

CİHAZDAN CİHAZA HABERLEŞMEDE GİRİŞİM ENGELLEME PERFORMANS  
ANALİZİ

Meryem TAŞER

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Namdar  
Ortak Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Arif Başgümüş

Ağustos–2020

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Meryem TAŞER tarafından hazırlanan “CİHAZDAN CİHAZA HABERLEŞMEDE GİRİŞİM ENGELLEME PERFORMANS ANALİZİ “ adlı tez çalışması, aşağıda belirtilen jüri tarafından Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

21/08/2020

Prof. Dr. Şahmurat ARIK  
Enstitü Müdürü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Yılmaz ASLAN  
Anabilim Dalı Başkanı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

\_\_\_\_\_

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NAMDAR  
Danışman, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

\_\_\_\_\_

Dr. Öğr. Üyesi Arif BAŞGÜMÜŞ  
Ortak Danışman, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı,  
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

\_\_\_\_\_

### Sınav Komitesi Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NAMDAR  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Doç. Dr. Selman KULAÇ  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Dr. Öğr. Üyesi Fırat Ertaç DURAK  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

\_\_\_\_\_

## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının % .... çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Danışman Adı Soyadı

Öğrenci Adı Soyadı

İmzası

İmza

Ortak Danışman Adı Soyadı

İmzası

# CİHAZDAN CİHAZA HABERLEŞMEDE GİRİŞİM ENGELLEME PERFORMANS ANALİZİ

Meryem TAŞER

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Yüksek Lisans, 2020

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NAMDAR

Ortak Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Arif BAŞGÜMÜŞ

## ÖZET

Cihazdan cihaza haberleşme, kullanıcıların baz istasyonu olmadan haberleşmesidir. Bu durum, baz istasyonunda oluşan trafiği azaltmaktadır. Aynı zamanda, yüksek veri hızı, pil tüketimi ve spektrumun verimli kullanımına ilişkin avantajları vardır. Cihazdan cihaza haberleşmede, hücrel kullanıcılar cihazdan cihaza haberleşme kullanıcılarına girişim oluşturmaktadır. Bu çalışmada, girişimi önlemek için iki sistem incelenmiştir. Sistemlerden birinde kaynak tahsisi ve mod seçimi ile eşit güç paylaşımı kullanılmıştır. Kaynak tahsisi ve mod seçimi parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile sağlanmıştır. Diğer sistemde ise girişim sınırlı alan oluşturulmuştur. Girişim sınırlı alanda cihazdan cihaza haberleşme kullanıcısı ile hücrel kullanıcı arasında oluşan girişime bir sınır getirilmiştir. Bu girişim sınırını geçen hücrel kullanıcı girişim sınırlı alanın dışında kalmaktadır. Cihazdan cihaza haberleşme çiftinin, girişim sınırlı alanda bulunan hücrel kullanıcılardan hangi hücrel kullanıcının kaynağından yararlanacağını seçmek için yarı ortogonal kullanıcı seçim algoritması tanımlanmıştır. Bu iki sistem yol kaybı üssü, hücrel kullanıcı sayısı bakımından incelenmiştir. İki sistemde de hedef, girişimi azaltıp toplam kullanıcı hızını arttırmak şeklindedir.

**Anahtar Kelimeler:** Cihazdan Cihaza Haberleşme, Girişim Sınırlı Alan, Kaynak Tahsisi ve Mod Seçimi, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Yarı Ortogonal Kullanıcı Seçimi

## **PERFORMANCE ANALYSIS OF INTERFERENCE CANCELLATION IN DEVICE TO DEVICE COMMUNICATION**

Meryem TAŞER

Electrical-Electronics Engineering, M.S. Thesis, 2020

Thesis Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NAMDAR

Thesis Co-Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Arif BAŞGÜMÜŞ

### **SUMMARY**

Device-to-device communication is the communication of users without a base station. This reduces the traffic on the base station. It also has advantages in terms of high data rate, battery consumption, and efficient use of the spectrum. In device-to-device communication, cellular users create interference to the device-to-device communication users. In this study, two systems were examined to prevent interference. Equal power-sharing is used in one of the systems with resource allocation and mode selection. Resource allocation and mode selection are provided by particle swarm optimization algorithm. In the other system, the interference-limited area has been created. In the interference-limited area, a threshold is imposed on the interference between the device-to-device communication user and the cellular user. The cellular user who crosses this interference boundary is outside the interference-limited area. A semi-orthogonal user selection algorithm has been defined to select which cellular user will benefit from the device-to-device communication pair from the cellular users in the interference-limited area. These two systems are examined in terms of path loss exponent, number of cellular users. In both systems, the goal is to reduce interference and increase the total user rate.

**Keywords:** Device to Device Communication, Interference-Limited Area, Particle Swarm Optimization, Resource Allocation and Mode Selection, Semi Orthogonal User Selection

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma sırasında, bilgi ve birikimleri ile beni yönlendiren ve çalışmanın bu aşamaya gelmesinde katkısı olan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Namdar ve ortak danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Arif Başgümüş'e, beni bu zamanlara getiren, her zaman ve her koşulda beni destekleyen, sevgilerini bana hissettiren aileme teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	v
SUMMARY .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. CİHAZDAN CİHAZA HABERLEŞME .....	4
2.1. Bant İçi .....	5
2.2. Bant Dışı.....	5
2.2.1. Alt sınırlı alanda girişim yönetimi .....	6
3. KAYNAK TAHSİSİ ve MOD SEÇİMİ .....	7
3.1. Dikgen Frekans Bölmeli Çoklu Erişim .....	7
3.1.1. Dikgen frekans bölmeli çoğullama .....	8
3.2. Zaman Bölmeli Çift Yönlü İletişim (TDD).....	8
3.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) .....	9
3.3.1. Parçacık sürü optimizasyonunun işleyişi .....	12
3.4. Kaynak Tahsisi ve Mod Seçimi Senaryosu .....	12
3.4.1. Parçacık sürü optimizasyonu algoritması .....	14
4. GİRİŞİM SINIRLI ALAN .....	17
4.1. Çok Girişli Çok Çıkışlı (MIMO) Sistem.....	17
4.2. Sıfıra Zorlamalı Huzmeleme .....	18
4.3. Yarı Ortogonal Kullanıcı Seçim Algoritması.....	19
4.4. Ergodik Kapasite .....	21
4.5. Girişim Sınırlı Alan Sistem Modeli .....	21

