

## ***Mükemmel Olmayan Kanal Kestirimi Altında Uyarlanabilir Röle Seçim Performansı***

***Hasan KARTLAK<sup>1</sup>, Niyazi ODABAŞIOĞLU<sup>2</sup>, Aydın AKAN<sup>2</sup>***

### **Özet**

Bu çalışmada, mükemmel olmayan kanal kestirimi altında hem tek yönlü hem de iki yönlü işbirlikli haberleşme ağlarında hata başarım performansını arttırıcı düşük işlem karmaşıklıklı bir ortak çoklu röle seçimi ve güç optimizasyonu tekniği önerilmektedir. Önerilen tekniğin çoklu röle seçmede işlem karmaşıklığı, optimum çözüm olan en iyi rölelerin seçilmesi tekniğine oranla oldukça düşüktür. Üstelik, röle seçimi eşik işaret/gürültü oranına ulaşınca kadar yinelemeli yapıldığından, her bir yinelemede güç optimizasyonu da yapılabilmektedir. Böylece, mümkün olduğu kadar az sayıda röle ve dolayısıyla düşük güç tüketimi ile iyi bir hata başarımı elde edilebilmektedir. Bu çalışmanın temel katkısı, mükemmel olmayan kanal kestirimi altında hem tek yönlü hem de iki yönlü işbirliği ağlarında çoklu röle seçiminin literatürde benzer yöntemlere göre daha düşük bir maliyetle hesaplanabilmesidir.

***Anahtar Kelimeler:*** *işbirlikli haberleşme, çoklu röle seçimi, güç optimizasyonu, iki yönlü işbirlikli ağlar, en iyi röle seçimi*

<sup>1</sup> Elektrik Programı, Akseki Meslek Yüksekokulu, Akdeniz Üniversitesi

<sup>2</sup> Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi  
hasank@akdeniz.edu.tr, {niyazio, akan}@istanbul.edu.tr

## **Performance of Adaptive Relay Selection Under Imperfect Channel Estimation**

### **Abstract**

In this paper, we propose a joint multi-relay selection and power optimization technique under imperfect channel estimation with low computational complexity to improve the error performance of both single-way and two-way cooperative communication networks. Proposed method has a reduced computational load for the multiple relay selection problem compared to the optimum solution which is based on selecting the "best" relays. Moreover, since the relay selection is performed iteratively until a threshold SNR is reached, power optimization is also achieved at every iteration. Hence, we attain an improved error performance using the least possible number of relays, and as such low power consumption. The main contribution of this study is that the multi-relay selection in both single-way and two-way cooperative networks is achieved under imperfect channel estimation with a lower computational cost than the similar methods in the literature.

**Keywords:** *cooperative communication, multi-relay selection, power optimization, two-way cooperative networks, best-relay selection*

### **1. GİRİŞ**

İşbirlikli haberleşme ağlarında terminaller bilgi gönderirken ağda bulunan diğer terminalleri aktarıcı röle olarak kullanarak çeşitleme kazancı sağlamaktadır [1, 2]. İşbirlikli haberleşme ağları ile terminallerde çoklu anten kullanımına gerek kalmaz. Böylece uzamsal çeşitleme kazancı sağlanmış olur ve bunun sonucu olarak da direk haberleşmeye göre bağlantı güvenliği, spektral verimlilik ve iletim hızı üstünlüğü sağlanmaktadır. Bütün bu avantajlarından dolayı son yıllarda işbirlikli haberleşme alanında çalışmalar oldukça artmıştır.

İşbirlikli haberleşme ağlarında güç sınırlıdır ve ağ içinde hangi terminal veya terminallerin röle olarak kullanılacağı ve toplam gücün kaynak ve

röle(ler) arasında nasıl paylaşılacağıın belirlenmesi oldukça kritik bir sorundur. Bu yüzden röle seçimi ve güç optimizasyonu konusunda çeşitli araştırmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Bu amaçla öncü sayılabilecek bir çalışma Bletsas ve ark. tarafından [3]'de yapılmış ve röle seçiminin performansın artmasına etkisi gösterilmiştir. Bu öncü çalışmadan sonra röle seçimi üzerine çalışmalar yoğunlaşmış ve farklı röle seçim yöntemleri ortaya atılmıştır [4]-[7]. Bu çalışmaların hepsi de tek röle seçimi üzerine yapılmış çalışmalardır. Tek röle kullanımı ise bazı durumlarda iyi bir hata başarımı için yeterli olamamaktadır. Literatürde konuyla ilgili tek röle seçimi yerine mevcut tüm rölelerin kullanılmasına yönelik çalışmalar da mevcuttur. Fakat bu yaklaşımda da artan röle sayısının sistemin band verimi üzerine olumsuz etki oluşturması kaçınılmazdır. Hata başarım performansı - band verimi arasında iyi bir ödünleşim oluşturmak için en iyi yöntem ise çoğu zaman tek veya tüm röle kullanımı yerine çoklu röle kullanımımızdır [8].

Çoklu röle kullanımında ise tek röle kullanımına göre röle seçim problemi daha karmaşık bir hal almaktadır. Şu ana kadar bu konuda yapılmış çalışma ise oldukça kısıtlıdır [8]-[10]. [8]'de çoklu röle seçimi için optimum çözüm önerilmesine rağmen röle sayısının artmasıyla işlem karmaşıklığı üssel olarak artmaktadır. Özellikle çok yüksek sayıda kullanıcıya sahip ağlarda bu yöntemin kullanılması oldukça zor görünmektedir. Buna bir çözüm olarak eşik temelli bir çoklu röle seçim yöntemi [9]'da önerilmiştir. Fakat bu çalışmada da mevcut gücün terminaller arasında eşit paylaşımı varsayılmakta, gücün optimum kullanılamamasından dolayı da daha çok röle seçilmekte ve dolayısıyla daha çok güç harcanmaktadır.

[14]'de ise işaret-gürültü oranı (Signal-to-Noise Ratio, SNR) eşik tabanlı ve düşük karmaşıklıkli ortak çoklu röle seçimi ve güç optimizasyonu yöntemi önerilmiştir. Röle seçimi eşik SNR değerine ulaşmaya kadar uyarlamalı olarak yapılmakta, ayrıca herbir röle seçim adımında seçilen röle sayısı ve seçilen röle kanallarına ait anlık çıkış SNR'ları göz önünde

bulundurularak mevcut gücün kaynak ve röleler arasında optimum dağıtılması sağlanmaktadır.

