

# Kod-İndis Modülasyonu ve Uzaysal Modülasyon Tabanlı Yeni bir MIMO Sistem

## A Novel MIMO Scheme Based on Code-Index Modulation and Spatial Modulation

Fatih Çögen, Erdoğan Aydın ve Nihat Kabaoğlu  
Elektrik-Elektronik Müh.  
İstanbul Medeniyet Üniversitesi  
İstanbul, Türkiye  
cogenfatih@gmail.com,  
{erdogan.aydin, nihat.kabaoglu}@medeniyet.edu.tr

Ertuğrul Başar  
Elektronik ve Haberleşme Müh.  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
İstanbul, Türkiye  
basarer@itu.edu.tr

Hacı İlhan  
Elektronik ve Haberleşme Müh.  
Yıldız Teknik Üniversitesi  
İstanbul, Türkiye  
ilhanh@yildiz.edu.tr

**Özetçe** —Bu çalışmada, son zamanlarda popüler olan uzaysal modülasyon (SM) ve kod indis modülasyonu (CIM) teknikleri birleştirilerek, CIM-SM olarak adlandırılan yüksek enerji verimli, yüksek veri hızı ve daha iyi hata başarımına sahip yeni bir çok-girişli çok-çıkışlı (MIMO) iletim sistemi önerilmiştir. Ele alınan sistem yapısında, iletilen modülasyonlu simge verisinin yanı sıra, bir yandan SM'in etkin anten indisi, diğer yandan da yayıcı kod indisleri veri taşımaktadır. Dolayısıyla, önerilen sistem geleneksel doğrudan dizilimli yayılı izge (DS-SS), SM ve CIM-SS sistemlerine göre daha hızlı veri iletimi gerçekleştirirken, daha az iletim enerjisi harcamaktadır. Ayrıca, bilgisayar benzetimi ile CIM-SM sisteminin DS-SS, SM ve CIM-SS sistemlerine göre daha iyi hata başarımına sahip olduğu gösterilmiştir. Önerilen sistemin başarım analizi BPSK modülasyonu için Rayleigh sönmülemeli kanallarda yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler**—Uzaysal modülasyon, kod indis modülasyonu, MIMO sistemler ve doğrudan dizilimli yayılı izge.

**Abstract**—In this paper, a novel multiple-input multiple-output (MIMO) transmission scheme with high energy efficiency, high data rate and better error performance, called CIM-SM, is proposed by combining recently two promising modulation techniques, spatial modulation (SM) and code index modulation (CIM). In the CIM-SM scheme, the information bits are conveyed not only by the modulated symbols but also by the active antenna indices of SM as well as the spreading code indices. Thus, the proposed CIM-SM scheme spends less transmission power while performing faster data transmission compared with the conventional direct sequence spread spectrum (DS-SS), SM and CIM-SS systems. In addition, computer simulations have shown that CIM-SM scheme has better error performance than DS-SS, SM and CIM-SS systems during the symbol period. The performance analysis of the proposed system is performed over the Rayleigh fading channels for BPSK modulation.

