

Received: November 16, 2017  
Accepted: March 09, 2018

## Kablosuz İşbirlikli Ağlarda Farklı Birleştirme Tekniklerinin Performans Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Cebrail ÇİFLİKLİ<sup>1\*</sup>, Bilgin YAZLIK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi Kayseri Meslek Yüksekokulu, Melikgazi / Kayseri

<sup>2</sup>Erciyes Üniversitesi Teknoloji Geliştirme Bölgesi, Melikgazi / Kayseri

### Özet

Kablosuz ağların tabiatı gereği vericiden alıcıya gönderilen işaretler çok sayıda farklı kanal üzerinden alıcıya ulaşmaktadır. Farklı kanallar üzerinden alıcıya ulaşan işaretlerin her biri ayrı ayrı sönümlenme etkilerine maruz kalabilmektedir, bu da sistemin performansı üzerinde olumsuz yönde etkiye neden olmaktadır. Bu şekilde meydana gelen performans düşüşü ile mücadele etmek için farklı teknikler uygulanmaktadır. Bu tekniklerden biri de çeşitleme tekniğidir. Çeşitleme tekniği sönümlenme etkileri ile mücadele etmek için kullanılan oldukça etkili bir tekniktir. Çeşitleme tekniğinde gönderilmek istenen işaretin birden fazla kopyası alıcıya ulaştırılır. Alıcı elde ettiği işaret kopyalarını farklı birleştirme metotları ile birleştirebilmekte ve sistemin performansını artırmaktadır. İşbirlikli kablosuz ağlar da birden fazla anten içerdikleri için uzaysal çeşitleme etkisi sağlamaktadırlar. Bu çalışmada bir alıcı, bir aktarıcı ve bir verici içeren bir kablosuz işbirlikli ağın farklı birleştirme teknikleri ile ortaya koyduğu performans incelenmiştir. Elde edilen neticeler göstermektedir ki gelen işaretleri birbirlerine ekleyerek birleştirme sağlayan en sade yöntem olan eşit oran birleştiricisi en kötü performansı sergilemiş, buna karşılık gelen işaretlerin SNR değerlerine göre birleştirme sağlayan SNR birleştiricisi en iyi performansı sergilemiştir. Fakat yüksek performans sergileyen birleştirici yüksek işlemsel karmaşıklığa yani sistemsel açıdan yüksek enerji tüketimine yol açmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** İşbirlikli ağ, birleştirici, aktarım stratejisi, işaret-gürültü oranı birleştiricisi, çöz ve aktar.

## Investigation of Performance Effect of Different Combining Techniques in Wireless Cooperative Networks

Cebrail ÇİFLİKLİ<sup>1\*</sup>, Bilgin YAZLIK<sup>2</sup>

### Abstract

In a wireless channel, the signal which sent from source to destination is effected by fading. The signal arrives to the destination over different wireless channels and every channel has different characteristics. This situation leads performance loss on the system. There are different models to combat fading effects and spatial diversity is one of them. In diversity technique, copies of original signal sent to destination over different paths by different antennas. After reception phase, receiver combines all of the incoming signals and this combination process improves the performance of the system. Cooperative networks includes at least one source, one relay and one destination, thus they have spatial diversity effect on the system. In this paper, we investigate the performance of a one source, one relay and one destination wireless cooperative network with different combiners. It is obvious from the results that, Equal Ratio Combiner is the simplest combiner and it performs worse than other combiners. Signal to Noise Ratio Combiner uses SNR values of the signal to combine the signals and it has the best performance. But, SNR combiner has comparatively computational complexity disadvantage.

**Keywords :** Cooperative network, combiner, relaying strategy, signal to noise ratio combiner, decode and forward.

\*Corresponding Author, e- mail: cebrailc@erciyes.edu.tr

## 1. Giriş

Kablosuz sistemlerde, çeşitleme teknikleri, kanalda sönümlemeden ötürü meydana gelen etkileri dengelemek maksadı ile kullanılırlar. Kablosuz kanallardaki yüksek güçlü zayıflamalar düşük performansa yol açarlar. Kısa süreli derin sönümlenmeler dahi performansta ciddi düşüşe yol açabilirler. Çeşitleme teknikleri alıcının aynı bilgiyi taşıyan farklı bağımsız sönümlenmeli kanallardan elde ettiği çok sayıda aynı işaret kopyasının varlığına temellendirilir. Bu durumda tüm işaret kopyalarının tamamının derin sönümlenme etkisine maruz kalması çok düşük ihtimallidir.[1]

Çeşitleme; zaman, frekans ve uzay olmak üzere üç çeşittir. Burada ele alınan birleştirme metotları, alıcı birleştirme metotlarıdır ve çoklu antenlerden alıcıya ulaşan işaretler üzerine uygulanır. Birleştirme, uygulamaya bağlı olarak, farklı seviyelerde farklı metotlar ile gerçekleştirilebilir. Tipik metotlar, seçerek birleştirme, eşit kazanç birleştirme ve en yüksek oran birleştirmesidir. Her bir koldan gelen verinin sezilmesinden sonra yapılacak birleştirme işlemi kolaylaştırır. Birleştirme işlemi sezme işleminden önce de gerçekleştirilebilir.