Çift-yönlü işbirlikli haberleşme olarak da bilinen iki-yönlü işbirlikli haberleşme [15, 16], kablosuz haberleşme ağları için etkili bir haberleşme tekniği olarak sunulmaktadır. Bu nedenle son yıllarda ki çalışmalar da bu yeni haberleşme tekniğine olan ilgili artmaktadır. İki-yönlü işbirlikli haberleşme iletişiminde ağdaki her iki kaynakta mesajların karşılıklı iletimi için ağdaki uygun terminalleri röle olarak kullanmaktadır. Böylece uzamsal çeşitleme kazancı çoklu anten kullanımına gerek kalmadan sağlanmış olur ve bunun sonucu olarak da direk haberleşmeye göre bağlantı güvenliği, spektral verimlilik ve iletim hızı üstünlüğü sağlanır. Bu avantajlarından dolayı son yıllarda iki-yönlü işbirlikli haberleşme tekniği ile ilgi çalışmalar artmaktadır.

Fakat iki-yönlü işbirlikli ağlarda röle seçimi üzerine yapılmış çok az sayıda çalışma vardır. [19]'da iki-yönlü işbirlikli iletişim ağları için bir röle seçim tekniği sunulmuştur. Bahsedilen yöntem tek-yönlü işbirlikli ağlarda en iyi röle seçim yaklaşımının genişletilmiş bir kullanım tekniği olarak görülebilir. En iyi röle seçim tekniğinde kaynaklar ağdaki terminallerden her iki yön içinde ayrı ayrı en iyi sinyal gürültü oranına sahip bir röleyi seçmektedir. Daha sonra seçilen rölelerden yüksek işaret gürültü oranına sahip röle üzerinden kaynak diğer kaynağa iletim yapar. Bazı durumlarda tek röle kullanmak iyi bir hata başarımı elde edebilmek için yeterli olamamaktadır. Tek röle kullanımına göre çoklu röle kullanımında röle seçim problemi daha karmaşık bir hal alır.

[14]'de tek yönlü işbirlikli haberleşme ağları için önerilen yöntem [17]'de iki-yönlü işbirlikli haberleşme ağları için de geliştirilmiş ve iki-yönlü işbirlikli haberleşme ağları için bir birleşik çoklu röle seçimi ve güç optimizasyon yapısı sunulmuştur. Bu yöntem eşik SNR tabanlı bir yapıya sahiptir. En iyi röle seçimi kullanan yöntemlerle karşılaştırıldığında daha düşük hesaplama karmaşıklığına sahip bir yöntemdir. Röle seçimi her iki kaynak içinde belirlenen bir eşik SNR

değerine kadar uyarlamalı olarak gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda her bir röle seçim aşamasında güç kanallardaki anlık SNRlar ve seçilen röle sayıları da dikkate alınarak kaynaklar ve röleler arasında optimum şekilde dağıtılmaktadır. Bu yaklaşım iki-yönlü haberleşme ağlarındaki birçok potansiyel röle adayları ile düşük hesaplama karmaşıklığı sağlayan bir çoklu röle seçim yapısı sunmaktadır. Aynı zamanda her bir adımda güç optimizasyonu yapılması daha az röle sayısı ile daha iyi bir hata başarımı elde edilmesini sağlamaktadır.

Yukarıda anlatılan çalışmaların hepsi mükemmel kanal durum bilgisinin var olduğu durumlar altında kanal bilgisinin alıcı durumundaki terminal tarafından bilindiği kabul edilen ideal şartlar düşünülerek gerçekleştirilmiştir. Fakat kanal katsayılarının öncelikle tahmin edilmesi ve daha sonra da belirlenmesi gerekmektedir. Kanal katsayılarının kestirilmesi ise tüm haberleşme iletiminin performansını etkileyecektir. Dolayısıyla röle seçimini de sınırlayacak bir etki oluşturacaktır.

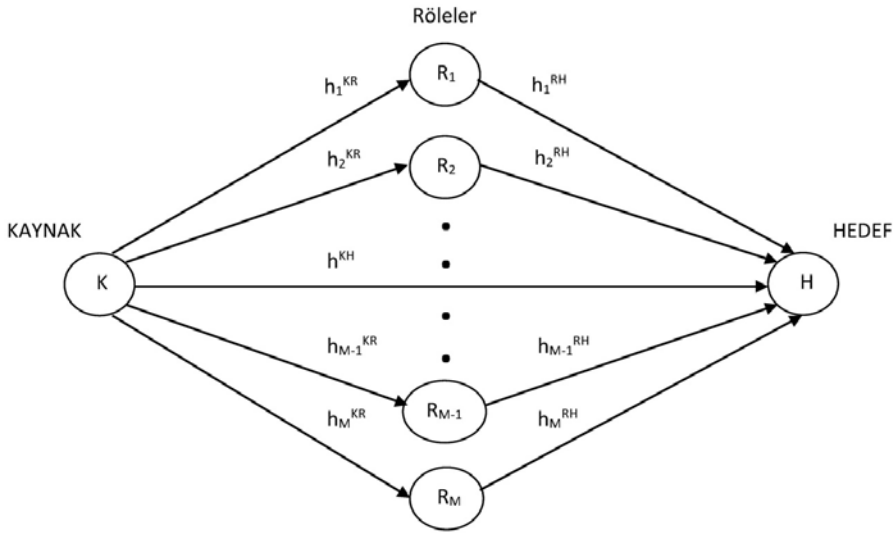
Bu çalışmada [18]'de sunulan düşük karmaşıklıkta bir doğrusal en küçük ortalama kareler hata kestirimi yaklaşımı ( linear minimum mean squared error estimation – LMMSE ) kullanarak [14] ve [17]'de bahsedilen yöntemlerin hata başarımları mükemmel olmayan kanal kestirimi altında hesaplanmış ve önerilen sistemlerle mükemmel olmayan kanal kestirimi altında daha az röle kullanımıyla daha iyi bir hata başarımlarının elde edilebildiği görülmüş, buna ilişkin sonuçlar bilgisayar benzetimleri yardımıyla gösterilmiştir.

Çalışmanın geri kalanında sistem yapısı ikinci bölümde açıklanmış, önerilen yöntem ise üçüncü bölümde verilmiştir. Dördüncü bölüm simülasyon sonuçlarına ayrılmış, beşinci bölümde ise sonuçlara yer verilmiştir.

## 2. SİSTEM YAPISI

### 2.1. Tek-Yönlü İşbirlikli Haberleşme Yapısı

Bu çalışmada Şekil 1'de görüldüğü gibi olası  $M$  röle içinden  $N$  adet rölenin seçilerek kaynak terminale iletimde eşlik ettiği bir kuvvetlendir-ve-aktar tipi işbirlikli haberleşme sistemi gözönünde bulundurulmaktadır. Kaynak (K), Röleler ( $R_1, R_2, \dots, R_M$ ) ve Hedef (H) terminallerinin hepsinin yalnızca bir verici ve bir alıcı antene sahip olduğu varsayılmıştır. İşbirliği protokolü olarak ise ilk olarak [12]'de önerilen "alıcı çeşitlemesi protokolü" gözönüne alınmıştır. Söz konusu bu protokolde birinci evrede kaynak iletmek istediği bilgiyi hem rölelere hem de hedefe gönderir. İkinci evrede ise kaynak sessiz kalır ve sadece röleler kaynaktan aldığı bilgiyi kuvvetlendirerek hedefe iletirler.



