (2)$$

şeklinde olup,  $(k/n)$  sistemde kullanılan kodun oranıdır. Bu bağıntıdan yüksek veri hızına ve uzun bekleme süresine sahip veri haberleşme sistemleri için SW modunda çalışmanın sistem başarımını oldukça düşürdüğü görülmektedir.

Şekil-2'de görülen GEN ARQ sisteminde verici, gönderdiği veri bloğunun alındısı gelinceye kadar geçen zaman içinde, sırasıyla N-1 tane farklı veri bloğunu alıcıya gönderir. İlk gönderilen blok için olumsuz alındı geldiği zaman, verici yeni blok için gönderme işlemini durdurarak, N blok öncesine döner ve yanlış alınmış blok ile beraber N-1 bloğu da doğru alınıp alınmadıklarına bakmaksızın sırasıyla tekrar gönderir. Yeniden gönderme işlemleri blok doğru olarak alınıncaya kadar devam eder.



Şekil - 2 : N=7 için GEN (N kelime geri git) ARQ sistemi.

GEN ARQ sisteminde bir kod dizisinin doğru olarak alınması için gereken ortalama iletim sayısı:

$$E[V]_{GEN} = 1 \cdot P_C + (N+1)P_C(1-P_C) + (2N+1)P_C(1-P_C)^2 + \dots + (iN+1)P_C(1-P_C)^i + \dots$$

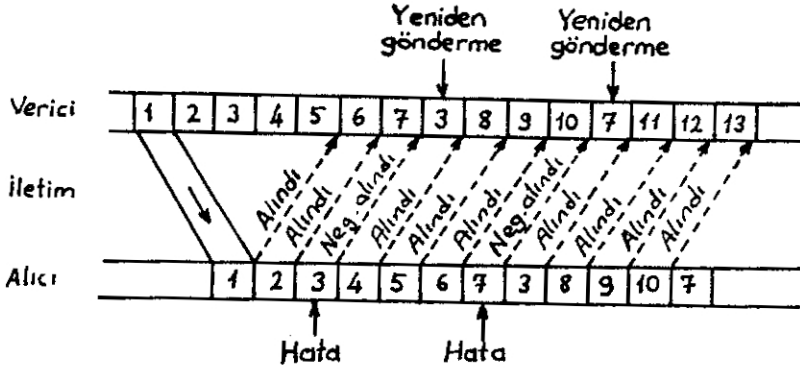
$$= \frac{P_C + N(1-P_C)}{P_C} \quad (3)$$

ve sistem başarımı da;

$$\eta_{GEN} = \frac{1}{E[V]_{GEN}} (k/n) = \frac{P_C(k/n)}{P_C + N(1-P_C)} \quad (4)$$

olarak elde edilir.

Şekil-3'de görülen SR ARQ sisteminde verici, gönderdiği veri bloğuna ilişkin olumsuz bir alındı gelinceye kadar sırasıyla yeni veri bloklarını göndermeyi sürdürür. Olumsuz alındı geldiği anda, verici yeni veri iletimine ara vererek olumsuz alındıya ilişkin bloğu tekrar gönderir ve kaldığı yerden itibaren yeni veri bloklarını göndermeye devam eder.



Şekil - 3 : SR ARQ sistemi

İdeal SR ARQ sisteminde bir kod kelimesinin alıcı tarafından hatasız olarak kabul edilebilmesi için gereken ortalama iletim sayısı:

$$E[V]_{SR} = 1 \cdot P_C + 2P_C(1-P_C) + 3P_C(1-P_C)^2 + \dots + iP_C(1-P_C)^{i-1} + \dots$$

$$= 1/P_C \quad (5)$$

şeklindedir. Buna göre bir ideal SR ARQ sisteminin başarıımı:

$$\eta_{SR} = \frac{1}{E[V]_{SR}} (k/n) = P_C(k/n) \quad (6)$$

olarak elde edilir. Bu ifadeden SR ARQ sisteminin başarımının sadece kanal bit hata olasılığına ve kod oranına bağlı olduğu görülmektedir. SR ARQ sistemi uzun bekleme süreli ve yüksek veri hızlı veri haberleşme sistemleri için diğer temel ARQ sistemlerine göre çok daha iyi başarımlar sağlar.