**Keywords**—Spatial modulation, code index modulation, MIMO systems and direct sequence spread spectrum.

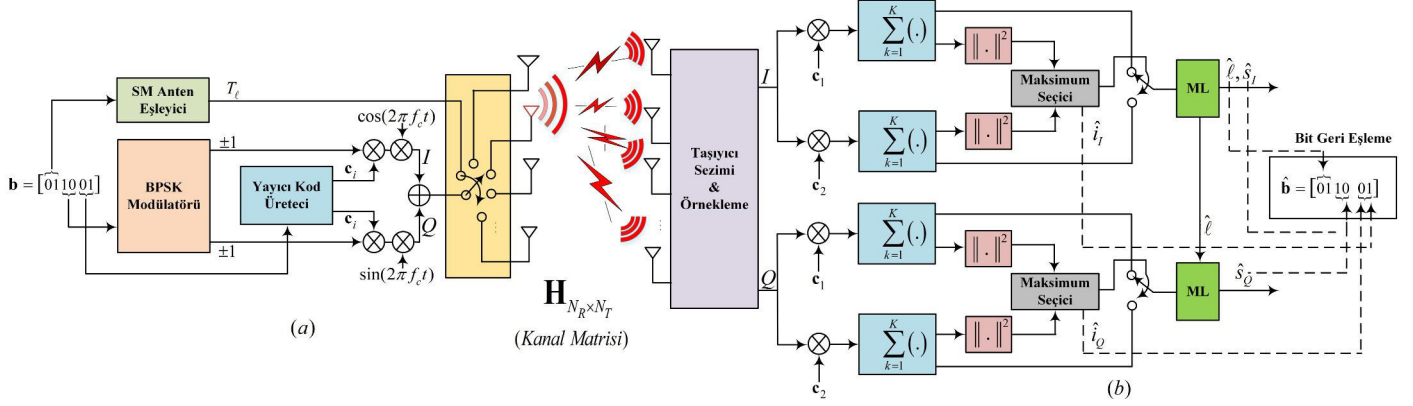
Bu çalışma, İstanbul Medeniyet Üniversitesi tarafından F-GAP-2018-1263 numaralı proje kapsamında ve E. Başar'ın çalışmaları TÜBA-GEBİP programı kapsamında desteklenmektedir.

### I. GİRİŞ

Son zamanlarda, kablosuz iletişim sistemlerinde yüksek veri hızlarına olan talep artışı ve buna bağlı olarak yüksek bir spektrum verimliliğine olan gereksinim yenilikçi iletim sistemlerinin ortaya çıkışını zorunlu hâle getirmiştir. Bu bağlamda, çok-girdili çok-çıkışlı (multiple-input multiple-output, MIMO) sistemler ilgi odağı haline gelmiştir. MIMO sistemler, çoğunlukla çok yollu yayılımın neden olduğu sönmümeden zarar gören kablosuz kanalda başarım artışı sağlamaktadır [1]. Ayrıca, MIMO sistemlerde hem verici hem de alıcı tarafında anten çeşitleme tekniği kullanıldığından, güvenilir ve sağlam bir iletişim kurulmuş olur. Böylece, MIMO sistemler, kapasite artışı ve çeşitleme kazancı sağlamaktadır. [2], [3].

Son yıllarda, uzaysal modülasyon (spatial modulation, SM) olarak bilinen yeni bir yüksek veri hızlı, düşük karmaşıklıkla iletim tekniği, araştırmacılar tarafından büyük ilgi görmüş ve yakın tarihlerde birçok çalışmada yer almıştır [4]- [7]. Bu teknikte, verici ve alıcı, zengin saçılma ortamının uzaysal çeşitliliğini elde etmek için çoklu antenlerle donatılmıştır. SM tekniği, bilgi bitlerinin hem iletilen veri simgelerine hem de etkin olan verici antenin indisine eşlenerek taşındığı bir tekniktir. SM tekniğinde, her zaman diliminde çoklu iletim antenlerinden sadece bir tanesi etkin olarak kullanıldığından, MIMO sistemlere düşük karmaşıklıkla bir alternatif olarak sunulmuştur [8]. Böylece, SM tekniği geleneksel MIMO sistemlere göre yüksek veri hızı sağlarken karmaşıklığı da düşürür. Ayrıca, SM'in doğası gereği antenler arasındaki senkronizasyon problemi ortadan kaldırıldığından kanallar arası girişim engellenir.

Araştırmacıların son yıllarda üzerinde çalıştıkları yeni nesil haberleşme sistemi olan 5G için, SM ve indis modülasyonu (IM) aday gösterilmektedir [9]. IM'de bilginin iletimi için en genel olarak verici anten, alt taşıyıcı, zaman aralığı, yayma kodu, ön kodlama matrisi gibi birimlerin indisleri göz önüne alınmaktadır. Bu teknikte ek bilgi taşıyan indisler, iletilen veya alınan işaretlerle beraber iletilir. Böylece, indislerde taşınan ek bilgi için çok az enerji harcanır ya da hiç enerji harcanmaz. Sonuç olarak, IM sayesinde spektral verimlilikle beraber enerji verimliliği de sağlanmış olmaktadır [9]-[11]. IM tekniğini esas