Şekil 1 : Tek-yönlü çok röleli işbirlikli haberleşme yapısı.

İlk evrede kaynaktan  $k$  anında gönderilen işaret  $s$  olmak üzere  $i$ . rölede ve hedefte alınan işaretler sırasıyla;

$$r_i^{KR} = \sqrt{E_i^{KR}} h_i^{KR} s + n_i^{KR} \quad (1)$$

$$r^{KH} = \sqrt{E^{KH}} h^{KH} s + n^{KH} \quad (2)$$

şeklinde gösterilebilir. Burada  $i = 1, 2, \dots, N$  seçilen röle sayısını göstermektedir.  $\sqrt{E_i^{KR}}$  ve  $\sqrt{E^{KH}}$  söz konusu kanallardaki yol kayıpları ve gölgeleme etkilerini içerecek şekilde sırasıyla röle ve hedefteki işaret enerjilerini göstermektedir.  $h_i^{KR}$  ve  $h^{KH}$  sırasıyla  $K \rightarrow R_i$  ve  $K \rightarrow H$  kanalları için kompleks Gauss sönümlenme katsayılarını,  $n_i^{KR}$  ve  $n^{KH}$  ise sıfır ortalamalı boyut başına  $N_0/2$  varyanslı kompleks Gauss gürültüsünü belirtmek için kullanılmıştır.

Her bir röle kendisine ulaşan işareti  $\sqrt{E \left[ |r_i^{KR}|^2 \right]}$  terimi ile normalize

ettikten sonra hedef alıcıya gönderir.

İkinci evrede hedef alıcıdaki işaret ise;

$$r_i^{RH} = \sqrt{E_i^{RH}} h_i^{RH} \frac{r_i^{KR}}{\sqrt{E \left[ |r_i^{KR}|^2 \right]}} + n_i^{RH} \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada,  $\sqrt{E_i^{RH}}$   $R_i \rightarrow H$  kanalındaki yol kaybı ve gölgeleme etkileri göz önünde bulundurularak hedefte alınan işaretin enerjisini,  $h_i^{RH}$  aynı kanala ilişkin kompleks sönümlenme katsayılarını,  $n_i^{RH}$  ise sıfır ortalamalı ve boyut başına  $N_0/2$  varyanslı kompleks Gauss gürültüsünü göstermektedir.

$r$  alınan işaret vektörü ve  $s$  iletilen veriden  $h_i^{KR}$ ,  $h_i^{RH}$  ve  $h^{KH}$  kanal katsayılarının alıcı tarafından kestiriminde [18]'de sunulan düşük hesaplama karmaşıklığına sahip LMMSE kullanılmıştır. LMMSE kestirimcisi [18]:

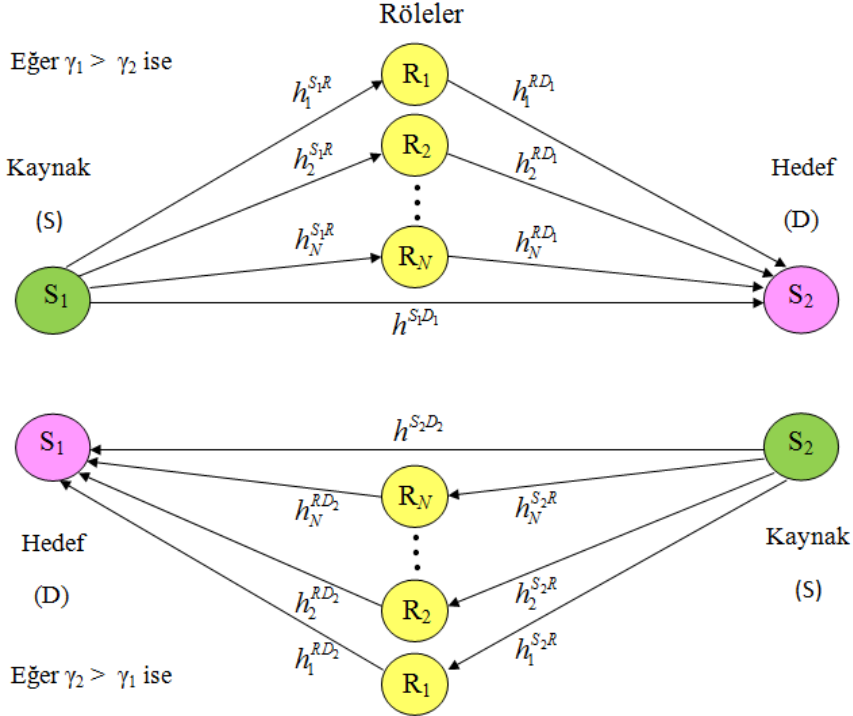
$$\hat{h} = R_{hh} \left( R_{hh} + \sigma_n^2 (ss^H)^{-1} \right)^{-1} \hat{h}_s \quad (4)$$

burada  $\hat{h}_s = s^{-1}r$ ,  $R_{hh} = E \{ hh^H \}$ ,  $\sigma_n^2$  ise kanalın gürültü varyansıdır.  $(.)^H$

Hermitian transpozunu ifade etmektedir.

## 2.2. İki-Yönlü İşbirlikli Haberleşme Yapısı

İki-yönlü işbirlikli iletişim yapısında Şekil 2'de görüldüğü gibi iki kaynak/hedef terminalleri ve M röle terminallerinden oluşan bir iki-yönlü kuvvetlendirir ve aktar (AF) işbirlikli iletişim ağı göz önünde bulundurulmuştur. Amaç iki kaynaktan hangisinin iletim yapacağını belirlenmesi ve seçilen kaynak için mevcut M adet röleden N adet rölenin belirli bir eşik SNR yardımıyla belirlenmesini sağlamaktır. Kaynak/Hedef terminaller ( $S_1/D_2$ ,  $S_2/D_1$ ) ve röle ( $R_1, R_2, \dots, R_M$ ) terminallerinin hepsinin yalnızca bir verici ve bir alıcı antene sahip olduğu varsayılmıştır.



Şekil 2: İki-yönlü çok röleli işbirlikli haberleşme yapısı.