### 3. KARMA ARQ SİSTEMLERİ

Karma ARQ sistemleri iki sınıfta toplanabilirler [4,8]:

- 1) I. türden karma ARQ sistemleri,
- 2) II. türden karma ARQ sistemleri.

I. türden karma ARQ sistemlerinde sadece bir çeşit kod kullanılır ve bu kod hem hata sezme, hem de hata düzeltme işlemlerini gerçekleştirir. Bir kod kelimesinin hatalı olduğu belirlenirse, alıcı önce hataları düzeltmeye çalışır. Eğer hata sayısı kodun hata düzeltme kapasitesi içinde ise hatalar düzeltilir ve çözülen mesaj kullanıcıya alınır. Eğer hatalar düzeltilmezse, alıcı alınan kod kelimesinin yeniden gönderilmesi için vericiyi uyarır. Yeniden iletilen kod kelimesi alındığı zaman, alıcı eğer varsa tekrar hataları düzeltmeye çalışır. Kod çözme işlemi başarılı değilse alıcı tekrar yeniden gönderme işlemi için vericiyi uyarır. Bu işlemler kod kelimesi doğru olarak alınıncaya kadar veya doğru olarak çözülmünceye kadar devam eder.

II. türden karma ARQ sisteminde, bir mesaj dizisi sadece hata sezme amacıyla parite bitleriyle kodlanır ve gönderilir. Hata düzeltmek amacıyla kullanılan parite bitleri ise sadece alıcı tarafından ihtiyaç duyulduğunda gönderilir. Bu nedenle durağan olmayan bir kanal için böyle bir adaptif sistem çok uygundur.

#### 4. HATA DÜZELTEN KOD OLARAK 1/2 ORANLI KONVOLÜSYON KODUNU VE VİTERBİ KOD ÇÖZME ALGORİTMASINI KULLANAN II. TÜRDEKİ KARMA ARQ SİSTEMİNİN BAŞARIM ANALİZİ