Şekil 1: CIM-SM sistem modeli, (a) verici yapısı, (b) alıcı yapısı.

alan CIM-SS sistemi, iletilen simgelere ek olarak ekstra bilgi taşımak için yayıcı kodun indislerini kullanır. Spesifik olarak; bilgi bitlerinin bir kısmını iletilecek simgeyi modüle etmek için kullanırken diğer bir kısmını da etkin edilecek yayıcı kodu seçmek için kullanır. Böylece yayıcı kodun indisine ek bilgi yüklenmiş olur. Alıcıda ilk olarak eşlenen biti yeniden elde etmek için yayılım kodu tespit edilir; ardından da alınan simge demodüle edilir. Bu akılcı düzen ile bitlerin sadece bir kısmı fiziksel olarak kanal üzerinden iletilirken diğer bir kısmı da yayıcı kod indisine eşlenmiş olur. Bu nedenle, CIM-SS sistemi iletişim sisteminin verimliliğini ve hızını artırırken enerji tüketimini de azaltmaktadır [12], [13].

Bu çalışmada, gelecek nesil haberleşme sistemleri için umut verici olan SM ve CIM teknikleri birleştirilerek, CIM-SM olarak adlandırılan yüksek enerji verimli, yüksek veri hızlı ve daha iyi hata başarımına sahip olan yeni bir MIMO iletim sistemi önerilmiştir. Önerilen sistemin; DS-SS, SM ve CIM-SS sistemlerine göre daha yüksek hızda veri iletimi gerçekleştirdiği, daha az iletim enerjisi harcadığı ve başarımının daha iyi olduğu gösterilmiştir.

## II. SİSTEM MODELİ

Bu çalışmada önerilen CIM-SM sistem modeli Şekil 1'de gösterilmektedir. Bu sistemde,  $N_T$  tane verici anten ve  $N_R$  tane alıcı anten mevcuttur. İki farklı yayıcı Walsh Hadamard kod  $\mathbf{c}_i = [c_{i,1}, c_{i,2}, \dots, c_{i,K}]^T$ ,  $i \in \{1, 2\}$  kullanılmış olup bu kodların her biri  $K$  uzunluklu bir çipten meydana gelmektedir. Verici ve alıcı yapısında eşevrelili (in-phase,  $I$ ) ve dik evrelili (quadrature,  $Q$ ) kanal bileşenleri yer almaktadır. Sistemde, BPSK modülasyonu kullanılmış olup  $\{\pm 1\}$  simgeleri iletilmektedir. Genel itibarıyla sistem yapısı; BPSK modülasyonu, SM ve CIM yöntemlerinin birbirine uyulanmasıyla elde edilmiştir.

Şekil 1 (a)'da CIM-SM sistemin verici yapısı dikkate alındığında,  $\mathbf{b}$  vektörü bu sistemde  $T_s$  simge süresi boyunca iletilecek olan ikili (binary) bilgi biti vektörüdür. CIM-SM vericisinde,  $\mathbf{b}$  vektörü,  $\log_2(N_T)$ ,  $\log_2(2M)$  ve  $\log_2(2L)$  bitlik alt vektörlere ayrılır. Burada,  $\log_2(M)$  bit bir BPSK simgesi,  $\log_2(L)$  bit ise bir yayıcı kodu seçer ve hem  $I$  hem de  $Q$  bileşenlerinde  $\log_2(M) + \log_2(L)$  olmak üzere eşit sayıda bit taşınmış olur. Dolayısıyla,  $\log_2(N_T)$  bitlik veri dizisi SM tekniğinin anten indisinde,  $\log_2(2M)$  ve  $\log_2(2L)$  bitleri ise

sırasıyla  $I$ ,  $Q$  bileşenlerinin BPSK'lı simgesinde ve yayıcı kod indisinde iletilmektedir. Sonuç olarak, verici bloğunda CIM-SM sisteminde yayıcı kod ile yayılmış simge dizileri  $I$  ve  $Q$  bileşenleri aracılığıyla SM'in etkinleştirdiği tek antenden gönderilmektedir.