### 3. ORTAK ÇOKLU RÖLE SEÇİMİ VE GÜÇ OPTİMİZASYONU

#### 3.1. Tek-Yönlü İşbirlikli Haberleşme için Röle Seçimi

Bu bölümde kullanılan ortak röle seçimi ve güç optimizasyonu yöntemi incelenecektir. Alıcıda bir eşik SNR değeri belirlenmesi ve alıcı tarafından alınan sinyallerin birleşik anlık çıkış SNR değerinin belirlenen eşik SNR değerine ulaşmaya kadar sisteme rastgele yeni bir röle daha eklenmesi; her bir röle ekleme aşamasında da sisteme dahil olan yeni röle sayısına göre toplam gücün kaynak ve röleler arasında en optimum olarak hangi oranlarda kullanılacağını belirlemek esasına dayanan bir yapı tasarlanmıştır. Her ne kadar [10]'da önerilen yöntem de sisteme eşik SNR değerine ulaşana kadar rastgele yeni röle ekleme mantığıyla oluşturulmuş olsa da, her bir röle ekleme adımında güç optimizasyonu yapılmadığı için bu çalışmada tasarlanan yapıya göre aynı eşik SNR değerine ulaşmak için sisteme daha çok röle eklenmesini gerektirmekte ve dolayısıyla daha çok güç tüketimine neden olmaktadır.

Bu çalışmada tasarlanan yöntemde öncelikle ağa dahil terminallerden biri tamamen rastgele ilk röle ( $R_1$ ) olarak seçilir. Kaynaktan hedefe  $\gamma_i^{SD}$ , kaynaktan röleye  $\gamma_i^{SR}$  ve röleden hedefe  $\gamma_i^{RD}$  anlık SNR değerleri kullanılarak alıcıda birleştirilen sinyalin SNR değeri (5) eşitliğinde verildiği şekilde oluşturulur [10, 13].

$$\gamma = \gamma_i^{SD} + \sum_{i=1}^M \frac{\gamma_i^{SR} \gamma_i^{RD}}{(\gamma_i^{SR} + \gamma_i^{RD} + 1)} \quad (5)$$

Burada,  $\gamma_i^{SD} = \frac{k_0 P_T |h_i^{SD}|^2}{N_0}$ ,  $\gamma_i^{SR} = \frac{k_0 P_T |h_i^{SR}|^2}{N_0}$  ve  $\gamma_i^{RD} = \frac{k_i P_T |h_i^{RD}|^2}{N_0}$  şeklindedir.

$P_T$  iletim yapılırken tüm terminallerin kullanacağı toplam gücü,  $k_0$  ve  $k_i$  değerleri ise sırasıyla kaynak ve  $i$ . rölede toplam gücün hangi oranda kullanılacağını belirten optimizasyon katsayılarını göstermektedir.

Toplam güç harcaması, alıcıda alınan sinyal için birleştirilmiş anlık çıkış SNR ifadesini en büyükleleyen katsayılar elde edilerek optimize edilmiştir.  $\gamma(\cdot)$  fonksiyonunu en büyükleleyen katsayıları elde edebilmek için, Lagrange koşullu en iyileme fonksiyonu aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

(6) eşitliğinde  $f(\cdot)$  amaç fonksiyonunu  $h(\cdot)$  ise koşul fonksiyonunu göstermektedir:

$$\min_{k_i} l(k_i, \lambda) = f(k_i) + \lambda h(k_i) \quad (6)$$

öyle ki  $h(k_0, \dots, k_N) = k_0 + \dots + k_N = 1$ .

$0 \leq k_i \leq 1, \forall i$ . Buradan elde edilen optimum güç dağılım katsayıları kullanılarak alıcıda alınan ve birleştirilen sinyalin anlık çıkış SNR değeri hesaplanmakta ve eşik SNR ( $\gamma_e$ ) değeri ile karşılaştırılarak seçilen ilk rölenin yeterli olup olmadığı test edilmektedir. Hesaplanan birleşik SNR değeri ( $\gamma$ ) eşik SNR değerine ( $\gamma_e$ ) eşit veya daha büyükse, seçilen tek röle yeterli olduğundan röle seçim işlemi sonlandırılmakta ve seçilen rölenin yardımıyla ve bulunan optimum güç dağılım katsayıları kullanılarak iletim gerçekleştirilmektedir. Eğer hesaplanan SNR değeri ( $\gamma$ ) eşik SNR değerinin ( $\gamma_e$ ) altında bir değere sahip bulunursa, sisteme rastgele seçilen bir röle daha eklenmekte, oluşan yeni sistemin birleştirilmiş SNR maliyet fonksiyonu tekrar oluşturularak mevcut röle sayısına göre optimum güç dağılım katsayıları tekrar elde edilmekte ve sistemin birleşik anlık çıkış SNR değeri yeniden hesaplanmaktadır. Birleşik anlık çıkış SNR değeri, eşik SNR değeri ile tekrar karşılaştırılmakta ve hesaplanan bu birleşik anlık çıkış SNR değeri ( $\gamma$ ), belirlenen eşik SNR değerine ( $\gamma_e$ ) ulaşana kadar sisteme rastgele yeni röle eklenmeye devam edilmektedir.

### 3.2. İki-Yönlü İşbirlikli Haberleşme için Röle Seçimi

Bu bölümde iki-yönlü röle ağında kullanılan ortak çoklu-röle seçimi ve güç optimizasyonu yöntemi incelenecektir. Bu yöntemde her iki kaynak için alıcıda bir eşik SNR değeri belirlenir ve her iki kaynaktan biri alıcı olarak aldığı sinyallerin birleşik anlık çıkış SNR değerinin belirlenen eşik SNR değerine ulaşmaya kadar sisteme rastgele yeni bir röle daha eklenir. Her bir röle ekleme aşamasında da sisteme dahil olan yeni röle sayısına göre toplam gücün kaynak ve röleler arasında en optimum olarak hangi oranlarda kullanılacağı bir güç optimizasyon işlemi ile belirlenir.

Tasarlanan yapının akışı aşağıdaki gibidir:

1. Her iki yön içinde ağda bulunan uygun rölelerden rastgele herhangi bir röle ilk röle ( $R_1$ ) olarak seçilir.
2. Kaynaktan hedefe  $\gamma_i^{SD}$ , kaynaktan röleye  $\gamma_i^{SR}$  ve röleden hedefe  $\gamma_i^{RD}$  anlık SNR değerleri kullanılarak alıcıda birleştirilen sinyalin SNR değeri (7) ve (8) eşitliğinde verildiği şekilde her iki yön içinde hesaplanır [10, 13].

$$\gamma_1 = \gamma_i^{S_2D_2} + \sum_{i=1}^N \frac{\gamma_i^{S_2R} \gamma_i^{RD_2}}{(\gamma_i^{S_2R} + \gamma_i^{RD_2} + 1)} \quad (7)$$

$$\gamma_2 = \gamma_i^{S_2D_2} + \sum_{i=1}^N \frac{\gamma_i^{S_2R} \gamma_i^{RD_2}}{(\gamma_i^{S_2R} + \gamma_i^{RD_2} + 1)} \quad (8)$$

Burada, birinci yön için SNR değerleri  $\gamma_i^{S_2D_2} = \frac{k_0 P_T |h_i^{S_2D_2}|^2}{N_0}$ ,  $\gamma_i^{S_2R} = \frac{k_0 P_T |h_i^{S_2R}|^2}{N_0}$  ve  $\gamma_i^{RD_2} = \frac{k_i P_T |h_i^{RD_2}|^2}{N_0}$  olarak belirlenir, ikinci yön içinde benzer şekilde elde edilir.  $P_T$  iletim yapılırken tüm terminallerin kullanacağı toplam gücü,  $k_0$  ve  $k_i$  değerleri ise sırasıyla seçilen kaynak ve  $i$ . rölede toplam gücün hangi oranda kullanılacağını belirten optimizasyon katsayılarını göstermektedir.