S. Lin ve Y. Wang'ın [6] keşfettikleri bu tür karma ARQ sisteminde hata sezme işlemi için bir sistematik  $(n, k)$   $C_0$  lineer blok kodu [1-3] ve hata düzeltme işlemi için de 1/2 oranlı bir  $(2, 1, m)$   $C_1$  konvolüsyon kodu [1-3] kullanılır.  $k$  bitlik bir mesaj dizisi önce  $C_0$  lineer blok kodu ile  $n$  bitlik bir  $I(x)$  dizisine kodlanır. Daha sonra,  $G_1(x)$  ve  $G_2(x)$  yarım hızlı  $C_1$  konvolüsyon kodunun iki üreteç polinomları olmak üzere,  $I(x)$  kod dizisi herbiri  $n+m$  bit uzunluğunda  $P_1(x)=I(x).G_1(x)$  ve  $P_2(x)=I(x).G_2(x)$  dizilerine kodlanır.  $P_1(x)$  ve  $P_2(x)$  dizileri yarım hızlı  $C_1$  konvolüsyon koduna göre sıralı karıştırılırsa, elde edilen  $2(n+m)$  bit uzunluklu kod dizisi,  $I(x)$  için bir kod dizisi olur. İlk olarak  $P_1(x)$  dizisi alıcıya gönderilirken  $P_2(x)$  daha sonra yapılabilecek bir yeniden iletim için vericideki yastıkta saklanır.  $P_1(x)$ ,  $P_1(x)$  e karşı düşen alınan vektör olsun.  $P_1(x)$  alındığında  $G_1(x)$  üreteç polinomuna bölünür.  $I(x)$  bölüm,  $R_1(x)$  kalan olsun. Eğer  $R_1(x)=0$  ise  $I_1(x)$   $C_0$  hata sezen koduna göre denetlenir. Eğer bulunan  $S_1(x)$  sendromu sıfıra eşit ise kod kelimesi doğru olarak alınmış varsayılarak,  $I_1(x)$   $n-k$  parite kontrol biti çıkarıldıktan sonra kullanıcıya iletilir. Eğer  $R_1(x) \neq 0$  ya da  $S_1(x) \neq 0$  ise  $P_1(x)$  hatalı dizi olarak kabul edilir ve daha sonra muhtemel bir kullanım için alıcı yastığında saklanır. Aynı zamanda alıcı, vericiye  $P_1(x)$ 'in olumsuz alındığına ilişkin bir uyarı gönderir. Verici bu uyarıyı aldıktan sonra alıcıya  $P_2(x)=I(x).G_2(x)$  dizisini gönderir. Gönderilen bu dizi,  $I(x)$  için bir yeniden iletimdir.  $P_2(x)$ ,  $P_2(x)$ 'e karşı düşen alınan dizi olsun.  $P_2(x)$  alındığında  $G_2(x)$  üreteç polinomuna bölünür.  $I_2(x)$  bölüm,  $R_2(x)$  ise kalan olsun. Eğer  $R_2(x)=0$  ise hata sezici  $C_0$  koduna göre  $I_2(x)$ 'in sendromu hesaplanır ve  $S_2(x)$  sendromunun sıfır çıkması durumunda  $I_2(x)$  hatasız kabul edilir ve kullanıcıya iletilir. Bu durumda alıcı yastığından  $P_1(x)$  dizisi silinir. Eğer  $R_2(x) \neq 0$  ya da  $S_2(x) \neq 0$  ise  $P_1(x)$  ve  $P_2(x)$  alıcıdaki Viterbi kod çözme metodu [7] ile  $C_1$  konvolüsyon koduna göre çözülür ve çözülen dizi  $I(x)$ , hata sezici  $C_0$  koduna göre denetlenir. Eğer  $S(x)$  sendromu sıfır çıkarsa  $I(x)$  kullanıcıya iletilir.



$S(x)=0$  bulunursa  $P_1(x)$  dizisi alıcıdaki yastıktan silinir ve yerine  $P_2(x)$  dizisi yerleştirilir. Aynı zamanda vericiye  $I(x)$  için yeni bir olumsuz alındı uyarısı gönderilir. İkinci olumsuz alındı uyarısı üzerine verici tekrar  $P_1(x)$  dizisini gönderir. Bu iletim  $I(x)$  için ikinci defa yeniden iletimdir.  $P_1(x)$  alındığında, ilk alınışında yapılan işlemler tekrarlanır. Eğer  $R_1(x)=0$  veya  $S_1(x)=0$  ise, bu kez  $P_2(x)$  alıcı yastığından silinerek yerine  $P_1(x)$  yazılır. Vericiden de  $P_2(x)$  i tekrar göndermesi istenir ve yukarıda anlatılan işlemler aynı sıra içinde  $I(x)$  doğru olarak alınıncaya kadar tekrarlanır. Bu parite-veri yeniden gönderme yöntemi herhangi bir temel ARQ sistemine uygulanabilir. Bu durumda II. türden karma SW ARQ, II. türden karma GBN ARQ ve II. türden karma SR ARQ sistemleri elde edilir. Bunlardan II. türden karma SR ARQ sistemi en iyi başarıyı sağlar. Bu karma ARQ sistemlerinde hata sezici kod olarak sistematik konvolüsyon kodu da kullanılabilir [9].

Söz konusu sistemin başarı analizini [6], ikili simetrik kanal için aşağıdaki şekilde yapabiliriz.