CIM-SM sisteminin alıcısına gelen ve sönmülemeye uğramış gürültülü işaret aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$y(t) = \sum_{k=1}^K \left( s_I c_{i,k} p(t - kT_c) \cos(2\pi f_c t) + s_Q c_{i,k} p(t - kT_c) \sin(2\pi f_c t) \right) h(t) + n(t), \quad (1)$$

burada,  $s_I, s_Q \in \{\pm 1\}$  olup BPSK simgesidir.  $p(t)$ ,  $[0, T_c]$  süresince birim genlikli dikdörtgen darbeli şekillendirme filteridir.  $T_c$  yayıcı koda ait çip süresidir.  $h(t)$  Rayleigh sönmülemeli kanal katsayısı olup  $n(t) \sim \mathcal{C}(0, N_0)$  sıfır ortalamalı ve boyut başına  $N_0/2$  varyanslı karmaşık Gauss rastlantı sürecidir.  $f_c$  taşıyıcı frekansı,  $I$  ve  $Q$  bileşenlerinde benzer yapıya sahip olduğundan, eşitlik (1)'de verilen işaret modeli, eşevrelili kısmı üzerinden tekrar yazılabilir. Böylece, mükemmel taşıyıcı seziminden sonra,  $I$  bileşeninin temel bant ifadesi aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir:

$$y_I(t) = \sum_{k=1}^K s_I c_{i,k} p(t - kT_c) h(t) + n_I(t), \quad (2)$$

burada  $n_I(t)$ ,  $I$  bileşeninin AWGN gürültüsünü ifade etmektedir. Alıcıda,  $r = 1, 2, \dots, N_R$  olmak üzere  $r$ 'inci alıcı antenden alınan ve örneklenecek sayısal çevrilmiş  $i$ 'inci indisli yayıcı kodun  $k$ 'ncü gürültülü çip işareti aşağıdaki gibi tekrardan ifade edilebilir:

$$y_{i,r}^k = s_I c_{i,k} h_r + n_{i,r}^k, \quad (3)$$

burada, karmaşık gösterimden kaçınmak için  $y$  ve  $n$ 'den  $I$  indisi düşürülmüştür. Örneklenmiş işaretten öncelikle yayıcı kod indisinin kestirimi yapılır. Bunun için ilişkili alıcı aracılığı ile  $\mathbf{y}_{i,r} = [y_{i,r}^1, y_{i,r}^2, \dots, y_{i,r}^K]^T$  vektörü her dalda ilgili  $c_i$  yayıcı kod ile çarpılarak  $T_s = K T_c$  simge süresi boyunca toplanır:

$$\begin{aligned} y_{i,r} &= \sum_{k=1}^K c_{i,k} y_{i,r}^k = \sum_{k=1}^K c_{i,k} \left( s_I c_{i,k} h_r + n_{i,r}^k \right) \\ &= E_s s_I h_r + \tilde{n}_r, \quad r = 1, 2, \dots, N_T, \quad i = 1, 2 \end{aligned} \quad (4)$$

burada,  $E_s$  simge başına iletilen ortalama enerji olup  $E_s = \sum_{k=1}^K c_{i,k}^2$  şeklinde ifade edilmektedir. Ayrıca,  $\tilde{n}_r = \sum_{k=1}^K c_{i,k} n_{i,r}$  olup alıcıda Walsh Hadamard kod ile çarpılmış AWGN gürültüsüdür. Bu işlem,  $i = 1, 2$  ve  $r = 1, 2, \dots, N_T$  için yapıldığında elde edilen vektör seti aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\mathcal{Y} = \{\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2\}, \quad (5)$$

burada,  $\mathbf{y}_i = [y_{i,r1}, y_{i,2}, \dots, y_{i,N_R}]^T$  olmak üzere  $N_R$  tane çeşitleyici anten verisini içermektedir.