3. Her iki yön için toplam güç harcaması, alıcıda alınan sinyal için birleştirilmiş anlık çıkış SNR ifadesini en büyükleyen katsayılar elde edilerek optimize edilmiştir. Birinci yön için  $\gamma_1$  ve  $\gamma_2$  fonksiyonunu en büyükleyen katsayıları elde edebilmek için, Lagrange koşullu en iyileme fonksiyonu aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$\max_{k_i} L(k_i, \lambda) = \gamma_i(k_i) + \lambda h(k_i) \quad (9)$$

öyle ki  $h(k_0, \dots, k_N) = k_0 + \dots + k_N = 1$ .

$0 \leq k_i \leq 1$ ,  $\forall i$  ve  $j = 1, 2$ . (2.11) eşitliğinde  $\gamma_j(k_i)$  amaç fonksiyonunu (birinci yön için  $j = 1$  ve ters yön için  $j = 2$ ) ve  $\mu(k_i)$  ise koşul fonksiyonunu göstermektedir.

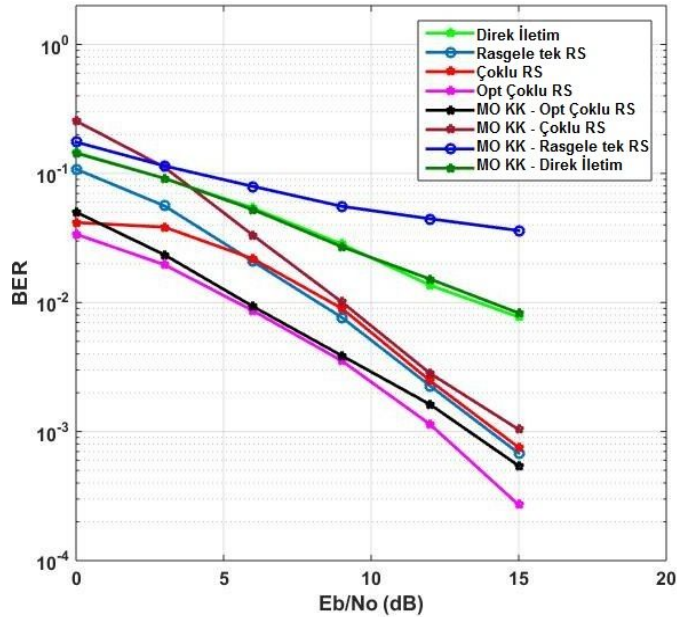
4. Buradan elde edilen optimum güç dağılım katsayıları kullanılarak her iki alıcıda alınan ve birleştirilen sinyalin anlık çıkış SNR değeri hesaplanmakta ve eşik SNR ( $\gamma_e$ ) değeri ile karşılaştırılarak seçilen ilk rölenin yeterli olup olmadığı test edilmektedir. Herhangi bir kaynak için hesaplanan birleşik SNR değeri ( $\gamma_1$  veya  $\gamma_2$ ) eşik SNR değerine ( $\gamma_e$ ) eşit veya daha büyükse, eşik SNR değerine ulaşan taraf kaynak olarak belirlenmekte, seçilen tek röle yeterli olduğundan röle seçim işlemi sonlandırılmakta ve seçilen rölenin yardımıyla ve bulunan optimum güç dağılım katsayıları kullanılarak bu kaynaktan hedefe iletim gerçekleştirilmektedir.
5. Eğer her iki kaynak içinde hesaplanan SNR değeri ( $\gamma_1$  veya  $\gamma_2$ ) eşik SNR değerinin ( $\gamma_e$ ) altında bir değere sahip bulunursa, sisteme rastgele seçilen bir röle daha eklenmekte, oluşan yeni sistemin birleştirilmiş SNR maliyet fonksiyonu her iki yön içinde tekrar oluşturularak mevcut röle sayısına göre optimum güç dağılım katsayıları tekrar elde edilmekte ve sistemin birleşik anlık çıkış SNR değeri yeniden hesaplanmaktadır. Birleşik anlık çıkış SNR değeri, eşik SNR değeri ile tekrar karşılaştırılmakta ve hesaplanan bu birleşik anlık çıkış SNR değeri ( $\gamma_1$  veya  $\gamma_2$ ), kaynaklardan herhangi biri için belirlenen eşik SNR değerine ( $\gamma_e$ ) ulaşana kadar sisteme rastgele yeni röle eklenmeye devam edilmektedir.

#### **4. Benzetim Sonuçları**

Bu bölümde bahsedilen yapı bilgisayar yardımıyla Monte-Carlo benzetimleri ile test edilmiştir. Benzetimlerde çerçeve uzunluğu 130 sembol olarak alınmış, bir çerçeve boyunca kanal sönümlenme katsayılarının değişmediği varsayılmıştır. Ayrıca her iki yön içinde

Kaynak-Hedef, Kaynak-Röleler ve Röleler-Hedef arasındaki tüm kanalların Rayleigh sönümlmeli kanallar olduğu varsayılmış ve sembollerin QPSK modülasyonu ile modüle edilerek gönderildiği düşünülmüştür. Bu varsayımlar altında sistemin başarımını incelemek için hata başarım eğrileri ve seçilen ortalama röle sayısı eğrileri hem mükemmel hem de mükemmel olmayan kanal kestirimi (MO KK) altında çıkarılmıştır.

Tek-yönlü işbirlikli iletişim için Şekil 3’de eşik SNR değerinin  $\gamma_e = 9\text{dB}$  olarak belirlendiği durumda sistemin optimum çoklu röle seçimi (Opt Çoklu RS) için hata başarım performansı gösterilmektedir. Karşılaştırma amacıyla aynı şeklin içine öncelikle rölesiz yani direk iletim sistemin hata başarım eğrisi ve tekli röle seçiminin hata başarım eğrisi ve son olarak da [10]’da önerilen şekilde, güç optimizasyonu yapılmadan çoklu röle seçim yönteminin (Çoklu RS) hata başarım eğrileri de yerleştirilmiştir.