Kanalın bit hata olasılığı  $\epsilon$  olduğuna göre,  $n+m$  bitlik bir kod kelimesinin doğru olarak alınma olasılığı  $P_C=(1-\epsilon)^{n+m}$ 'dir.  $1/2$  hızlı  $(2,1,m)$   $C_1$  konvolüsyon kodunun Viterbi kod gözütüde çözüldükten sonraki bit hata olasılığı  $P_D$ 'nin üst sınırı

$$P_D \approx \frac{\partial}{\partial Y} T(X,Y) \Big|_{X=2\sqrt{\epsilon(1-\epsilon)}, Y=1} \quad (7)$$

bağıntısı ile verilir. Burada  $T(X,Y)$ ,  $C_1$  kodunun üretmeç polinomunu göstermektedir.  $N$ , bekleme süresi boyunca iletilebilen  $n+m$  bit uzunluğundaki dizilerin sayısı ve  $B$ , alıcı yastığının depolayabileceği dizi sayısı olsun. Bu durumda sistemin başarı analizini 3 ayrı durum için aşağıdaki şekilde elde edilir:

1. Durum : Alıcı yastık hacminin sonsuz olması durumu ( $B = \infty$ ):  $B = \infty$  durumunda söz konusu sistemin başarıyı

$$\eta_{\infty} > \frac{1 + (1 - P_C)P_t/P_C}{2 - P_C} \cdot \frac{n}{n+m} \cdot \eta_{SR} \quad (8)$$

şeklinde olup; burada  $q$  ve  $P_t$

$$q = (1 - P_b)^{n+m} \text{ ve } P_t = P_c + (1 - P_c) \cdot q \quad (9)$$

ile verilir.  $\eta_{SR}$  ise (6) bağıntısı vasıtasıyla belirlenir.

2. Durum :  $B < N$  durumu:  $B < N$  durumunda sistemin başarımı

$$\eta_B = \frac{1 + P_t \cdot \Phi_0(B, P_c, P_t) / P_c}{(1 - N) + (2 - P_c)N / (P_c + P_t - P_c P_t)} \cdot \frac{n}{n+m} \cdot \eta_{SR} \quad (10)$$

şeklinde olup, burada  $\Phi_0(B, P_c, P_t)$ ,

$$\Phi_0(B, P_c, P_t) = \sum_{j=1}^B \frac{(-1)^{j+1} \binom{B}{j} (1 - P_c)^j [1 + P_c(1 - P_t)]^j / P_t^j}{1 - [1 - P_c](1 - P_t)]^j} \quad (11)$$

ile verilir.

3. Durum :  $s > 0$  ve  $0 < b < N-1$  şartları altında  $B = s(N-1) + b + 1$  durumu:

Bu durum için sistemin başarımı:

$$\eta_B = \frac{P_{CS} + P_t \cdot \Phi_s(N, P_c, P_t)}{F_0 + F_1} \cdot \frac{n}{n+m} \cdot \eta_{SR} \quad (12)$$

şeklinde olup, burada  $P_{CS}$ ,  $\sigma$ ,  $F_0$ ,  $F_1$  ve  $\Phi_s(N, P_c, P_t)$  sırasıyla,

$$P_{CS} = \begin{cases} 1 - (1 - P_c)(1 - \sigma)s/2 & , \text{ s'nin çift değerleri için} \\ 1 - (1 - \sigma)(s+1)/2 & , \text{ s'nin tek değerleri için} \end{cases} \quad (13)$$

$$\sigma = P_t + P_c - P_t \cdot P_c \quad (14)$$

$$F_0 = \frac{2 - P_c - [(2 - P_c) + (s - sP_c - P_c)^\sigma] (1 - \sigma)(s-2)/2}{\sigma}, \text{ s'nin çift değeri için} \quad (15)$$

$$F_1 = \frac{2 - P_c - [(2 - P_c) + (s+1)^\sigma] (1 - \sigma)(s-1)/2}{\sigma}, \text{ s'nin tek değeri için}$$

$$F_1 = \frac{[(2-P_C - \sigma)N + (1-P_C)\sigma](1-\sigma)s/2}{\sigma}, \quad \begin{array}{l} \text{s'nin çift değerleri} \\ \text{için} \end{array} \quad (16)$$

$$\frac{[\sigma + (2-P_C)N](1-\sigma)(s+1)/2}{\sigma}, \quad \begin{array}{l} \text{s'nin tek değerleri} \\ \text{için} \end{array}$$