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<b><u>Sayfa</u></b>
5. SONUÇLAR .....	26
5.1. Kaynak Tahsisi ve Mod Seçimi Sistemi .....	27
5.1.1. Yol kaybı üssü.....	27
5.1.2. Cihazdan cihaza haberleşme çifti sayısı.....	29
5.1.3. Hücresel kullanıcı sayısı .....	30
5.1.4. İterasyon sayısı.....	31
5.2. Girişim Sınırlı Alan Sistemi.....	32
5.2.1. Yol kaybı üssü.....	32
5.2.2. Hücresel kullanıcı sayısı .....	32
5.2.3. Anten sayısı.....	33
5.2.4. Alan oranı.....	34
5.3. Sistemlerin Karşılaştırılması .....	35
6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	36
KAYNAKLAR DİZİNİ .....	37
ÖZGEÇMİŞ	



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. D2D Haberleşme Sistem Modeli .....	4
2.2. Bant İçi ve Bant Dışı D2D Haberleşme (Acar 2018).....	5
3.1. OFDM ve OFDMA Farkı (Ahmadi 2014).....	7
3.2. OFDM N tane Alt Kanal (Armstrong 2009).....	8
3.3. Zaman Bölmeli Çift Yönlü İletişim Zaman Dilimi (Pang vd. 2013) .....	9
3.4. Hız ve Konum Güncelleme (Yaman 2014).....	11
3.5. Kaynak Tahsisi ve Mod Seçimi Modeli.....	13
3.6. Kanal Tahsisi ve Mod Seçimi Gösterimi .....	16
4.1. MIMO sistem modeli (Agarwal vd. 2015).....	17
4.2. Yarı Ortogonal Vektörler (Lu vd., 2014).....	19
4.3. MIMO aşağı link ile ZFBF kullanımı (Yoo ve Goldsmith 2006) .....	21
4.4. Girişim sınırlı alan sistem modeli .....	22
5.1. Toplam kullanıcı hızının yol kaybı üssü ile değişimi .....	28
5.2. Farklı kullanıcı sayılarında yol kaybı üssüne göre toplam kullanıcı hızı değişimi .....	29
5.3. Toplam kullanıcı hızının D2D kullanıcı sayısı ile değişimi.....	30
5.4. Toplam kullanıcı hızının hücrel kullanıcı sayısına göre değişimi .....	30
5.5. Toplam kullanıcı hızının iterasyon sayısı ile değişimi.....	31
5.6. Toplam kullanıcı hızının yol kaybı üssüne göre değişimi.....	32
5.7. Toplam kullanıcı hızının hücrel kullanıcı sayısına göre değişimi .....	33
5.8. Toplam kullanıcı hızının anten sayısına göre değişimi .....	33
5.9. Toplam kullanıcı hızının alan oranına göre değişimi.....	34
5.10. Kaynak tahsisi ve mod seçimi ile girişim sınırlı alan sistem .....	35
modelleri için toplam kullanıcı hızının hücrel kullanıcı sayısına göre değişimi	

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.1. Sistem model parametreleri.....	27
5.2. Ortama göre yol kaybı üssü değerleri .....	28

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
$w$	Atalet ağırlığı
$c_1$	Bilişsel bileşen
$c_2$	Sosyal bileşen
$T$	İterasyon sayısı
$p_{best}$	Kişisel en iyi değer
$g_{best}$	Global en iyi değer
$X_m^t$	$m$ . parçacığın $t$ . iterasyondaki konumu
$X_m^{t+1}$	$m$ . parçacığın $(t+1)$ . iterasyondaki konumu
$V_m^t$	$m$ . parçacığın $t$ . iterasyondaki hızı
$V_m^{t+1}$	$m$ . parçacığın $(t+1)$ . iterasyondaki hızı
$M$	Parçacık sayısı
$N$	Alt kanal sayısı (parçacık boyutu)
$C$	Kaynak tahsisi ve mod seçimi sisteminde hücrel kullanıcı sayısı
$D$	Kaynak tahsisi ve mod seçimi sisteminde D2D çifti sayısı
$K$	Kaynak tahsisi ve mod seçimi sisteminde toplam kullanıcı sayısı
$r_{k,n}^{(q)}$	Kullanıcı hızı
$B$	Bant genişliği
$P_{k,n}^{BTS,max}$	Kaynak tahsisi ve mod seçimi sisteminde maksimum BTS gücü
$P_{k,n}^{D2D,max}$	Kaynak tahsisi ve mod seçimi sisteminde maksimum D2D gücü
$P_{k,n}^{D2D}$	Kaynak tahsisi ve mod seçimi sisteminde D2D gücü
$P_{k,n}^{BTS}$	Kaynak tahsisi ve mod seçimi sisteminde baz istasyonu gücü
$G_{k,n}^{D2D}$	D2D çifti yol kaybı
$d_{D2D}$	D2D çifti arasındaki mesafe
$G_{k,n}^{BTS}$	Baz istasyonu ile hücrel kullanıcı arasındaki yol kaybı
$d_{BTS}$	Baz istasyonu ile hücrel kullanıcı arasındaki mesafe
$P_n$	Termal gürültü