Alış çeşitlemesi, genellikle hücreli iletişim sistemlerinde baz istasyonlarda kullanılır. Mobil cihazların boyut ve enerji kısıtlamalarından dolayı, vericide çeşitleme yapmak alıcıda yapmaktan daha güçtür. Bununla beraber kodlama ve iletim çeşitlemenin bir arada kullanıldığı ilgi çekici çeşitleme yöntemleri de vardır. Kablosuz iletişim ortamı sınırlı bir kaynaktır. Çok girişli çok çıkışlı sistemler (MIMO) kullanılarak kayda değer oranda yüksek verimlilik elde edilmektedir. Uzay – zaman kodlama tekniği MIMO kanalın kapasite limitine yaklaşabilir ve çeşitleme ve kodlama kazancına yol açar. Bundan dolayı, pratik açıdan bakacak olursak, yüksek bit hızları, artmış kapsama alanı ve düşük güç tüketimi gibi faydaları sayesinde MIMO sistemleri kablosuz sistemlerde oldukça yaygın kullanılmaktadır.[2]

Kablosuz işbirlikli ağlarda, vericiden ve aktarıcıdan alıcıya ulaşan işaret kopyalarının birleştirilmesi önemli bir problemdir. Bu kapsamda, alıcı tarafa ulaşan işaretlerin birleştirilmesi ve neticesinde çeşitleme kazancı elde edilmesi için farklı teknikler kullanılmaktadır. Bununla birlikte aktarıcı tarafta, işaretlerin aktarılması için Çöz ve Aktar (DAF) ve Kuvvetlendir ve Aktar (AAF) teknikleri kullanılmaktadır. Birleştirme için kullanılan tekniklerden Eşit Oran Birleştiricisi (ERC), Sabit Oran Birleştiricisi (FRC) ve İşaret Gürültü Oranı Birleştiricisi (SNRC) bu çalışma kapsamında performans açısından incelenmiştir. Birleştiricilerin performansı, bir verici, bir aktarıcı ve bir alıcıdan müteşekkil, DAF aktarım stratejisi kullanılan kablosuz işbirlikli bir ağ kullanılarak incelenmiştir. Eşit Oran Birleştiricisinde gelen işaretler herhangi özel bir işleme tabii tutulmaksızın bir araya getirilirken, Sabit Oran Birleştiricisinde gelen işaretler kanala göre belirlenen sabit bir katsayı ile çarpılarak birleştirilmektedir. İşaret Gürültü Oranı Birleştiricisinde ise işaretler, kalitelerine göre ağırlıklandırılarak birleştirilmektedir. İşaret kalitesinin birleştirmede kullanıldığı SNRC tekniğinin performansının, ERC ve FRC performanslarına kıyasla daha üstün olması beklenmektedir. Daha önce [5] nolu çalışma ile farklı birleştiricilerin AAF aktarım stratejisi kullanılarak performansı incelenmiştir, [6] nolu çalışmada DAF aktarım stratejisinin zaman senkronizasyonu açısından performansı ele alınmıştır, [7] nolu çalışmada DAF aktarım stratejisinin Rayleigh sönümlü kanalda işbirlikli çeşitleme performansına etkisi ele alınmıştır. Bu çalışmada her üç birleştiricinin bit hata olasılığı ve işlem karmaşıklık performansı DAF aktarım stratejisi kullanılarak incelenmekte ve birbirleri ile kıyaslanmaktadır.

## 2. Çeşitleme Teknikleri

### 2.1.Zaman Çeşitleme

Birçok iletişim senaryosunda kanal bağdaşım süresi sembol iletim periyotlarına eşit veya daha fazladır. Bu durumun neticesinde bağdaşım süresinden daha uzun bir süre aralığıyla iki sembol gönderilmek istendiğinde ilişkisellik bozulmaları söz konusu olur ve çeşitlemeye yol açılır. Bu durumu aşmanın en sade yolu, tekrarlama kod şeması kullanılarak iki işareti iletmektir. İlişiksiz kanal üzerinden gönderilen tekrarlamalı işaretlerin alıcıya sorunsuz olarak ulaştığından emin olmak için iletilen işaretin arasına uygun miktarda boşluk bırakılır.

### 2.2.Frekans Çeşitleme

Zaman çeşitlemede olduğu gibi, kullanılabilir bant genişliği kanal tutarlılık bant genişliğinden daha geniş ise çeşitleme; kullanılabilir bant genişliği kanal tutarlılık bant genişliğinden daha fazla olacak şekilde seçilmiş kanal parçaları kullanılarak temin edilebilir.

Frekans çeşitlemesinin gerçekleştirilmesi için daha dar bant genişlikli ve bağımsız frekans cevaplı alt kanalların kullanılması fikri en doğal yaklaşımdır. Bu yaklaşım, çok taşıyıcılı sistemlere uygulanabilir, çok taşıyıcılı sistemlerde iletim, geniş bandın örtüşmeyen dar alt bantlara bölünmesi ile sağlanmaktadır. Her bir kanalda iletim için kullanılan sembol, her bir alt kanalın düz bir sönümlü alt kanal olarak görünmesi için yeterli uzunlukta olmalıdır. Farklı alt kanalla için çeşitleme yapılırken de benzer kural geçerlidir. Bundan dolayı alt kanallardaki sönümlenme işlemi çapraz korelasyon gösterecektir. Bu sistemlere en iyi örnek dikgen frekans bölmeli çoğullama sistemleridir (OFDM). [3]