$$\phi_s(N, P_C, P_t) = \sum_{j=1}^N \frac{(-1)^{j+1} \binom{N}{j} (1-\sigma)^{sj} / 2 [(1-\sigma)^j + (1-P_C)^j P_C / P_t]}{1 - (1-\sigma)^j}, \quad \begin{array}{l} \text{s'nin çift değerleri için} \\ \end{array} \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^N \frac{(-1)^{j+1} \binom{N}{j} (1-\sigma)(s+1)^j / 2 [(1-P_C)^j + P_C P_t]}{1 - (1-\sigma)^j}, \quad \begin{array}{l} \text{s'nin tek değerleri için} \\ \end{array}$$

Bu durumda, ikili simetrik kanal için yukarıda elde edilen bütün ifadeler, 1, iletilen kod kelimesindeki 1 sembollerinin sayısı olmak üzere,  $P_C = (1-\epsilon)^1 \cdot (1-\delta)^{n+m-1}$  olmak şartıyla ikili olmayan simetrik kanal için de geçerlidir [9].

Söz konusu karma sistemin güvenilirliği, kullanılan kod çözücünün bir kod kelimesini hatalı çözüme olasılığı olan  $P(E)$  ile ölçülür.  $P(E)$ 'nin üst sınırı:

$$P(E) < \frac{2P_e}{P_e + P_C} = 2P(E)_{ARQ} \quad (18)$$

bağıntısı ile verilir [6]. Burada  $P_e$ , kullanılan hata sezici  $(n,k)$  lineer blok kodunun sezilemeyen hata olasılığıdır.  $P(E)_{ARQ} = P_e / (P_e + P_C)$  olup, temel ARQ sisteminin güvenilirlik ifadesidir.

## 5. SİMÜLASYON SONUÇLARI

II.türden karma ARQ sistemlerinin dur ve bekle (SW), N kelime geri git (GBN) ve seçici tekrar (SR) modundaki çalışmalarının simülasyonu iki-

li simetrik kanal (BSC) ve simetrik olmayan ikili kanal varsayımı ile yapılmış ve kod kelimesi uzunluğu, veri hızı, kod oranı ve bekleme süresi gibi farklı sistem parametreleri için sistemlerin başarımları incelenmiştir [9].

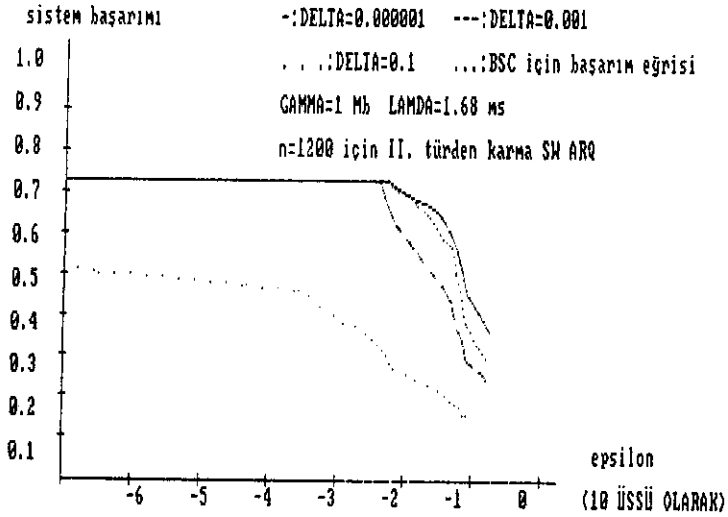
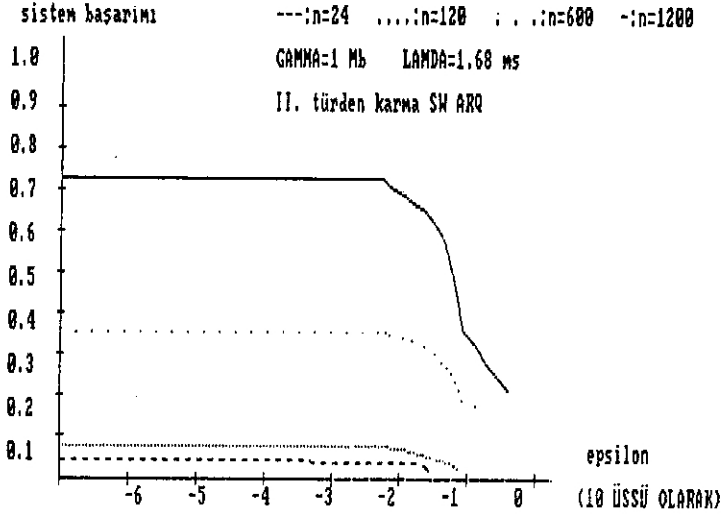
II. türden karma SW ARQ sistemlerinde en iyi başarımları 1/2 oranlı konvolüsyon kodu sağladığından dolayı, farklı kod kelimesi uzunlukları için sistem başarımının kanal bit hata olasılığına göre değişimi hata sezen kod olarak 1/2 oranlı konvolüsyon kodunu kullanan sistemden elde edilen sonuçlara göre çizilmiştir. Bu sonuçlar Şekil-4'de görülmektedir. Söz konusu sistemin veri hızı 1 Mb olup, bekleme süresi 1.68 ms'dir. Şekil-4'den  $n=1200$  bit uzunluklu kod kelimelerini gönderen sistemin en iyi başarımları sağladığı görülmektedir.