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

$I_{k,n}$	$k$ . kullanıcıda meydana gelen girişim
$\log(\cdot)$	Doğal logaritma fonksiyonu
$I_{\text{BTS},n}$	Baz istasyonunda meydana gelen girişim
$x_m^n$	Rastgele oluşturulan ilk konum vektörü
$Q(x_m^n)$	Hüresel modda kanal atama değeri
$Q(x_m^{N+n})$	D2D modunda kanal atama değeri
$x_{k,n}^{(q)}$	Kanal tahsisi ve mod seçimi matrisi
$H$	Kanal matrisi
$N_A$	Girişim sınırlı alan sisteminde baz istasyonu anten sayısı
$N_K$	Girişim sınırlı alan sisteminde kullanıcı sayısı
$N_T$	Kullanıcı başına düşen anten sayısı
$W$	Ön kodlama vektörü
$ \cdot $	Vektör modülü
$\theta$	İki vektör arasındaki açı
$T_1$	Aday kümesi
$S_0$	Seçilen adayların kümesi
$h_k$	Kullanıcının kanal matrisi
$g_k$	$h_k$ 'nin ortogonal tamamlayıcısı
$C_{\text{erg}}$	Ergodik kapasite
$P_0$	İletim gücü
$P_a$	İşaret gücü
$d_a$	Verici ve alıcı arasındaki mesafe
$c$	Yol kaybı katsayısı
$\alpha$	Yol kaybı üssü
$P_{\text{HK}_i,\text{BTS}}$	Hüresel kullanıcının baz istasyonundan aldığı güç
$d_{\text{HK}_i,\text{BTS}}$	Hüresel kullanıcı ile baz istasyonu arasındaki mesafe

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ(devam)

$P_{HK_i}$	Hücresele kullanıcınnın iletim gücü
$I_{HK_i,D2D_R}$	Hücresele kullanıcınnın D2D çiftinde oluşturduğu girişim
$d_{HK_i,D2D_R}$	Hücresele kullanıcı ile D2D çifti arasındaki mesafe
$I_{D2D_T,BTS}$	D2D çifti vericisinin baz istasyonunda oluşturduğu girişim
$d_{D2D_T,BTS}$	D2D çifti vericisi ile baz istasyonu arasındaki mesafe
$P_{D2D_T}$	D2D çifti vericisinin iletim gücü
$P_{D2D_T,D2D_R}$	D2D çifti vericisi ile D2D çifti alıcısı arasındaki güç
$d_{D2D_T,D2D_R}$	D2D çifti vericisi ile D2D çifti alıcısı arasındaki mesafe
$\delta_B$	Baz istasyonunda oluşan girişimin eşik değeri
$I_{R_i}$	D2D alıcısında oluşan girişim
$\delta_D$	D2D alıcısında oluşan girişimin eşik değeri
$L_i$	Hücresele kullanıcı konumu
$L_{D2D_R}$	D2D alıcısı konumu
$N'_K$	Girişim sınırlı alandaki hücresele kullanıcı sayısı
$r_1$	Hücresele alanın yarıçapı
$r_2$	Girişim sınırlı alanın yarıçapı
$[\cdot]$	Taban operatörü
$R_{GSA}$	Girişim sınırlı alanın hücresele alana oranı
$C_{HK}$	Hücresele kullanıcılarının kapasitesi
$C_{kayıp}$	Hücresele kullanıcıların kapasite kaybı
$C_{D2D}$	D2D çiftlerinin kapasitesi
$C_{toplam}$	Toplam kapasite
$v$	Girişim sınırlı alan sisteminde kullanıcı hızı

**SİMGELER VE KISALTMA DİZİNİ (devam)**

<b><u>Kısaltma</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
D2D	Cihazdan Cihaza
LTE	Uzun Vadeli Evrişim
OFDMA	Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama Erişimi
OFDM	Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama
UE	Hücresele Kullanıcı
BTS	Baz İstasyonu
RB	Kaynak Blokları
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
ISI	Simgeler Arası Girişim
TDD	Zaman Bölmeli Çift Yönlü İletişim
MIMO	Çok Girişli Çok Çıkışlı Sistem
SUS	Yarı Ortogonal Kullanıcı Seçimi
ZFBF	Sıfıra Zorlamalı Huzmeleme

## 1. GİRİŞ

Telsiz haberleşme sistemlerinin kullanımı her geçen yıl artmaktadır. Kullanımın artması bant genişliği talebini de artırmaktadır. Bu talep sonucunda, kullanışlı haberleşme sistemi ara-yışlarına gidilmiştir. Cihazdan cihaza (D2D) haberleşme, geleneksel hücrel haberleşmeye göre daha yüksek spektral verimlilik, daha fazla kanal kapasitesi ve daha düşük güç tüketimi sağlamaktadır.

Cihazdan cihaza haberleşme, hücrel kullanıcıların, BTS olmadan veya şebeke alt ya-pısı erişim noktalarını kullanmadan doğrudan haberleşmesidir. D2D haberleşme, yakın mesafe-deki hücrel kullanıcılar arasında doğrudan iletişime izin vereceğinden, geleneksel haberleş-meye göre daha yüksek verim ve daha düşük bir gecikme sağlar. D2D haberleşme tekniği, hü-cresel ağ şebekesinde yükün azalmasında ve genel ağ kapasitesinin iyileştirilmesinde de etkili olmaktadır. D2D çifti, hücrel kullanıcılar ile aynı kaynağı paylaştığından mevcut spektrum daha etkili kullanılmaktadır. Ancak, D2D çiftinin hücrel kullanıcılar ile aynı kaynağı kulan-ması girişime neden olmaktadır. Girişimi önlemek için güç tahsisi, kanal tahsisi ve mod seçimi, sıfıra zorlamalı huzmeleme yöntemleri kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında girişimi önleyip toplam kullanıcı hızını en yüksek seviyeye çıkaran iki sistem modeli ele alınmıştır. İlk sistem modelinde, girişimi önlemek için kullanılan güç tah-sisi, kaynak tahsisi ve mod seçimi yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Kullanıcılar kaynak tahsisi ve mod seçimi yapılırken parçacık sürü optimizasyon algoritmasından yararlanmıştır. Parçacık sürü optimizasyonu yaklaşımı ve MATLAB yardımıyla üzerinde çalışılan sistem modelinde, toplam kullanıcı hızı, yol kaybı üssü, hücrel kullanıcı sayısı, D2D çifti sayısı ve iterasyon sayısı parametrelerinin etkisi incelenmiştir.