Şekil 1 (b)'de gösterildiği gibi alıcı terminalinde geri yayma (despreading) işleminden sonra, her  $I$  ve  $Q$  bileşeni için iki kollu algılama uygulanarak yayıcı kod indisi, etkin anten indisi ve iletilen simgenin kestirimi olan  $(\hat{i}_I, \hat{i}_Q, \hat{\ell}, \hat{s}_I, \hat{s}_Q)$  verileri elde edilir. Burada CIM-SM sisteminin karmaşıklığını azaltmak için Walsh kod indisleri  $(\hat{i}_I, \hat{i}_Q)$ 'nın kestirimi elde edildikten sonra  $\hat{\ell}$  ve  $(\hat{s}_I, \hat{s}_Q)$ 'nın kestirimi elde edilecektir. Böylece, ilk olarak, elde edilen  $(\hat{i}_I, \hat{i}_Q)$  verisi geri yayma vektör setine geri bildirilir ve daha sonra  $(\hat{i}_I, \hat{i}_Q)$  verisiyle ilişkili  $\mathbf{y}_i$  geri yayma verisi en büyük olasılıklı kestirimcinin girişine uygulanır. Böylece, sistemin karmaşıklığı büyük ölçüde azaltılmış olur.

Önerilen sistemde kod indisinin kestirimini yapmak için öncelikle  $\mathcal{Y}$  vektör setinin karesel normu alınır. Daha sonra, norm kare alınmış vektör setinin  $\|\mathcal{Y}\|^2$  maksimum elemanına ait indis belirlenir. Walsh kodlar birbirine dik olduğu için normu alınmış vektörün en büyük değerlikli elemanı, aynı indis üzerindeki geri yayılmış elemana eşittir. Yani,

$$\sum_{k=1}^K c_{i,k} c_{j,k} = \begin{cases} 1, & i = j \text{ ise} \\ 0, & i \neq j \text{ ise} \end{cases} \quad (6)$$

Böylece, normu alınmış vektör setinin maksimum elemanına ait indis aşağıdaki gibi belirlenir:

$$\begin{aligned} \hat{i}_I &= \arg \max_i \left\{ \|\mathcal{Y}\|^2 \right\} \\ &= \arg \max_i \left\{ \|\mathbf{y}_1\|^2, \|\mathbf{y}_2\|^2 \right\}. \end{aligned} \quad (7)$$

En büyük olasılıklı kestirimci,  $\mathbf{y}_i$  üzerinden  $(\ell, s_I)$ 'in tüm kombinasyonlarını deneyerek  $\hat{\ell}$  ve  $\hat{s}_I$ 'nin kestirimini elde edecektir. Böylece önerilen sistemin eşvreli bileşeni için  $(\ell, s_I)$  parametrelerinin ML kestirimi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$(\hat{\ell}, \hat{s}_I) = \arg \min_{\substack{\ell \in \{1, 2, \dots, N_T\} \\ s_I \in \{+1, -1\}}} \left\{ \|\mathbf{y}_{i_\ell} - E_s s_I \mathbf{h}_\ell\|^2 \right\}, \quad (8)$$

burada  $\mathbf{h}_\ell$  vektörü  $(N_R \times 1)$  boyutlu olup  $\mathbf{H}$  kanal matrisinin  $\ell$ 'inci sütununu ifade etmektedir. Burada,  $\mathbf{H}$  matrisinin satırları alıcı anten indis bilgisini, sütunları ise verici anten indis bilgisini taşımaktadır.  $\mathbf{H}$  matrisi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} & \dots & h_{1,N_T} \\ h_{2,1} & h_{2,2} & \dots & h_{2,N_T} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N_R,1} & h_{N_R,2} & \dots & h_{N_R,N_T} \end{bmatrix} = [\mathbf{h}_1 \mathbf{h}_2 \dots \mathbf{h}_{N_T}]. \quad (9)$$

Ayrıca, CIM-SM sisteminin  $Q$  bileşeni için uygulanan ML kestiriminin karmaşıklığını azaltmak için  $I$  bileşeninde elde edilen  $\hat{\ell}$  kullanılmaktadır. Böylece  $Q$  bileşeninin ML kestirimi aşağıdaki gibi sadeleştirilebilir:

$$\hat{s}_Q = \arg \min_{s_Q \in \{+1, -1\}} \left\{ \|\mathbf{y}_{i_Q} - E_s s_Q \mathbf{h}_{\hat{\ell}}\|^2 \right\}. \quad (10)$$

Son olarak, elde edilen  $(\hat{i}_I, \hat{i}_Q, \hat{\ell}, \hat{s}_I, \hat{s}_Q)$  kestirim değerleri kullanılarak bit-geri eşleme ile iletilen bit dizisinin kestirimi olan  $\hat{\mathbf{b}}$ 'ya karar verilir.