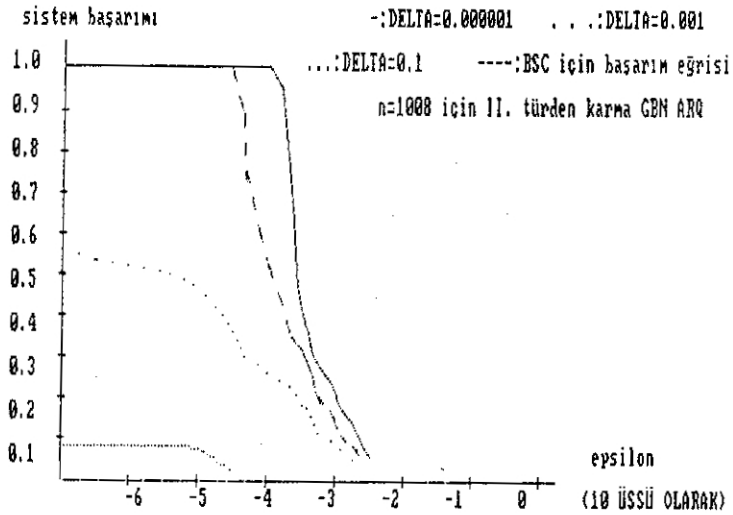
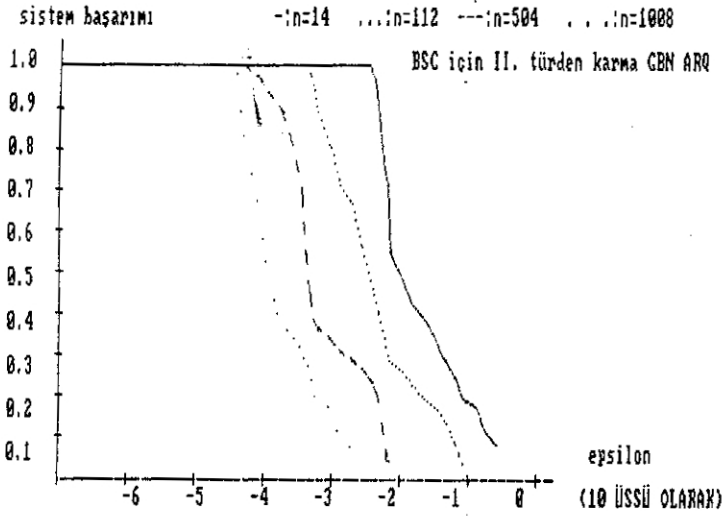
Şekil-5, veri hızı 1 Mb, gecikme süresi 1.68 ms, gönderilen kod kelimesi uzunluğu  $n=1200$  bit olan II. türden karma SW ARQ sisteminin ikili simetrik kanal ve simetrik olmayan ikili kanal için başarımlarını göstermektedir.  $\delta$ 'nın  $10^{-6}$  değeri için, kod kelimelerinin simetrik olmayan ikili kanaldan iletildiği II. türden karma SW ARQ sisteminin en iyi başarımları sağladığı görülmektedir.