İkinci sistem modelinde ise girişimi önlemek için sıfıra zorlamalı huzmeleme yöntemi kullanılmıştır. Hücrel kullanıcılardan D2D kullanıcı çiftine oluşan girişim için eşik değer be-lirlenmiştir. D2D çiftinin frekans bandını yeniden kullanabileceği aday grubu, belirlenen eşik değerin altında kalan hücrel kullanıcılardır. Yarı ortogonal kullanıcı seçim algoritması bu adaylar arasında seçim yapmak için kullanılmaktadır. Sistem modelinde, yol kaybı üssü, hücre-sel kullanıcı sayısı, anten sayısı ve alan oranı parametrelerinin toplam kullanıcı hızına olan etki-si incelenmiştir. Bu iki sistem modeli karşılaştırılarak toplam kullanıcı hızı bakımından değeri-lendirilmiştir.

Bu tez aşağıdaki gibi şekillendirilmiştir. 2. bölümde D2D haberleşme ile ilgili bilgilen-dirme yapılmıştır. 3. bölümde, ilk sistem modelinde kullanılan OFDMA erişim yöntemi, parça-cık sürü optimizasyonu algoritması, zaman bölmeli çift yönlü iletişim aktarılmış ve sistem

modeli açıklanmıştır. 4. bölümde ikinci sistem modelinde kullanılan çok girişli çok çıkışlı yapı aktarılmış, sıfıra zorlamalı huzmeleme, yarı ortogonal kullanıcı seçimi ve ergodik kapasite alt konu başlıkları verilerek üzerinde çalışılan ikinci sistem modeli detaylandırılmıştır. 5. bölümde ise oluşturulan iki sistem modelinin toplam kullanıcı hızı yol kaybı üssü, hücresele kullanıcı sayısı, D2D çifti sayısı, iterasyon sayısı, anten sayısı ve alan oranı gibi parametreler kullanılarak incelenmiştir. Son olarak, iki sistem modeli birbiriyle karşılaştırılmıştır.

#### Literatür Taraması

D2D haberleşmedeki makaleler spektrum tahsisi, güç kontrolü, mod seçimi, trafiği azaltma ve girişim yönetimi konuları bakımından incelenmiştir. Bu araştırma konularından biri olan güç kontrolünün kullanılma nedeni, girişimi azaltmak ve sistem performansını arttırmak olarak belirtilmiştir (Lee vd.,2015). Janis vd. (2009)'da ise güç kontrolünün uygun bir işaret-gürültü oranı elde etmek için kullanılabileceğini gerçeklemiştir. D2D haberleşmedeki diğer bir konu olan trafiği azaltmak için ise önbellek kullanılmaktadır. Video, videoyu izleyen ilk kişinin önbelleğine kaydedilir. Sonraki kullanıcılar baz istasyonunu dahil etmeden önbellekteki videoyu kullanarak trafik azaltmayı gerçekleştirebilmektedir (Aytaç vd. 2017; Chen ve Yang, 2016). Mod seçimi konusunda ise yol kaybı dikkate alınmıştır. Yol kaybı eşik değerinin altında ise D2D modunu kullanılmaktadır. Diğer durumda ise hücresele mod kullanılmaktadır (ElSawy vd. 2014; Ye ve Zhang 2015) . Mod seçimi Ye ve Zhang (2015)'de kesinti olasılığı bakımından ElSawy vd. 2014 ise toplam kullanıcı hızı bakımından incelenmiştir. Spektrum tahsisinin kullanılma nedeni enerji verimliliğini arttırarak pil ömrünü arttırmaktır. Spektrum tahsisi aynı zamanda yüksek veri hızı ve kullanılan gücü minimize etmek için de kullanılmaktadır (Apostolos vd., 2016). Bu tezde D2D haberleşme, girişim yönetimi bakımından incelenmiştir. Yöntem olarak kanal tahsisi ve mod seçimi ile girişim sınırlı alan olmak üzere iki yöntem kullanılmıştır.

#### Kaynak tahsisi ve mod seçimi literatür taraması

Literatürde, D2D haberleşme, kaynak tahsisi ve mod seçimi yöntemi bakımından farklı açılardan değerlendirmiştir (Pang vd., 2013; Sun ve Shin, 2014; Takshi vd., 2018; Su vd., 2013; Deng vd.,2012). İncelenen çalışmalarda kaynak tahsisi ve mod seçimi yöntemi girişim azaltma, toplam kullanıcı hızını, sistem performansını ve verimliliği arttırma, kesinti olasılığını azaltma gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Sun ve Shin (2014)'te, D2D haberleşmede, birden fazla D2D kullanıcı çiftinin aynı alt kanalı kullanmasının, daha iyi sistem performansı sağlayacağından bahsetmektedir. Deng vd.(2012)'de eşit güç dağılımı kullanılarak toplam kullanıcı hızının daha da iyileştirilmesini amaçlamış, verimlilik ve kesinti olasılığı bakımından performans karşılaştırmasına yer vermiştir. Su vd. (2013)'te kaynak tahsisi ve mod seçiminin kullanılma amacının girişimi azaltmak olduğunu ifade etmiştir. Bu çalışmada kaynak tahsisi ve mod seçiminin