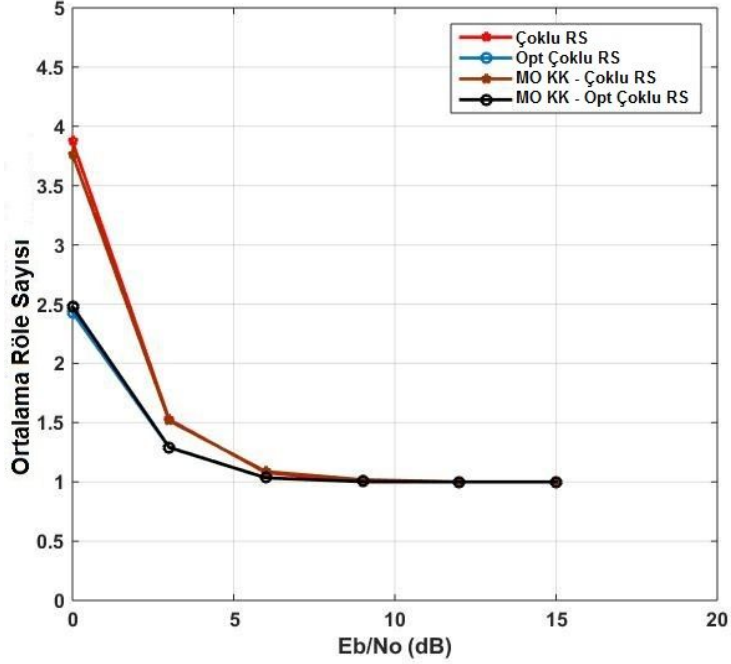
**Şekil 3:** Tek-yönlü işbirlikli haberleşmede  $\gamma_e = 9\text{dB}$  için hata başarım eğrileri.

Şekilden de açıkça görüldüğü gibi önerilen yöntem yukarıda bahsedilen şartlar altında [10]'da önerilen çoklu röle seçim yöntemine göre daha üstün bir hata başarımına sahiptir. Güç kazancı olarak bakıldığında değişik hata oranları için [10]'a göre 2-3dB kazanç sağlamaktadır.

Artan Bit-Başına-Enerji/Gürültü ( $E_b/N_0$ ) ile seçilen röle sayısı azaldığından [10]'da önerilen yöntem hata başarımı açısından tekli röle seçimine yakınsarken önerilen sistemde güç optimizasyonu yapıldığından seçilen röle sayısının azalmasına rağmen tekli röle seçimine göre kazanç halen devam etmektedir.

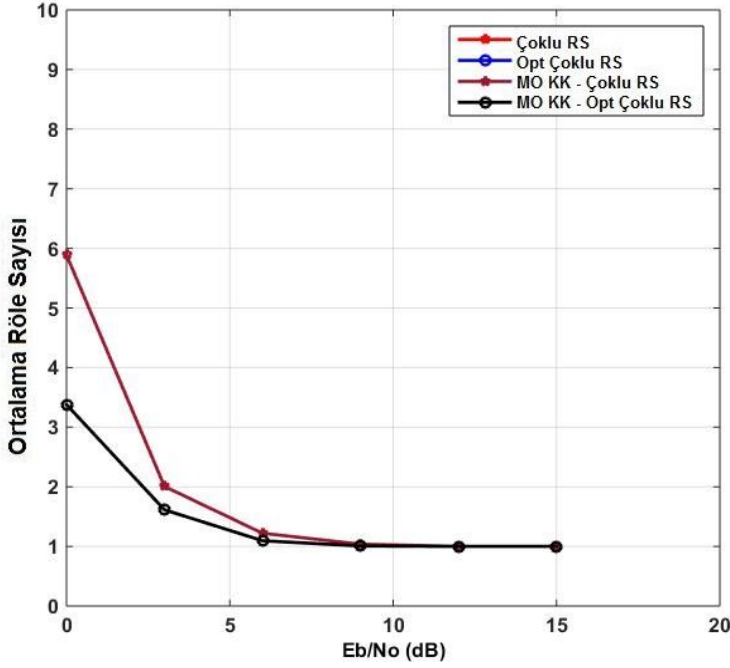
MO KK altında direk iletimde fazla bir değişiklik gözlenmezken, rasgele tek röle seçiminin performansında ciddi bir düşüş, çoklu röle seçiminde ise düşük SNR değerleri için belirgin düşüşler olduğu görülmüştür. Buna rağmen güç optimizasyonunun yapıldığı çoklu röle seçimi durumunda ise MO KK etkisi çok fazla değildir. Buradan güç optimizasyonlu çoklu röle seçim yapısının MO KK altında da çok iyi bir başarımla elde edebildiği görülmüştür.

Tek-yönlü işbirlikli iletişim için Şekil 4'de ve Şekil 5'de ise sırasıyla 9dB ve 12dB eşik SNR değerleri için seçilen ortalama röle sayıları görülmektedir. Röle seçimi her bir çerçeve için yeniden yapıldığından şekillerde görülen eğriler ortalama sayıları vermektedir. Bu şekillere de yine önerilen yöntemin seçilen ortalama röle sayısı açısından karşılaştırılabilirliği için [10]'da önerilen yöntemde seçilen ortalama röle sayısı eğrileri eklenmiştir. İki şekilden de önerilen sistemle seçilen ortalama röle sayısının önemli oranda azaltıldığı görülmektedir. Seçilen röle sayısının mümkün olduğunca azaltılabilmesi sistemin verimi açısından oldukça önemlidir. Çünkü daha az röle ile eşik SNR'a ulaşılabilmesiyle toplam harcanan güç azaltılmakta, dahası daha az röle seçim adımı uygulanacağından işlem karmaşıklığı da en azda tutulabilmektedir.



**Şekil 4:** Tek-yönlü işbirlikli haberleşmede  $\gamma_e= 9\text{dB}$  için seçilen ortalama röle sayıları.

Şekillerden çıkan diğer bir sonuçta eşik SNR değeri arttıkça önerilen yöntemin seçilen ortalama röle sayısı açısından daha avantajlı hale geldiğidir. MO KK altında düşük SNR değerlerinde seçilen ortalama röle sayılarındaki artışlar 9 dB eşik SNR değeri için şekil 4’de rahatlıkla görülebilirken, 12 dB eşik SNR değeri için ise etkinin kaybolduğu şekil 5’den görülmektedir. Buda yüksek eşik SNR değerlerinde MO KK etkisinin ortalama seçilen röle sayısını değiştirmedini göstermektedir.