### III. CIM-SM SİSTEMİNİN ÇIKTI, VERİ HIZI VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ ANALİZLERİ

Bu bölümde, önerilen CIM-SM tekniği ile SM, CIM-SS ve klasik DS-SS yöntemleri çıktı, enerji verimliliği ve veri hızı bakımından karşılaştırılacaktır.

#### A. Çıktı (Throughput) Analizi ve Veri İletim Hızı

Genel olarak, bir sistemin çıktısı, bir kullanıcının birim zamanda aldığı doğru bitlerin sayısı olarak tanımlanır. Bundan dolayı bir sistemin çıktısı aşağıdaki gibi tanımlanabilir [14]:

$$R_t = \frac{(1 - P_e)}{T_s} \left( \log_2(2M) + \log_2 N_T + \log_2(2L) \right), \quad (11)$$

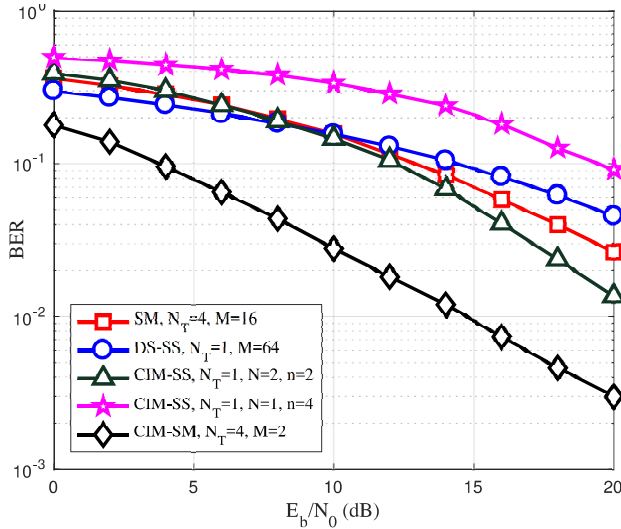
burada,  $M = 2$  olup modülasyon derecesini,  $T_s$  iletim zamanını ve  $P_e$  ise sistemin toplam bit hata olasılığını ifade etmektedir.  $(1 - P_e)$  ise  $T_s$  süresi boyunca doğru alınan bit olasılığını belirtmektedir. CIM-SM, SM, CIM-SS ve DS-SS sistemleri aynı  $T_s = K T_c$  simge süresine sahiptir. Bundan dolayı çıktı karşılaştırması adil bir şekilde yapılabilir. Aynı simge süresince,  $N_T = 4, M = 2$  ve  $L = 2$  olduğunda, SM tekniği 3 bit, CIM-SS tekniği 4 bit, SS-QAM işareti ise 1 bit iletirken CIM-SM sistemi 6 bit iletmektedir. CIM-SS sistemi, 2 biti  $I$ -bileşeninde 2 biti ise  $Q$ -bileşeninde taşımaktadır fakat önerilen CIM-SM tekniği ise 2 biti  $I$ -bileşeninde 2 biti ise  $Q$ -bileşeninde iletirken 2 biti de vericide etkin olan iletim anteninin indisinde yani uzaysal boyutta taşımaktadır. Böylece, CIM-SM sisteminde  $T_s$  simge süresi boyunca iletilen bit miktarı  $m = \log_2(2M) + \log_2 N_T + \log_2(2L)$ 'dir.

#### B. Enerji Verimliliği

CIM-SM sisteminde,  $\log_2(2M)$  bitin doğrudan modüleli simge üzerinden iletilmesiyle beraber  $\log_2(2L)$  bit Walsh Hadamard kodunun indisinde ve  $\log_2(N_T)$  bit ise SM sisteminde göre etkin edilmiş verici antenin indisinde taşınmaktadır. Bundan dolayı,  $m' = \log_2(2L) + \log_2(N_T)$  bitlik iletim enerjisi sistem tarafından harcanmayıp indislerde taşındığı için korunmaktadır. Örneğin,  $M = 4$  iken SS-QAM sistemi 2 bit taşıdığı için CIM-SS sistemi DS-SS sistemine göre toplam kullanılan enerjinin %50'sini korur. Ayrıca,  $N_T = 4, M = 2$  ve  $L = 2$  iken CIM-SM sistemi ise CIM-SS sistemine göre toplam enerjinin %33.3'ünü korur.