Doğal bir yöntem olmamasına rağmen frekans çeşitleme, zaman ekseninde yapılacak bazı işlemlerle de gerçekleştirilebilmektedir. Çok yayımlı kanalların frekans cevabı sabit bir genlik ve doğrusal bir faza sahip değildir. Çünkü her bir spektral bileşen iletişim yollarındaki gecikmelere ve birbirinden bağımsız yıkıcı girişimlere veya farklı genliklere bağlı olarak zayıflar. Bu tarz çok yollu yayılımın neticesi olarak hedefe ulaşan her bir işaret ayrı ayrı çeşitleme etkisine maruz kalır. Bundan dolayı, kanal genel itibari ile frekans seçici bir kanal görünümü arz eder. Sonuç olarak çeşitlemeyi elde edebilmek için bağımsız hat sayısı kadar işlem gereklidir.

### 2.3.Uzaysal Çeşitleme

Uzaysal çeşitleme, işaretlerin ilişkisiz olma koşulunu sağlayacak mesafe kadar aralarında mesafe bulunan çoklu antenli sistemler ile sağlanır. Antenler arasındaki mesafe yayılım kanalı ve frekansa bağlı olarak değişebilir. Sezme çeşitlemesinde çok sayıda alıcı anten bulunurken, verici çeşitlemesinde çok sayıda verici anten bulunur. Makroskopik çeşitlemede, eş zamanlı olarak iki ya da daha fazla baz istasyonu kullanılır. Varış açısı çeşitlemesi ve kutuplama çeşitlemesi teknikleri özel durumlu uzaysal çeşitleme teknikleridir.

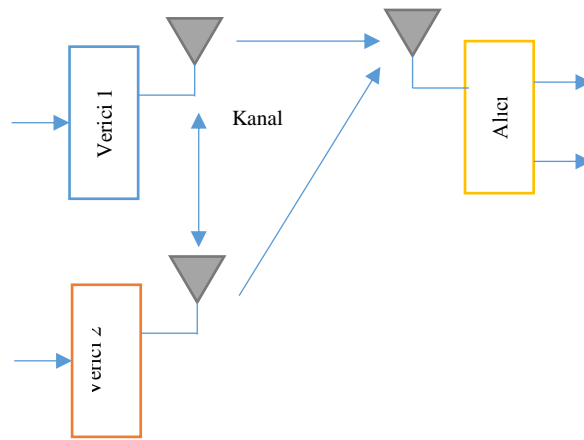
Sezme çeşitlemesi hücre baz istasyonları gibi çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. İletim çeşitlemesi görece daha zor bir işlemdir, çünkü iletilen işaretler birbirlerine karışırlar ve vericide anlık kanal durum bilgisi bulunmamaktadır. Öte yandan, mobil cihazlara çok sayıda anten yerleştirmek güç ve ebat sınırlamaları nedeni ile çok zordur. Aksine iletim çeşitleme sayesinde alıcının güç tüketimi düşer. Bununla beraber alıcının da modifiye edilmesi gerekmektedir: iletilen işaret üzerinde çeşitleme sağlanabilmesi için bir çeşit geri besleme ya da işaret işleme tekniği uygulanmalıdır. İletim çeşitlemesinin kullanılabilmesi için belirli standartların tanımlanması gerekmektedir, sezme çeşitlemesi ise bütün alıcılara uygulanabilir.

### 3. İşbirlikli Çeşitleme

Kablosuz uygulamalarda son yıllarda ön görülemez boyutlarda gelişmeler yaşanmaktadır. Artık sesli iletişim insanların tek beklentisi olmaktan çıkmıştır. Geniş bant internet, online oyunlar ve diğer bir çok yüksek veri transfer hızı gerektiren uygulamalar artmaktadır. Ultra Mobil Geniş Bant (UMB), Uzun Dönemli Gelişim (LTE) ve IEEE 802.16e(WiMAX) gibi en güncel kablosuz sistemler, yüksek bant genişlikli kanallar (5, 10 ve 20 MHz) üzerinden kullanıcı başına yüksek veri hızları sağlamaktadır. Örneğin Mobil Geniş Bant Kablosuz erişim (MBWA) veya IEEE 802.20 gibi mobil geniş bantlı erişim sistemlerinde 260 Mbps download hızına ve 60 Mbps upload hızına ulaşılabilmektedir. MIMO kullanıcıları mobil terminalde çoklu antenlere sahip olmalıdır ve bu antenler bağımsız sönmülmeye tabii olmalıdırlar. Pratikte tüm kullanıcılar ellerindeki küçük cihazlarda çok sayıda anten yer almadığı için ya da yeteri kadar dağıtım olmayan bir ortamda yer aldıkları için bu kadar yüksek veri hızlarını garanti edememektedirler. [4]

Bahsedilen tüm bu kısıtlayıcı unsurları bertaraf ederek gelecek nesil MIMO sistemler geliştirebilmek için, noktadan noktaya geleneksel iletişimin ötesinde bir vizyonla hareket etmek gerekmektedir. Geleneksel haberleşme sistemi mantığında birbirleri ile haberleşmeye çalışan terminaller vardır. Diğer bir bakış açısı ile tüm bu iletişim kurmak isteyen terminallerin, kablosuz sistem üzerine yayılmış antenler olduğunu düşünebilir. Bu düşünceden hareketle sistemdeki her bir anten gibi görülen terminalin bir diğer terminale iletişim için yardımcı olması sağlanabilir. Bu durumda, iletişime yardımcı olan işbirlikçi terminale aktarıcı terminal denilir.