Şekil-6 karma GBN ARQ sisteminde ikili simetrik kanal için en iyi başarımları sağlayan 2/3 oranlı lineer blok kodunun hata sezici kod olarak kullanılması durumunda, farklı kod kelimesi uzunlukları için sistem başarımının kanal bit hata olasılığına göre değişimini göstermektedir. Şekil-6'ya göre kod kelimesi uzunluğu arttıkça başarımlar daha kötü olmaktadır. Bunun nedeni, kanal bit hata olasılığı arttıkça kod kelimelerinin kanal gürültüsünden daha fazla etkilenmeleridir.

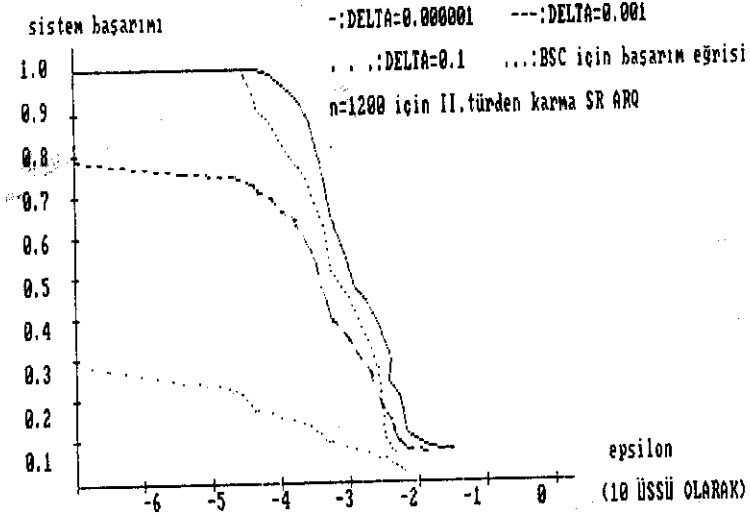
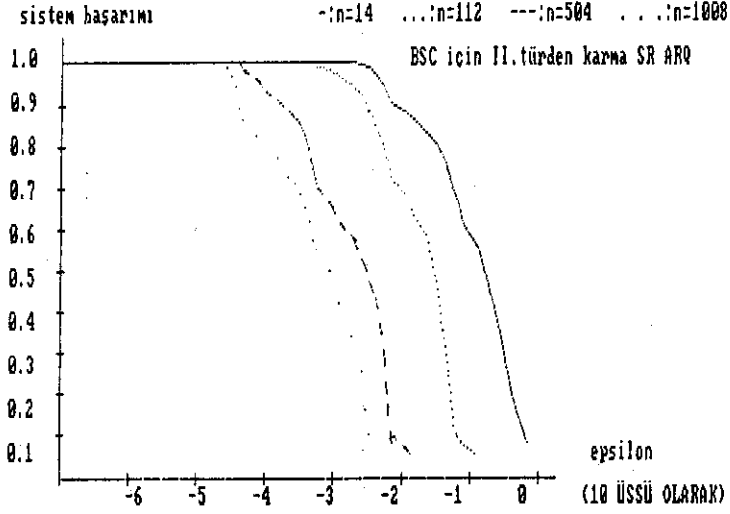
Şekil-7, iletilen kod kelimelerinin uzunluğunun  $n=1008$  olması durumunda, hata sezen kod olarak 2/3 oranlı lineer blok kodu kullanan II. türden karma GBN ARQ sisteminin simetrik olmayan ikili kanal için başarımının  $\epsilon$ 'na göre değişimini göstermektedir. Başarımlar eğrilerinden  $\delta = 10^{-6}$  için sistemin en iyi başarımları sağladığı görülmektedir.