### IV. BİLGİSAYAR BENZETİMLERİ

Bu bölümde, önerilen CIM-SM sisteminin alıcıda ve vericide farklı sayıda antenlere sahip olduğu dikkate alınarak, benzetim sonuçları BPSK modülasyonu ve Rayleigh sönümlmeli kanallar için sunulmuştur. Alıcıda, iletilen simge ve



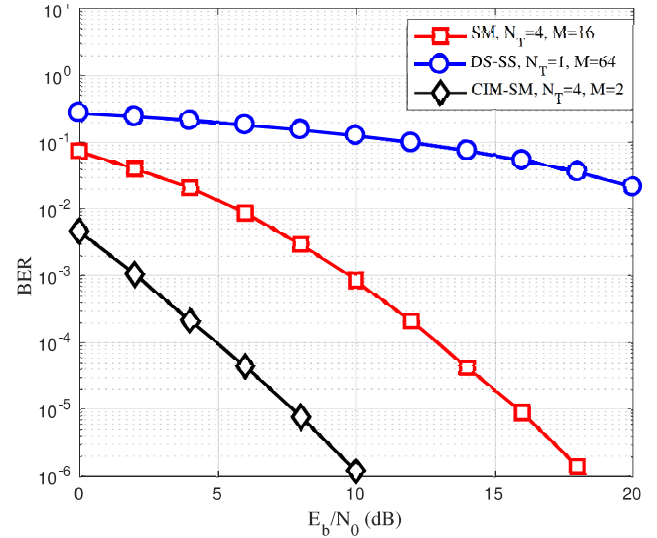
Şekil 2:  $N_R = 1$  için CIM-SM, SM, CIM-SS ve DS-SS yöntemlerinin BER başarımlarının karşılaştırılması.

indislerin kestirimi için ML tekniği kullanılmıştır. Ortalama BER başarımları, Monte Carlo simülasyon yöntemi ile elde edilmiştir.  $\text{SNR}(\text{dB}) = 10 \log_{10}(E_b/N_0)$  olup burada  $E_b = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^K \left( \frac{c_{i,k}}{\sqrt{K}} \right)^2$  ortalama bit enerjisidir.  $m$ , bir simgenin taşıdığı bit sayısı olup tüm benzetimler için  $m = 6$  bit'dir. Ayrıca, iletim enerjisinin sabit kalması için yayıcı kod  $\sqrt{K}$  ile normalize edilmiş olup  $K = 64$  seçilmiştir. Önerilen CIM-SM sistemin, başarımlarını karşılaştırmasında SM, CIM-SS [13] ve DS-SS yöntemleri referans olarak kullanılmıştır.

Şekil 2 ve 3'de sırasıyla  $N_R = 1$  ve  $N_R = 4$  olması durumunda CIM-SM, SM, CIM-SS ve DS-SS yöntemlerinin  $m = 6$  bit için BER başarımlarının eğrileri sunulmuştur. CIM-SM yöntemi, 6 bitin 2 bitini anten indisinde, 2 bitini yayıcı kod indisinde, 2 bitini de  $I$  ve  $Q$  bileşenleri aracılığıyla BPSK simgesi ile iletmektedir. SM yöntemi, 6 bitin 2 bitini anten indisinde, 4 bitini ise 16-PSK modüleli simgede taşımaktadır. CIM-SS yönteminde, iki durum göz önüne alınmış olup; ilk senaryoda ( $N = 2, n = 2$ ) 4 bit yayıcı kod indisinde 2 bit 4-PSK modülasyonunda, ikinci senaryoda ise ( $N = 1, n = 4$ ) 2 bit yayıcı kod indisinde 4 bit 16PSK modülasyonunda iletilmektedir. DS-SS yönteminde ise, 6 bitin tamamı 64-PSK modüleli simgede taşınmaktadır. Şekil 2'de, düşük BER değerlerinde CIM-SM yöntemi sırasıyla DS-SS, SM ve CIM-SS yöntemlerine göre yaklaşık olarak 12 dB, 10 dB, 16 dB ve 6 dB kazanca sahiptir. Şekil 2 ve Şekil 3 dikkate alındığında, önerilen yöntemin karşılaştırılan yöntemlere göre hatırı sayılır bir SNR kazancına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