İşbirlikli iletişim yeni bir iletişim paradigmasıdır, bu yöntemde ana istasyon, aktarıcılar üzerinden aktarma kanalları kullanarak iletişime geçer. Şekil 1'de iki vericiye sahip bir işbirlikli ağ gösterilmektedir. Aktarma kanalı, verici ile alıcı arasındaki doğrudan kanalın yardımcı kanalı olarak düşünülebilir. Aktarıcı nokta, kaynağa farklı dalga uzunlukları uzaklığında olduğu için, aktarıcı kanalın doğrudan kanaldan bağımsız bir biçimde sönmüneceği aşikârdır. İşbirlikli iletişim senaryolarında, diğer aktarıcı noktalar tarafından yayılan işaretlerden dolayı aktarıcının faydalı enerji temin ettiği az sayıda durum vardır. Uygun işaret işleme algoritmaları kullanılarak, çoklu terminaller birbirleri için aktarıcı rolü üstlenerek işbirliği içerisinde iletişim kurabilirler. Aktarılan bilgi hedef noktada uzaysal çeşitlilik sağlanarak birleştirilir. Bu sistem aslında dağıtık çoklu antenler içeren bir sistem gibi görülebilir, bu sistemde her bir anten bir diğeri için çeşitlenmeli işaret hatları oluşturur.



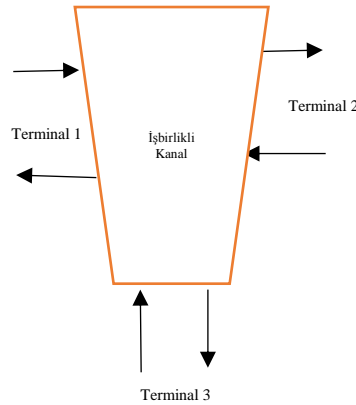
Şekil 1. İki Vericili Bir İşbirlikli Ağ Modeli

İşbirlikli iletişim gelecek nesil kablosuz iletişim sistemlerinin en büyük ihtiyacı olan yüksek iletişim hızı konusunda çok ciddi kazanımlar sağlamaktadır. Bundan dolayıdır ki 5. Nesil (5G) kablosuz iletişim sistemlerinin temeli işbirlikli iletişime dayanmaktadır.

İşbirlikli çeşitleme, çok genel olarak aktarma ve işbirlikli iletişim teknikleri kullanılarak türetilmiş bir uzaysal çeşitleme tekniği türüdür. İşbirlikli iletişimde, dağınık halde bulunan noktalar tek bir sistem gibi birlikte iletişim kurarak ortak bir iletişim sistemi oluştururlar. İşbirlikli çeşitleme metodu işbirlikli iletişim söz konusu olduğunda kullanılabilir dağınık terminallerin uzaysal çeşitlemelerini güçlendirmek için kullanılır. Buradaki ana amaç, mevcut sistem hızı için, sistem performansının artırılması, hata oranlarının iyileştirilmesidir. Öte taraftan işbirlikli iletişim, iletim hızını artırmak için de sıklıkla kullanılır. Her iki durumda da işbirliği, performans hedefi ile ihtiyaç olan iletim enerjisi arasında takas yapılmasını sağlar, bundan dolayı enerji verimli kablosuz ağlar oluşturabilmek için gelişmiş tasarım seçenekleri kullanılmalıdır. [1, 4]

#### 4. Aktarma

Geleneksel iletişim ağlarında veri iletimi doğrudan alıcı ve verici arasında gerçekleşir. Herhangi bir sistem kullanıcısı bir başka sistem kullanıcısından istifade etmez. Bununla beraber, genel bir iletişim ağında, çok sayıda ara bağlantı noktası iletişime destek olmak adına hazır beklemektedir. Örneğin kablosuz ağlarda, bir kullanıcı mesajını yayınladığında, yakında bulunan tüm ara bağlantı noktaları bu mesajı alırlar. Bu mesajın alınması ve tekrar iletme sokulması ile sistem performansı ve kapsama alanı geliştirilebilir. Bu tarz yardımlaşmalı iletişime “İşbirlikli İletişim” denilmekte olup bu model ile yapılacak iletişimde ne kadarlık bir performans artışının sağlandığını anlayabilmek için teorik çalışmalar yapılması gereklidir. Yapılacak bu çalışmalar sayesinde sistemin yapısı da daha sağlıklı bir biçimde geliştirilecektir. [5]



Şekil 2. Üç Terminalli Bir İletişim Noktası

Aktarıcı kanal, hem kablolu hem de kablosuz ağlar için hayati öneme sahiptir. Kablolu ağlarda çok sayıda kaynak ve hedef çiftleri ara aktarma noktaları ile birbirlerine bağlıdır. Şekil 2’de üç terminale sahip bir işbirlikli kanal gösterilmektedir. Kablosuz ağlarda, kablosuz iletim avantajından dolayı pasif noktalar yakın alan iletişimine müsait durumda olurlar. Bu noktalar aktarmalı iletişimde aktarıcı rolünde görev alabilir ve iletişimin hızını artırabilirler [6, 7].