II. TÜR.KAR.ARQ SIS.SIM/N.TAŞPINAR,K.GÜNEY,Ş.ERGÜN





II. TÜR. KAR. ARQ SIS. SIM/N. TAŞPINAR, K. GÜNEY, Ş. ERGÜN



Şekil-8, hata sezici kod olarak 2/3 oranlı lineer blok kodunu kullanan karma SR ARQ sisteminin farklı kod uzunlukları için başarımını göstermektedir. Şekil-8'e göre iletilen kod kelimesi uzunluğu arttıkça sistem başarımı düşmektedir.

Şekil-9'da, iletimin simetrik olmayan ikili kanaldan yapılması ve hata sezen kod olarak 2/3 oranlı lineer blok kodunun kullanılması durumunda,  $n=1008$  için II. türden karma SR ARQ sisteminin başarımı görülmektedir. Şekilden  $\delta = 10^{-6}$  değeri için başarımın en iyi durumda olduğu gözlenmiştir.

## 6. SONUÇ

Yapılan bu çalışmada sonuç olarak, hata sezen kod olarak 2/3 oranlı lineer blok kodunu kullanan II. türden karma SR ARQ sistemi gerek ikili simetrik kanal için, gerekse simetrik olmayan ikili kanal için II. türden karma GEN ARQ sisteminden daha iyi sistem başarımı sağladığı görülmektedir. II. türden karma SW ARQ sistemi için ise 1/2 oranlı konvolüsyon kodunun hata sezen kod olarak kullanılması durumunda en iyi sistem başarımı sağlanmaktadır. Kod kelimesi uzunluğu arttıkça SW ARQ sisteminde sistem başarımı iyileşirken, buna karşılık GEN ve SR ARQ sistemlerinde sistem başarımı kötüleşmektedir. Eğer simetrik olmayan ikili kanal için  $\Pr(1|0) = \delta$  olasılığı  $10^{-6}$  değerine eşit olursa, hata sezen kod olarak 2/3 oranlı lineer blok kodunu kullanan II. türden karma SR ARQ sistemi bütün sistemler içinde en iyi sistem başarımını vermektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] LIN S., COSTELLO D. J. JR, Error Control Coding: Fundamentals and Applications, New Jersey, Prentice-Hall, 1983.
- [2] LIN S., An Introduction to Error-Correcting Codes, New Jersey, Prentice-Hall, 1970.



- [3] CLARK G. J. JR, CAIN J. B., Error Correcting Coding for Digital Communication, New York, Plenum Press, 1981.
- [4] LIN S., COSTELLO D.J.JR, MILLER M.J., Automatic Repeat Request Error Control Schemes, IEEE communications Magazine, pp.5-15, Dec.1984.
- [5] LIN S., YU P.S., A Hybrid ARQ Scheme with Parity Retransmission for Error Control of Satellite Channels-IEEE Trans. Communications, Com-30, No.7, pp.1701-1719, July, 1982.
- [6] WANG Y. M., LIN S., A Parity Retransmission Hybrid ARQ Using a Convolutional Code and Viterbi Decoding for Error Control, GLOBECOM'82 Conf.Rec., E.7.1, Miami, FL, Nov.29-Dec.2, 1982.
- [7] VITERBI A.J., Error Bounds for Convolutional codes and a Asymptotically Optimum Decoding Algorithm, IEEE Trans. Information Theory, IT-13, pp.260-269, April 1967.
- [8] KALKAN M., Performance Analysis of Basic and Hybrid ARQ Schemes, Y.Lisans Tezi, Bogaziçi Üni., 1987.
- [9] TAŞPINAR N., II. Türden Karma ARQ Sistemlerinin Simetrik ve Simetrik Olmayan İkili Kanallar İçin Başarım Analizi, Y. Lisans Tezi, İ.T.Ü., 1988.