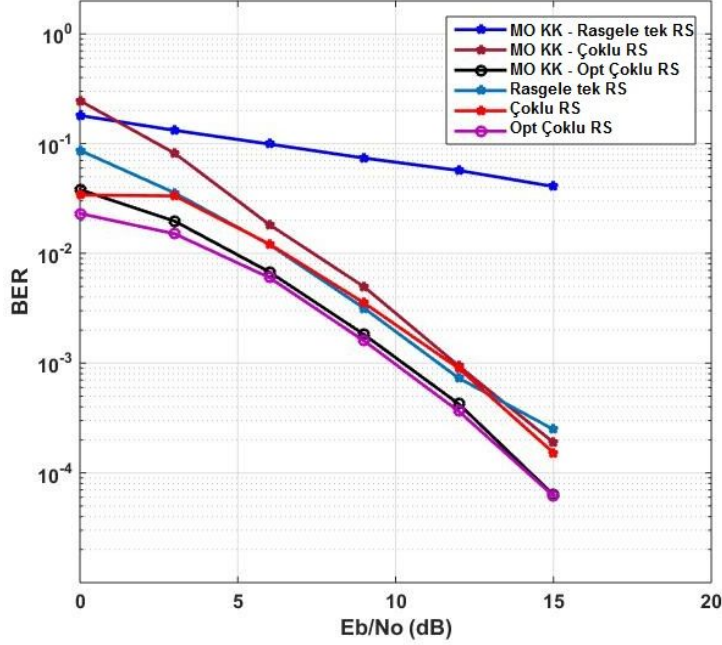
Şekil 5: Tek-yönlü işbirlikli haberleşmede  $\gamma_e=12$ dB için seçilen ortalama röle sayıları.

İki-yönlü işbirlikli iletişim için Şekil 6’da eşik SNR değerinin  $\gamma_e=9$ dB olarak belirlendiği durumda sistemin hata başarımı hem güç optimizasyonu yapılmamış hem de güç optimizasyonu yapılmış olarak gösterilmiştir. Aynı zamanda karşılaştırma amacıyla aynı şeklin içine iki-yönlü işbirlikli iletişim sisteminde tekli röle seçiminin hata başarımlarını da yerleştirilmiştir.

Şekilden de açıkça görüldüğü gibi tasarlanan yapının karmaşıklığı arttırmadan tek röle seçim yönteminin hata başarımından daha iyi bir hata başarımı sunduğu görülmektedir. Güç kazancı olarak bakıldığında değişik hata oranları için tasarlanan yapı 2dB kazanç sağlamaktadır. Güç optimizasyonunun yapılmadığı durum için düşük SNR değerlerinde çoklu röle seçim yönteminin kullanılması sebebiyle iyi bir hata başarımı elde edilebildiği görülmektedir. Yüksek SNR değerleri için ise tek bir



röle eşik SNR değerine ulaşması için yeterli olmakta ve tek röle seçim yöntemi ile aynı hata başarımı ile sonuçlanmaktadır.

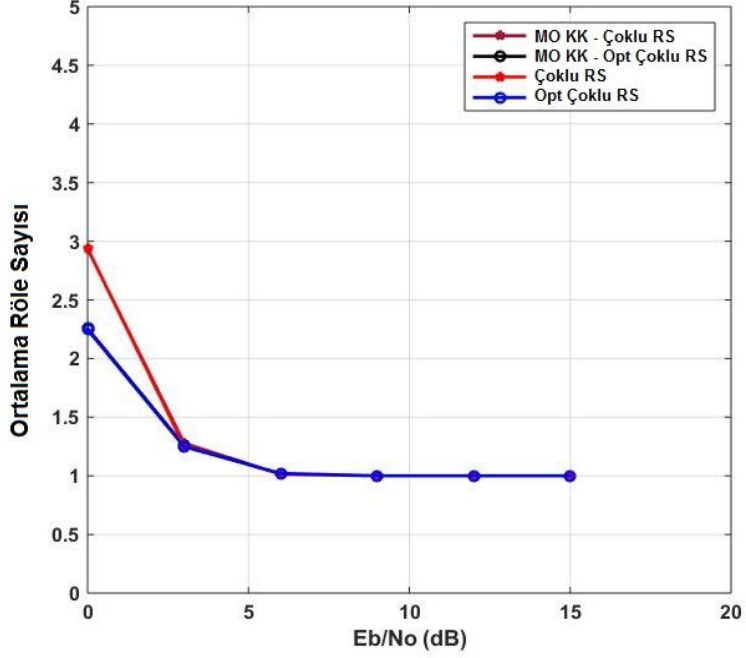


**Şekil 6:** İki-yönlü işbirlikli haberleşmede  $\gamma_e= 9\text{dB}$  için hata başarım eğrileri.

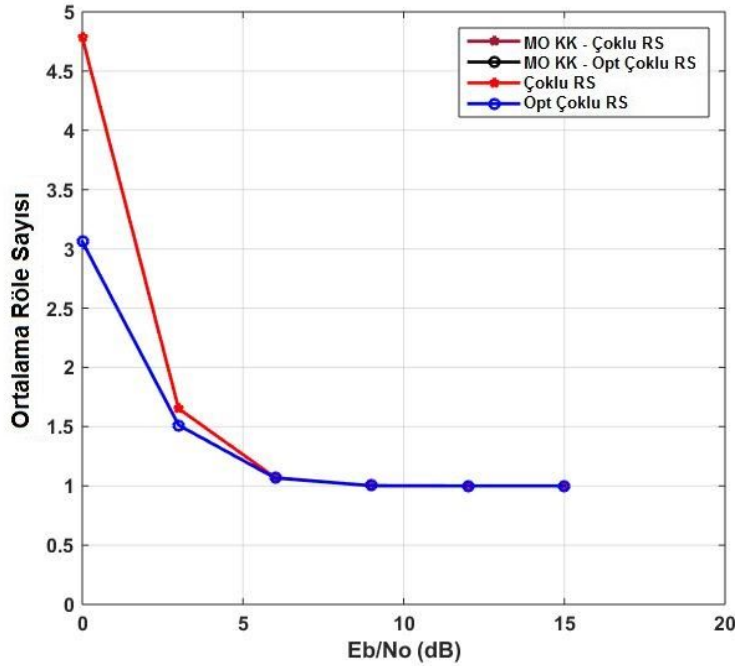
Güç optimizasyonunun olmadığı durumda SNR arttıkça seçilen röle sayısı azalmakta ve başarım tek röle seçim yöntemi durumuna yaklaşmaktadır. Diğer bir yandan da tasarlanan güç optimizasyonlu durumda kullanılan röle sayısı azalmakta ve tek röle seçim yönteminden daha iyi başarım elde edilmektedir.

MO KK altında rasgele tek röle seçiminin performansında ciddi bir düşüş, çoklu röle seçiminde ise düşük SNR değerleri için belirgin düşüşler olduğu görülmüştür. Buna rağmen güç optimizasyonunun yapıldığı çoklu röle seçim durumunda ise MO KK etkisi çok fazla değildir. İki yönlü işbirlikli haberleşme de MO KK altında güç

optimizasyonlu çoklu röle seçim yapısının tek yönlü işbirlikli haberleşmeye göre daha iyi bir başarıml elde edebildiği görülmüştür.