Aktarmalı kanal kapasitesi van der Meulen tarafından 1971 yılında hesaplanmıştır, fakat bu hesaplama yalnızca birkaç örnek üzerinden yapılmıştır. Bugün hala işbirlikli kablosuz bir ağın kapasite hesabı kesin olarak hesaplanamamıştır.

## 5. Aktarım Stratejileri

Kablosuz işbirlikli ağlarda vericiden aktarıcıya ulaşan işaretin aktarıcıdan vericiye iletilmesi için farklı stratejiler kullanılabilir. Bu çalışmada ele alınan iki aktarım stratejisi olan Kuvvetlendir ve Aktar ve Çöz ve Aktar stratejileri aşağıda detaylı olarak aktarılmaktadır.

### 5.1.Kuvvetlendir ve Aktar (AAF)

Güç kısıtlamalarının hayati olduğu ve zaman gecikmesi istenmeyen sistemlerde kuvvetlendir ve aktar tipi aktarım stratejisi yoğun olarak tercih edilmektedir. Bu strateji ile hem analog hem de dijital işaretler aktarılabilir. Stratejinin gerçekleştirilme biçimi aslında oldukça basittir, aktarıcı kendisine ulaşan işareti aktarılacak kadar zayıfladığı için olduğu gibi kuvvetlendirerek vericiye tekrar gönderir. [8, 9, 10] Burada, dikkatten kaçmaması gereken en önemli husus şudur ki bu aktarımda işaretin içerdiği gürültü de kuvvetlendirilerek aktarılır. Alınan işaret, kanal karakteristiğinin tam olarak kestirilebildiği varsayılarak kuvvetlendirilir, bu sayede kuvvetlendirme kazancı hesaplanabilir ve alınan işaret gücü şöyle yazılır:

$$E[|y_r^2|] = E[|h_{s,r}|^2]E[|x_s|^2] + E[|z_{s,r}|^2] = |h_{s,r}|^2 \varepsilon + 2\sigma_{s,r}^2 \quad (1)$$

Burada,  $\sigma_{s,d}^2$  ifadesi varyansı,  $z_{s,r}$  ifadesi gürültüyü,  $x_s$  ifadesi iletilen işareti,  $y_r$  ifadesi alınan işareti,  $h_{s,r}$  ifadesi kanalı,  $\varepsilon$  ifadesi iletilen işaretin enerjisini ve ifade içlerindeki s vericiyi, d alıcıyı ve r aktarıcıyı ifade etmektedir. İşaretin verici ile aynı güçte iletilmesi için aktarıcı aşağıdaki biçimde hesaplanan güç ile iletim yapmalıdır:

$$\beta = \sqrt{\frac{\varepsilon}{|h_{s,r}|^2 \varepsilon + 2\sigma_{s,r}^2}} \quad (2)$$

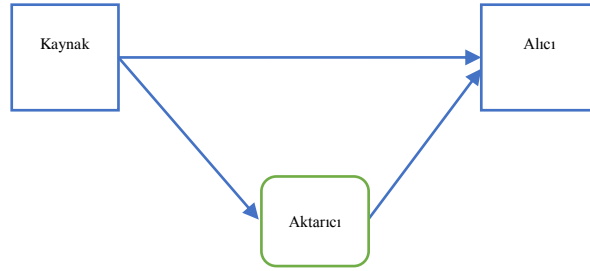
### 5.2.Çöz ve Aktar

Güncel gelişmeler sonucu ortaya çıkan cihazlar ve sistemler artık neredeyse tamamen dijital iletişim sağlamaktadırlar. Bununla birlikte enerji tüketimi konusunda da önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Tüm bu gelişmelerin de desteği ile çöz ve aktar stratejisi yaygınlaşmaktadır. Bu yöntemde, aktarıcıya ulaşan işaret çözülmekte ve ardından tekrar aktarılmaktadır. Çözme işlemi esnasında işarete bulunan gürültü bileşenleri de ayıklanabilmektedir, bu sayede kuvvetlendir ve aktar tipi aktarım stratejisinin aksine gürültü daha ciddi bir biçimde önlenmektedir. Bu tarz bir aktarım yüksek bir işlem gücü ihtiyacı gerektirse de mobil aktarıcılar bunu gerçekleştirebilecek kapasiteye sahiptirler. Hata düzeltme performansını iyileştirilebilmesi için aktarıcı hata denetleme kodları da kullanılabilir. Bazı durumlarda alınan işaretin çözülmesi gecikmeler, güvelik ve güç kısıtlamaları gibi nedenlerde mümkün olamamaktadır. Çöz ve aktar tipi aktarım çok sayıda avantaja sahip iken çeşitli dezavantajları da söz konusudur [8, 11].