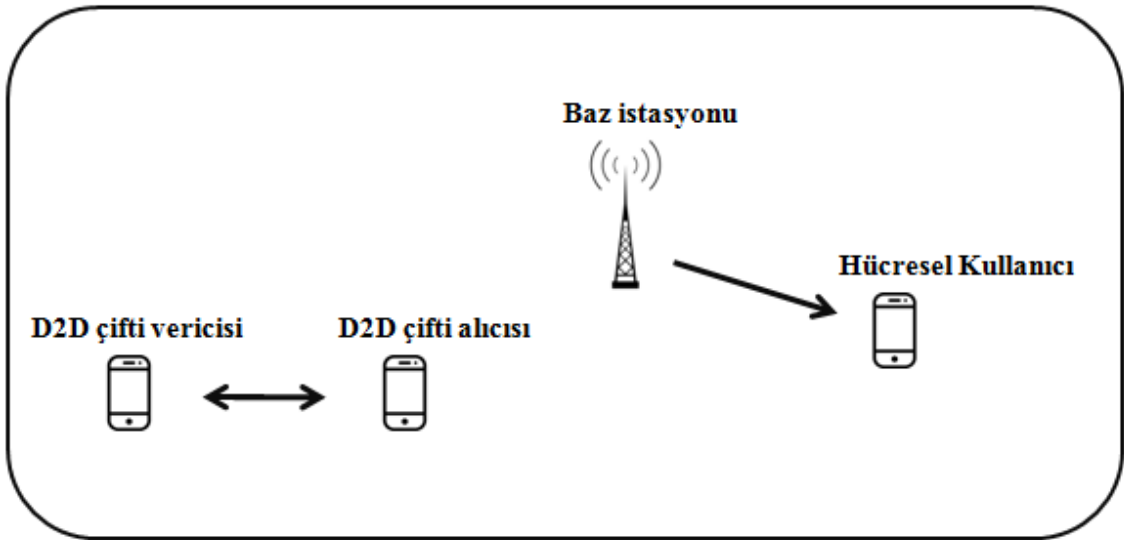
kullanılma amacı, girişimin azaltılması ve yüksek toplam kullanıcı hızına ulaşılması olarak belirtilmiştir. Kaynak tahsisi ve mod seçimi için genellikle optimizasyon algoritmaları tercih edilmiştir. Pang vd. (2013)'te evrimsel algoritma optimizasyonunu kullanan kaynak tahsisi ve mod seçimi yöntemini önermiştir. Takshi vd. (2018)'de genetik algoritma tercih edilmiştir. Kullanılan genetik algoritma ve evrimsel algoritmanın karmaşıklığından kurtulmak için Sun ve Shin 2014, Su vd. (2013)'te kaynak tahsisi ve mod seçimi algoritması olarak parçacık sürü optimizasyonu algoritmasını uygulamışlardır. Bu çalışmada ise, kaynak tahsisi ve mod seçimi için parçacık sürü optimizasyonu algoritması kullanılmıştır. Kaynak tahsisi ve mod seçimi yöntemi için hücresele kullanıcıların alt kanalını kaç tane D2D çifti ile kullanacağı önem teşkil etmektedir. Pang vd. (2013) ve Sun ve Shin (2014) çalışmalarında, aynı kaynağı kullanan birden fazla D2D çifti dikkate alınmıştır. Deng vd. 2012'de, Takshi vd. (2018)'de ve Su vd. (2013)'te aynı kaynağı bir D2D çiftinin kullanılmasına izin verildiği belirtilmektedir. Bu çalışmada ise hücresele kullanıcının, alt kanalını bir adet D2D kullanıcı çifti ile paylaşmasına izin verilmiştir.

#### Girişim sınırlı alan literatür taraması

Literatürdeki çalışmalarda, hücresele kullanıcıların D2D çiftine oluşturduğu girişimi azaltmak için girişim sınırlı alan da önerilmektedir (Min vd., 2011, Chen vd., 2012, Hou vd., 2017). Girişim, belirlenen eşik seviyesi değerinden büyük ise, D2D çifti hücresele kullanıcının kanalını yeniden kullanamaz. D2D çiftinin kanalı yeniden kullanamadığı bu alan, girişim sınırlı alan olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda, sistem kapasitesinin artması beklenmektedir. Min vd., (2011)'de bir adet D2D çiftinin bir adet hücresele kullanıcının kanalını yeniden kullanabildiği sistem incelenmiştir. Chen vd. (2012)'de, bir adet hücresele kullanıcı ve bir adet D2D çiftinden farklı olarak iki D2D çifti ve önceden seçilen hücresele kullanıcı arasında, girişimi önlemek amacıyla, girişim sınırlı alandaki iki D2D çiftinin aynı radyo kaynaklarını paylaşmasına izin veren yeni bir girişim sınırlı alan metodu önerilmiştir. İki makalede de yüksek sistem kapasitesine ulaşıldığı belirtilmektedir. Hou vd. (2017)'de ise girişim sınırlı alandaki D2D çiftleri, diğer çalışmalardaki yarı çift yönlü iletişim yerine, tam çift yönlü iletişim kullanmıştır. Sonuç olarak, kapasite kazancının daha da arttığı görülmüştür. Bu çalışmada bir D2D çiftinin bir hücresele kullanıcının kaynağını yeniden kullanılmasına izin verilmiştir ve yarı çift yönlü haberleşme tercih edilmiştir.