## V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 5G haberleşme sistemleri için umut verici niteliklere sahip olan SM ve CIM teknikleri birleştirilerek, CIM-SM olarak adlandırılan yüksek enerji verimli, yüksek veri hızlı ve daha iyi hata başarımına sahip yeni bir MIMO iletim sistemi önerilmiştir. Önerilen sistemin; DS-SS, SM ve CIM-SS sistemlerine göre daha yüksek hızda veri iletimi gerçekleştirdiği, daha az iletim enerjisi harcadığı ve başarımının daha iyi olduğu gösterilmiştir.



Şekil 3:  $N_R = 4$  için CIM-SM, SM ve DS-SS yöntemlerinin BER başarımlarının karşılaştırılması.

## KAYNAKLAR

- [1] J. N. Laneman, D. N. C. Tse and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior," *IEEE Trans. on Inf. Theory*, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080, Dec. 2004.
- [2] G. J. Foschini, and M. J., Gans, "On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas," *Wireless Personal Commun.*, vol. 6, no. 3, pp. 311-335, Mar. 1998.
- [3] I. Emre Telatar, "Capacity of multi-antenna Gaussian channels," *Trans. Telecommun.*, vol. 10, no. 6, pp. 585-595., November 1999.
- [4] R. Y. Mesleh, H. Haas, C. W. Ahn and S. Yun, "Spatial modulation - A new low complexity spectral efficiency enhancing technique," *2006 First International Conference on Communications and Networking*, pp. 1-5, Beijing, China, 2006.
- [5] R. Y. Mesleh, H. Haas, S. Sinanovic, C. W. Ahn and S. Yun, "Spatial modulation," *Trans. Veh. Technol.*, vol. 57, no. 4, pp. 2228-2241, July 2008.
- [6] J. Jeganathan, A. Ghayeb, L. Szczecinski and A. Ceron, "Space shift keying modulation for MIMO channels," *Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 7, pp. 3692-3703, July 2009.
- [7] S. Sugiura, S. Chen and L. Hanzo, "Coherent and differential space-time shift keying: A dispersion matrix approach," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 58, no. 11, pp. 3219-3230, November 2010.
- [8] M. Di Renzo, H. Haas, A. Ghayeb, S. Sugiura and L. Hanzo, "Spatial modulation for generalized MIMO: Challenges, opportunities, and implementation," *Proc. IEEE*, vol. 102, no. 1, pp. 56-103, Jan. 2014.
- [9] E. Aydin and H. Ilhan, "A Novel SM-Based MIMO System With Index Modulation," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 20, no. 2, pp. 244-247, Dec. 2016.
- [10] E. Basar, M. Wen, R. Mesleh, M. Di Renzo, Y. Xiao, and H. Haas, "Index modulation techniques for next-generation wireless networks," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 16693-16746, Sep. 2017.
- [11] E. Basar, "Index modulation techniques for 5G wireless networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 7, pp. 168-175, Jul. 2016.
- [12] G. Kaddoum, M. F. A. Ahmed and Y. Nijssure, "Code index modulation: A high data rate and energy efficient communication system," *Commun. Lett.*, vol. 19, no. 2, pp. 175-178, Feb. 2015.
- [13] G. Kaddoum, Y. Nijssure and H. Tran, "Generalized code index modulation technique for high-data-rate communication systems," *Trans. Veh. Technol.*, vol. 65, no. 9, pp. 7000-7009, Sept. 2016.
- [14] D. Tse and P. Viswanath, "Fundamentals of wireless communication," *Cambridge university press*, 2005.