## 6. Birleştirme Teknikleri

İşbirlikli bir iletişim sisteminde alıcıya birden fazla sayıda işaret kopyasının iletildiğinden daha önce bahsedilmiştir. Alıcının kendisine ulaşan bu işaretlerden çeşitleme kazancı elde edebilmesi için bu işaretleri en uygun şekilde birleştirmesi gerekmektedir. Birleştirme işlemi farklı yöntemler kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir, bu çalışmada Eşit Oran Birleştirmesi, Sabit Oran Birleştirmesi, İşaret Gürültü Oranı Birleştirmesi ve Artırılmış İşaret Gürültü Oranı Birleştirmesi

yöntemleri kullanıldığı için aşağıda bu yöntemler detaylı olarak incelenmiştir. Şekil 3'te bu çalışmada kullanılan bir verici, bir aktarıcı ve bir alıcıya sahip işbirlikli kablosuz ağ modeli yer almaktadır.



Şekil 3. Bir Aktarıcılı Bir Kablosuz İşbirlikli Ağ Modeli

### 6.1.Eşit Oran Birleştiricisi (ERC)

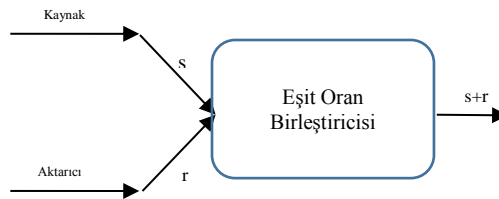
Kanal kalitesinin tam olarak kestirilemediği ve zamanlamanın son derece önemli olduğu işbirlikli ağlarda eşit oran birleştirilmesi tercih edilebilir. Bu yöntem her ne kadar yeterli kadar başarı olmasa da uzaysal çeşitleme kazancı elde edilmesine olanak sağlayabilmektedir. Bu yöntemde alıcı basitçe kendisine ulaşan işaretleri birbirlerine ekler. Bu yöntem en basit ve yetersiz birleştirme yöntemi olarak bilinir. Aşağıdaki ifadede  $y_{i,d}$  alınan işareti temsil etmektedir.

$$y_d[n] = \sum_{i=1}^k y_{i,d}[n] \quad (3)$$

Sadece bir kaynak, bir aktarıcı ve bir verici içeren bir sistemi ele alırsak:

$$y_d[n] = y_{s,d}[n] + y_{r,d}[n] \quad (4)$$

Burada,  $y_{s,d}$  vericiden alıcıya doğrudan iletilen işareti,  $y_{r,d}$  aktarıcıdan alıcıya iletilen işareti ifade etmektedir [8]. Şekil 4'te Eşit Oran Birleştiricisinin, gelen işaretleri birleştirme modeli gösterilmektedir.



Şekil 4. Eşit Oran Birleştiricisi İçin Sistem Modeli

### 6.2.Sabit Oran Birleştiricisi (FRC)

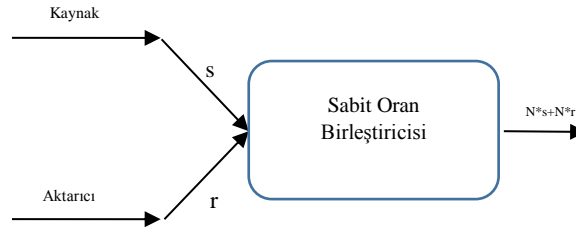
Sabit oran birleştirilmesi yöntemi ile daha iyi performans elde edilebilmektedir. Bu yöntemde gelen işaretler birbirlerine sabit bir oran ile çarpılarak eklenmektedir. Bu sabit oran ise kanal kalitesini temsil eden bir oran olmalıdır. Bu oran basitçe istasyonlar arası mesafe ölçülerek hesap edilebilir. Aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$y_d[n] = \sum_{i=1}^k w_{i,d} \cdot y_{i,d}[n] \quad (5)$$

Burada,  $w_{i,d}$  alınan işaret  $y_{i,d}$ 'nin ağırlığını ifade eder. Tek aktarıcılı bir sistem göz önüne alınarak denklem şöyle sadeleştirilir:

$$y_d[n] = w_{s,d} \cdot y_{s,d}[n] + w_{r,d} \cdot y_{r,d}[n] \quad (6)$$

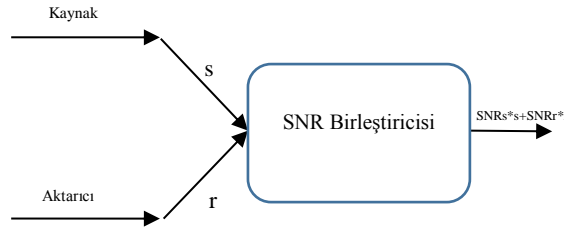
Burada,  $w_{s,d}$  doğrudan bağlantı olan,  $d_{s,r,d}$ 'nin ağırlığını ifade eder [8]. Şekil 5'te Sabit Oran Birleştiricisinin, gelen işaretleri birleştirme modeli gösterilmektedir.



Şekil 5. Sabit Oran Birleştiricisi

### 6.3.İşaret-Gürültü Oranı Birleştiricisi (SNRC)

Gelen işaretler zeki bir metotla ağırlıklandırılarak birleştirilirse tabii bir sonuç olarak performans artacaktır. Bir bağlantının kalitesini ölçmek için en sık kullanılan yöntem SNR'dir. SNR ile alınan işaret ağırlıklandırılabilir [8]. Şekil 6'da İşaret Gürültü Oranı Birleştiricisinin, gelen işaretleri birleştirme modeli gösterilmektedir.