## 2. CİHAZDAN CİHAZA HABERLEŞME

Cihazdan cihaza haberleşme, genel tanım olarak iki cihazın baz istasyonu olmadan doğrudan haberleşmesidir. D2D haberleşmeden, kısaca hücresele kontrollü kısa menzilli doğrudan iletişim olarak da bahsedilmektedir (Min vd. , 2011). Şekil 2.1’de D2D alıcısı ve D2D vericisi arasındaki geleneksel D2D haberleşme gösterilmektedir (Ni vd., 2014). Bunlara ek olarak cihazdan cihaza iletişimde şebeke alt yapısı erişim noktaları kullanılmamaktadır (Mahmood, 2014). Hücresele şebekelerde D2D’yi kullanmanın çeşitli avantajları vardır. İlk olarak, D2D çiftleri arasındaki kısa mesafeli iletişim aralığı nedeniyle, D2D iletişimi enerji verimliliğini ve üretim verimliliğini arttırmaktadır. İkinci olarak, kullanıcılar daha düşük paket gecikmeleri yaşamaktadır (Liu vd. 2015). Üçüncüsü, D2D cihazları arasındaki iyi kanal kalitesi sayesinde yüksek bit hızları ve daha az güç tüketimi görülmektedir. Dördüncüsü, aynı radyo kaynaklarının hücresele ağ ile tekrar kullanılması spektral verimliliği artırabilir (Mach vd. 2015). D2D haberleşme Şekil 2.2’de gösterildiği gibi bant içi (hücresele spektrum) ve bant dışı (lisanssız spektrum) olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 2.1. D2D Haberleşme Sistem Modeli (Ni vd., 2014).

## 2.1. Bant Dışı

Bant dışı D2D bağlantılar, lisans gerektirmeyen spektrumu kullanırlar. Kullanılan lisanssız spektrum genellikle Wifi Direct, ZigBee veya bluetooth gibi ikinci bir ara yüze ihtiyaç duymaktadır. İkinci ara yüz baz istasyonuyla haberleşmek için kullanılır. Baz istasyonu ile haberleşme kanal durumu için önemlidir (Asadi ve Mancuso, 2013). Bant dışı yaklaşımda, D2D ve hücrel haberleşmeler arasında girişim sorunu yoktur. Kontrollü ve otonom olmak üzere iki çeşidi vardır.

**Kontrollü (Controlled):** İkinci ara yüzün kontrolü hücrel ağı altındadır.

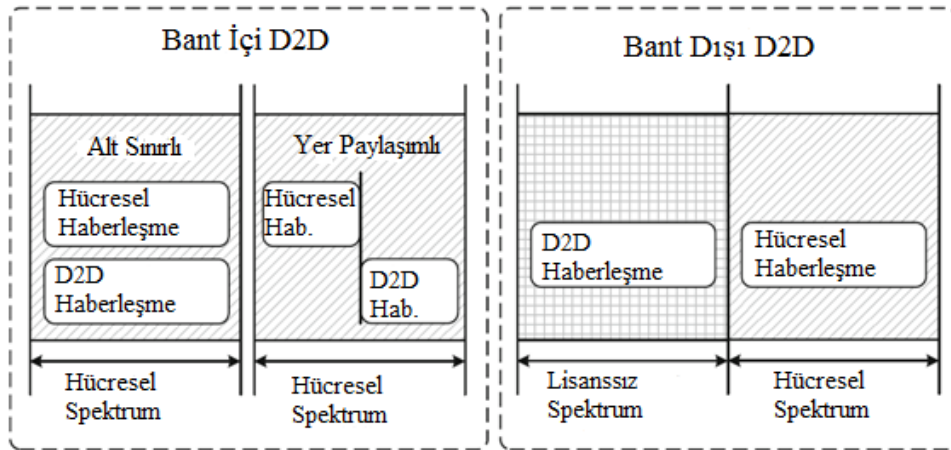
**Otonom (Autonomous):** Kullanıcılar tarafından kontrol edilen cihazdan cihaza haberleşmede ikinci ara yüz hücrel kontrol altında değildir (Asadi vd., 2014).

## 2.2. Bant İçi

İletişim lisanslı spektrum altında gerçekleşir: Hücrel spektrum hem hücrel bağlantı hem de cihazdan cihaza haberleşme için kullanılır. Bant içi haberleşmede D2D bağlantıları lisanslı spektrumda ve BTS kontrolünde haberleştiğinden, iletişim performansı açısından bant dışı D2D'ye göre daha yüksek bir iletişim garantisi vardır. Alt sınırlı ve yer paylaşımli olmak üzere iki çeşidi mevcuttur.

**Yer Paylaşımli (Overlay):** Hücrel iletişim ve cihazdan cihaza haberleşmeye özel hücrel kaynaklar tahsis edilir.(D2D haberleşme çiftinin kullanacağı hücrel kaynaktan, hücrel kullanıcılar çıkarılır.)

**Alt Sınırlı (Underlay):** Hücrel iletişim ve cihazdan cihaza haberleşme aynı radyo kaynaklarını paylaşır.



Şekil 2.2. Bant İçi ve Bant Dışı D2D Haberleşme (Acar 2018).