Şekil 7: İki-yönlü işbirlikli haberleşmede  $\gamma_e = 9\text{dB}$  için seçilen ortalama röle sayıları.



**Şekil 8:** İki-yönlü işbirlikli haberleşmede  $\gamma_e = 12\text{dB}$  için seçilen ortalama röle sayıları.

Şekil 7 ve 8'de ise sırasıyla 9dB ve 12dB eşik SNR değerleri için seçilen ortalama röle sayıları verilmektedir. Röle seçimi her bir çerçeve için yeniden yapıldığından şekillerde görülen eğriler ortalama sayıları vermektedir. Tasarlanan yöntemin seçilen ortalama röle sayısı açısından karşılaştırılabilmesi için güç optimizasyonsuz durum için ortalama röle sayısı eğrileri de eklenmiştir. İki şekilden de önerilen sistemle seçilen ortalama röle sayısının önemli oranda azaltıldığı görülmektedir. Seçilen röle sayısının mümkün olduğunca azaltılabilmesi sistemin verimi açısından oldukça önemlidir. Daha az röle ile eşik SNR'a ulaşılabilmesiyle toplam harcanan güç azaltılmakta ve daha az röle seçim adımı uygulanacağından işlem karmaşıklığı da en azda tutulabilmektedir. Şekillerden eşik SNR değeri arttıkça tasarlanan yapının seçilen ortalama röle sayısı açısından daha avantajlı olduğu görülmektedir. İki yönlü işbirlikli iletişim için MO KK altında eşik SNR değerine ulaşma

performansını mükemmel kanal kestirimi altında ki gibi yakalayabilmekte ve seçilen ortalama röle sayılarının değişmediği görülmektedir.

## **SONUÇ**

Hem tek-yönlü hemde iki-yönlü işbirlikli haberleşme ağlarında performansı artırmak için kullanılan çoklu röle seçim yöntemindeki işlem karmaşıklığının azaltılması ve mümkün olan en az sayıda röle seçilerek güç tüketiminin azaltılması amaçlarıyla tasarlanan ortak çoklu röle seçimi ve güç optimizasyonu yapısının mükemmel olmayan kanal kestirimi altındaki performansı çıkarılmıştır. Yapının en önemli avantajıda, mümkün olduğunca fazla sayıda olası röle ile işbirlikli ağlarda tasarlanan yapının hesaplama karmaşıklığı röle sayısının artışı ile exponansiyelden ziyade lineer olarak artmaktadır. Benzetim sonuçları tasarlanan yöntemin seçilen röle sayısını ve sonuç olarak güç tüketimini azalttığını göstermektedir. Mükemmel olmayan kanal kestirimi altında da yapının başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

## **KAYNAKÇA**

- [1] A. Sendonaris, E. Erkip ve B. Aazhang, "User cooperation diversity part i: System description," *IEEE Trans. Commun.*, 51(11):1927-1938, November 2003.
- [2] A. Sendonaris, E. Erkip ve B. Aazhang, "User cooperation diversity, part ii: implementation aspects and performance analysis," *IEEE Trans. Commun.*, 51(11):1939-1948, November 2003.
- [3] J. N. Laneman ve G. W. Wornell, "Distributed space-time-coded protocols for exploiting cooperative diversity in wireless networks," *IEEE Trans. Inf. Theory*, 49(10): 2415-2425, October 2003.
- [4] A. Bletsas, A. Khitsi, D. P. Reed ve A. Lippman, "A simple cooperative diversity method based on network path selection," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, 24(3): 659-672, March 2006.

- [5] Chen Y., Yu G., Qiu P. ve Zhang Z. "Power-aware cooperative relay selection strategies in wireless ad hoc networks," *IEEE PIMRC*, Helsinki, Finland, 2006.
- [6] E. Beres ve R. S. Adve, "On selection cooperation in distributed networks," *IEEE Conference on Information Sciences Systems (CISS'06)*, 659-672, 2006.
- [7] A. Bletsas, A. Khitsi ve M. Z. Win, "Opportunistic cooperative diversity with feedback and cheap radios," *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, 7(5): 1823-1827, May 2008.
- [8] R. Tannious ve A. Nosratinia, "Spectrally-efficient relay selection with limited feedback," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, 26(8): 1419-1428, October 2008.
- [9] Y. Jing ve H. Jafarkhani, "Single and Multiple Relay Selection Schemes and Their Diversity Orders," *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, 8(3): 1414-1423, March 2009.
- [10] Gayan Amarasuriya, Masoud Ardakani, Chintha Tellambura, "Adaptive Multiple Relay Selection Scheme for Cooperative Wireless Networks," *IEEE WCNC*, 2010.
- [11] Dan Chen, Hong Ji, Xi Li, Kun Zhao "A Novel Multi-relay Selection and Power Allocation Optimization Scheme in Cooperative Networks," *IEEE WCNC*, 2010.
- [12] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: efficient protocols and outage behavior," *IEEE Trans. Inf. Theory*, 50(12): 3062-3080, December 2004.
- [13] Paul. A. Anghel, Mostafa Kaveh, "Exact Symbol Error Probability of a Cooperative Network in a Rayleigh-Fading Environment," *IEEE Trans. Wireless Communications*, 3(5): 1416-1421, September 2004.
- [14] H. Kartlak, N. Odabaşioğlu, A. Akan, "İşbirlikli Haberleşme Ağlarında Ortak Çoklu Röle Seçimi ve Güç Optimizasyonu", *Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU)*, 785 – 788, 2011.

- [15] B. Rankov ve A. Wittneben, "Spectral efficient signaling for halfduplex relay channels," *Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, October 2005.
- [16] Y. Han, S. H. Ting, ve W. H. Chin, "High Rate Two-Way Amplify-and-forward Half Duplex Relaying with OS-TBC," *IEEE Vehicular Technology Conference*, Spring 2008.
- [17] H. Kartlak, N. Odabaşoğlu, A. Akan, "Joint Multiple Relay Selection and Power Optimization in Two-Way Relay Networks", *Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)*, 3rd International Congress on, 1 – 4, 2011.
- [18] J. J. van de Beek, O. Edfors, M. Sandell, S. K. Wilson, P. Ola Borjesson, "On channel estimation in OFDM systems," *Vehicular Technology Conference, 1995 IEEE 45th*, vol.2, 815-819, 1995
- [19] M. Ju and I. M. Kim, " Joint Relay Selection and Opportunistic Source Selection in Bidirectional Cooperative Diversity Networks, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 59(6), 2885-2897, 2010.