Şekil 6. İşaret - Gürültü Oranı Birleştiricisi

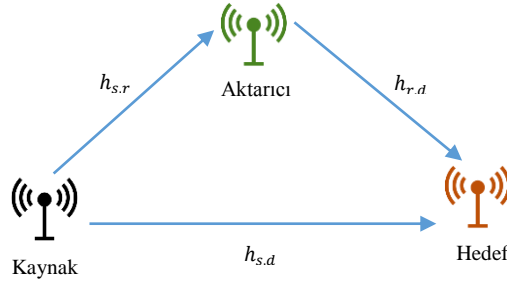
$$y_d[n] = SNR_{s,d} \cdot y_{s,d}[n] + SNR_{r,d} \cdot y_{r,d}[n] \quad (7)$$

Yukarıda yer alan (7) nolu eşitlikte, İşaret Gürültü Oranı Birleştiricisinin, alınan işaretleri kalitelerine göre nasıl ağırlıklandırarak birleştirdiği ifade edilmektedir.

## 7. Sistem Modeli, Simülasyon Sonuçları ve Bulgular

Bu çalışmada, bir kaynak, bir aktarıcı ve bir hedef içeren bir kablosuz işbirlikli ağ modeli, farklı birleştiricilerin performans analizi için kullanılmıştır. Kullanılan sistem modeli Şekil 7'de gösterilmiştir. Hedefe, kaynaktan ve aktarıcıdan iki farklı işaret iki farklı sönmülenme etkisine sahip kanal üzerinden iletilmektedir. Hedefe ulaşan ve farklı sönmülenme etkilerine maruz kalmış işaretler, daha sonra farklı birleştiriciler ile çeşitleme kazancı elde etmek adına birleştirilmektedir.





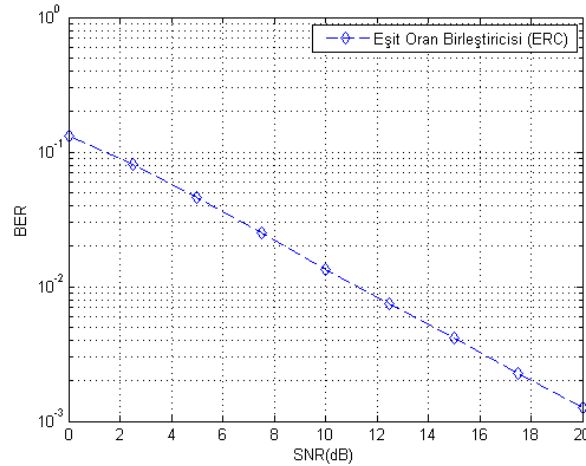
Şekil 7. Simülasyonda Kullanılan Sistem Modeli

Bu çalışmada, farklı birleştiricilerin Şekil 7’de gösterilen kablosuz bir işbirlikli ağdaki performansı incelenmiştir. Simülasyon MatLab ortamında kodlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Simülasyon parametreleri aşağıda yer alan Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Simülasyon Parametreleri

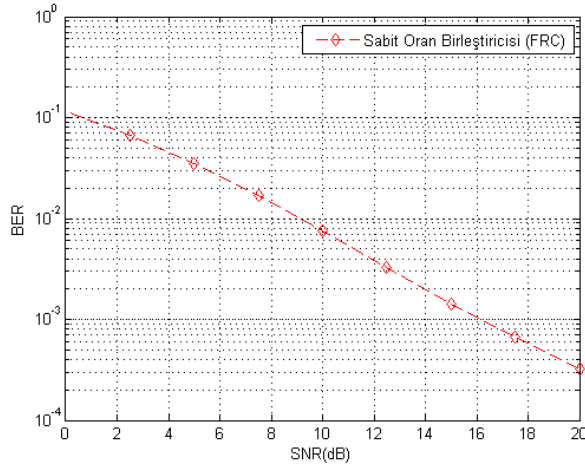
Modülasyon	QPSK
Aktarma Stratejisi	DAF
Kullanılan Birleştirme Metotları	ERC, FRC ve SNRC
Sönümlü Kanal Tipi	Rayleigh

Bu çalışmada alıcı tarafta üç farklı birleştirici kullanılmıştır: Eşit Oran Birleştiricisi (ERC), Sabit Oran Birleştiricisi (FRC) ve İşaret-Gürültü Oranı Birleştiricisi (SNRC). Aktarıcıda ise aktarım stratejisi olarak Çöz ve Aktar (DAF) stratejisi tercih edilmiştir. Sistemin performansı, bit hata olasılığı (BER) açısından test edilmiştir. Simülasyon neticeleri Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10’da gösterilmiştir.



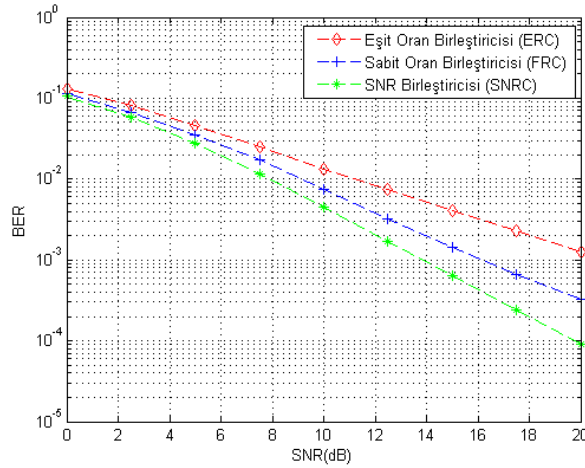
Şekil 8. Eşit Oran Birleştiricisinin BER Performans Analizi