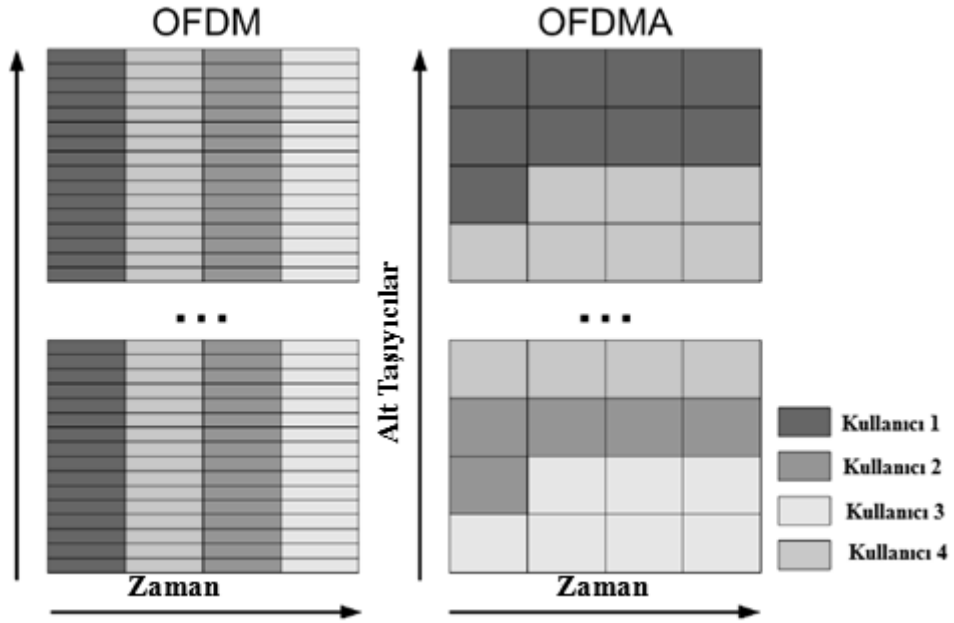
### 2.2.1. Alt sınırlı alanda girişim yönetimi

Bant içi D2D iletişimi altında, spektrum verimliliğini artırmak için D2D bağlantıları kaynak blokları (RB) olarak bilinen aynı spektral kaynakları aynı hücrede tekrar kullanabilir. Bu nedenle, kullanıcı ekipmanları (UE'ler) için gerekli iletişim kalitesini garanti etmek spektrum paylaşımı açısından çok önemlidir. UE'ler tarafından ortak kanal kullanımı farklı girişim senaryolarına neden olabilir. D2D bağlantıları uydu-yer hattı kaynaklarını yeniden kullandığında, aynı spektrum kaynaklarını kullanan D2D alıcıları ve hücresel kullanıcılar girişimlerden etkilenir. D2D çiftleri için girişim diğer ortak kanaldaki D2D çiftlerinden veya BTS'den gelebilir. Bu nedenle, D2D çiftleri, ezici girişim gücü elde etmelerini önlemek için yüksek güçlü BTS'den uzak durmalıdır. Hücresel kullanıcılar için girişim diğer tüm ortak kanallardan gelebilir. Bu nedenle, D2D çiftlerinde etkileşime neden olmamak için hücresel kullanıcılardan uzak durmalıdır. Bazı durumlarda, UE'leri diğer UE'lerden veya BTS'lerden uzak tutmak imkânsız olabilir ve bunların aynı yakınlık alanına veya hücreye çok yakın yerleştirilmesi gerekebilir. Bu durumda, girişim önleme teknikleri için güç kontrolü, kaynak tahsisi ve sıfıra zorlama şemaları ele alınmaktadır (Acar 2018).

### 3. KAYNAK TAHSİSİ VE MOD SEÇİMİ

#### 3.1. Dikgen Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (OFDMA)

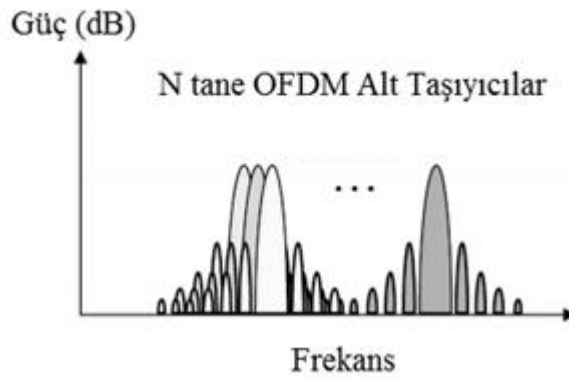
OFDM ve FDMA'ın birleştirilmesi Dikgen Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (OFDMA) olarak adlandırılmaktadır (Akbulut 2012). OFDMA'da mevcut olan alt-taşıyıcılar, farklı tahsis yöntemleriyle gruplandırılarak alt-kanallar oluşturulur. Oluşturulan alt-kanallar farklı kullanıcılara tahsis edilerek çok kullanıcı yapı elde edilir. Şekil 3.1'de gösterildiği gibi tek kullanıcı olan OFDM yapısından, mevcut alt-taşıyıcı kümeleri farklı kullanıcılara çeşitli yöntemlerle tahsis edilerek çok kullanıcı OFDMA erişim tekniği elde edilmiştir. Bu nedenle OFDMA, doğrudan OFDM'ye dayanan bir çoklu erişim tekniğidir (Yıldız 2015). OFDMA'de kanal birbirine dikgen alt-kanallara bölünmekte ve alt kanallar belirli kurallara göre kullanıcılara paylaştırılmaktadır. Bu nedenle bir OFDM çerçevesinde birden fazla kullanıcının verisi taşınabilmektedir (Akbulut 2012).



Şekil 3.1. OFDM ve OFDMA Farkı (Ahmadi 2014).

### 3.1.1. Dikgen frekans bölmeli çoğullama

Dikgen frekans bölmeli çoğullama (OFDM), telsiz iletişim sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Dağıtıcı kanalın neden olduğu semboller arası girişim (ISI) için etkili bir çözüm olarak sunulmaktadır (Armstrong 2009). Temel olarak, OFDM bant genişliğini Şekil 3.2’de gösterildiği gibi  $N$  tane dik alt kanala böler ve veriyi bu alt kanallarla iletir (İşler vd. 2009).