Eşit Oran Birleştiricisinin BER performansı Şekil 8’de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, 20 dB’lik SNR değeri için yaklaşık  $10^{-3}$  değerinde bit hata olasılığı gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 9. Sabit Oran Birleştiricisinin BER Performans Analizi

Sabit Oran Birleştiricisinin BER performansı Şekil 9'da gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, 20 dB'lik SNR değeri için yaklaşık  $10^{-4}$  değerinde bit hata olasılığı gerçekleştiği görülmektedir. Aynı SNR değeri için Eşit Oran Birleştiricisi yaklaşık  $10^{-3}$ 'lük BER değeri ile daha kötü bir BER performansı sergilemektedir. Şekil 10'da ise İşaret Gürültü Oranı Birleştiricisinin BER performansı FRC ve ERC birleştiricileri ile birlikte gösterilmiştir.



Şekil 10. ERC, FRC ve SNRC Birleştiricilerinin Performans Kıyaslaması

Yukarıda yer alan grafiklerden de açıkça görüleceği üzere SNR Birleştiricisi özellikle yüksek SNR değerleri için ERC ve FRC birleştiricilerinden daha iyi performans sergilemiştir. ERC birleştiricisi işleminin tamamlanması için geçen işlem süresi 3,261025 sn, FRC birleştiricisi için 3,5625255 sn ve SNR birleştiricisi için gereken işlem süresi 5,273098 sn olarak gerçekleşmiştir.

## 8. Sonuç

Bu çalışma kapsamında ele alınan bir verici, bir aktarıcı ve bir alıcı içeren kablosuz işbirlikli ağda, akarım stratejisi olarak çöz ve aktar tipi aktarım stratejisi kullanılmış, birleştirme metodu olarak ise eşit oran birleştiricisi (ERC), sabit oran birleştiricisi (FRC) ve işaret-gürültü oranı birleştiricisi (SNRC) kullanılmıştır. Sistemin kullanılan bu üç farklı birleştirici için performansı incelenmiştir. SNR birleştiricisinin özellikle yüksek SNR değerleri için ERC ve FRC birleştiricilerinden daha iyi performans sergilediği tespit edilmiştir. Bunun temel nedeni, hem ERC'nin hem de FRC'nin birleştirme sürecinde işaretlerin kalitesini süreçte kullanmıyor olmalarıdır. SNR birleştiricisi ise işaretlerin SNR değerlerini birleştirme sürecinde ağırlık olarak kullanmaktadır ve daha yüksek SNR

değerine sahip işaretler sonuç işaret üzerinde daha baskın olmaktadır, bu da doğal bir sonuç olarak daha iyi neticeler üretilmesini temin etmektedir. SNR birleştiricisi her ne kadar ERC ve FRC'ye kıyasla daha iyi performans sergilese de işlemsel karmaşıklık açısından dezavantaja sahiptir. SNR birleştiricisi, diğer birleştiricilere kıyasla daha karmaşık bir yapıya sahiptir ve dolayısı ile gerçekleştirilmesi için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır.

## 9. Referanslar

- [1] Frank h. Pitzek Marcos D. Katz 2006. *Cooperation in Wireless Networks: Principles and Applications*, Springer, Netherlands.
- [2] S., Glisic, B., Lorenzo 2009. *Advanced Wireless Networks, Cognitive, Cooperative and Opportunistic 4G Technology*, John Wiley & Sons Ltd.
- [3] T., S., Rappaport 1996. *Wireless Communications, Principles and Practice*, Prentice Hall.
- [4] A., Sendonaris, E., Erkip, and B., Aazhang 2003. *User cooperative diversity part I: system description; part II: implementation aspects and performance analysis*, IEEE Trans. Commun., vol. 51, pp. 1927–1948.
- [5] Andreas Meier 2005. *Cooperative Diversity in Wireless Networks*, 6th IEE International Conference on 3G and Beyond, pp. 1-5.
- [6] X., Li, Y., C., Wu, and E., Serpedin 2009. *Timing Synchronization in Decode-and-Forward Cooperative Communication Systems*, IEEE Trans. Signal Proc., 57(4) pp.1444-1455.
- [7] S.S. Ikki, M.H. Ahmed, “Performance Analysis of Decode-and-Forward Incremental Relaying Cooperative-Diversity Networks over Rayleigh Fading Channels”, IEEE 69th Vehicular Technology Conference, Spain, 2009.
- [8] Andreas Meier 2004. *Cooperative Diversity in Wireless Networks*, M.S. thesis, University of Edinburgh, UK.
- [9] A., Ribeiro, X., Cai, and G., B., Giannakis 2005. *Symbol error probabilities for general cooperative links*, IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 4, pp. 1264–1273.
- [10] N. Kumar, V. Bhatia, D. Dixit 2017, *Performance analysis of QAM in amplify-and-forward cooperative communication networks over Rayleigh fading channels*, Int. Journal of Electronic Community.
- [11] Goran T. D. 2016. *Outage Performance of Decode-and-Forward Cooperative Networks Over Nakagami-m Fading With Node Blockage*, IEEE Trans. On Wireless Comm., Vol. 15, No. 9.