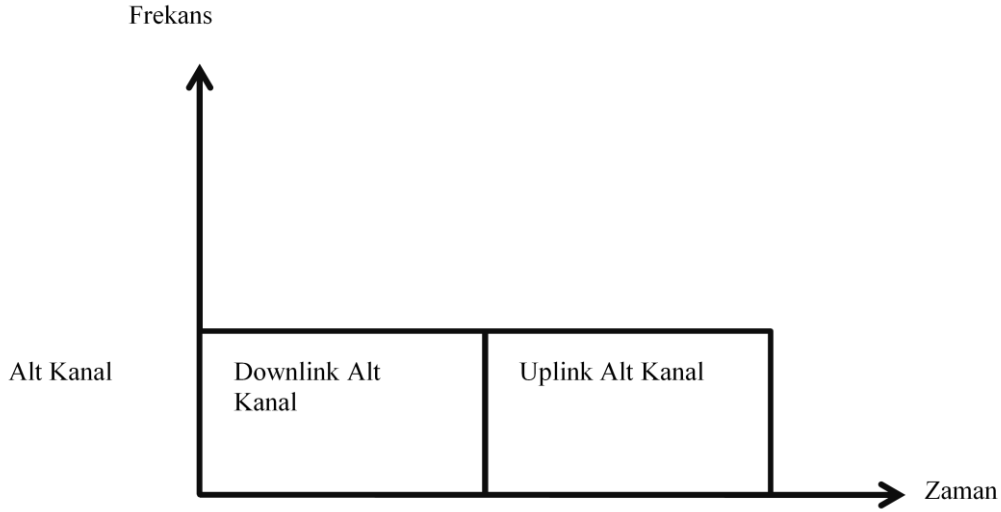


Şekil 3.2. OFDM N tane Alt Kanal (Armstrong 2009).

Tipik OFDM sistemlerinde veriler, her bir alt taşıyıcı üzerinden girişime izin vermeden iletilirler. Böyle bir sistemi ortaya koyabilmek için öncelikle işaretler frekans bölgesinde temsil edilir. Daha sonra ters Fourier dönüşümü ile sembollerin zaman bölgesindeki gösterimleri elde edilir. Bu gösterime çevrimsel ön ek (cyclic prefix) ilave edilerek frekans seçici kanal üzerinden iletilir. Alıcı tarafında çevrimsel ön ek, veri sembollerinden ayrıldıktan sonra geriye kalan işaretlerin Fourier dönüşümü alınarak semboller yeniden elde edilir (Tekbıyık vd., 2016).

### 3.2. Zaman Bölmeli Çift Yönlü İletişim (TDD)

TDD (Time Division Duplexing) iki yönlü radyo sistemlerinde kullanılan çoklama tekniğidir. Bu teknikte baz istasyonu ve terminal aynı radyo frekans kanalından farklı zaman bölümlerinde işaret iletilirler (Koçak, 2007). TDD yönteminde, Şekil 3.3’de gösterildiği gibi alış ve veriş (yukarı link, aşağı link) kanallarında aynı frekans bandından, ayrı zaman dilimlerinden (time slot) faydalanılır (Bandırmalı, 2005). Zaman küçük dilimlere ayrılır ve bazı zaman dilimleri yukarı bağlantı için, diğerleri aşağı bağlantı için atanır (Wymeersch ve Eryılmaz, 2016). Özetle TDD tekniği, alıcı ve verici yapılarının aynı frekansta, farklı zaman aralıklarında veri aktarımı gerçekleştirmesi temeline dayanır. Bu sayede asimetrik trafik tipleri için, trafiğin daha yoğun olduğu yöne daha uzun zaman aralığı tahsis edilerek kapasite arttırılabildiğinden, iletim açısından sisteme esneklik kazandırmaktadır (Yargıcı, 2011).



**Şekil 3.3.** Zaman Bölmeli Çift Yönlü İletişim Zaman Dilimi (Pang vd. 2013).

### 3.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO)

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından kuş ve balık sürülerinin iki boyutlu davranışlarından esinlenilerek geliştirilmiş popülasyon tabanlı sezgisel bir optimizasyon tekniğidir. Bu iki boyutlu davranışlar; çevrelerine adapte olabilmek, zengin yiyecek kaynakları bulabilmek ve avcılardan kaçabilmek gibi bilgi paylaşma yaklaşımı gerektirmektedir. Parçacık olarak adlandırılan her çözüm, arama uzayındaki bir kuş veya balıktır (Tamer ve Karakuzu, 2006). Bilgi paylaşımı sayesinde sürüler, yiyecek ararken ya da avcıdan kaçarken, parçacıklar kendi koordinatlarını bir fonksiyona gönderir ve böylece parçacığın uygunluk değeri ölçülmüş olur. Parçacıklar ölçülen uygunluk değerinden hedefe en yakın olan sürü elemanını takip edip, hızlarını ve konumlarını en başarılı parçacığa göre güncellerler (Der vd. , 2008).

PSO karmaşık boyutlu doğrusal veya doğrusal olmayan fonksiyonlara kolayca entegre olması, az parametre gerektirmesi, hızlı sonuç bulması, globale yakın sonuçlar vermesi, dayanıklı tahminler üretmesi ve yerel optimumlara takılma riskinin az olması gibi sebeplerle diğer arama algoritmalarına üstünlük kurmuştur. PSO’da minimizasyon problemlerinde uygunluk değeri küçük olan parçacıklar büyük olanlara, maksimizasyon problemlerinde ise uygunluk değeri büyük olan parçacıklar küçük olanlara tercih edilir (Ortakçı ve Göloğlu, 2012). PSO’da kullanılan terimler kısaca açıklanmıştır;

**Parçacık:** Parçacık sürü optimizasyonundaki her bir çözüm bir parçacığı oluşturur.

**Sürü:** Parçacıkların birleşimi sürüyü oluşturur. Sürü çözüm kümesini ifade eder.

**Parçacık Sayısı (Sürü Büyüklüğü):** Sürünün büyüklüğü, optimizasyon sırasında seçilen sürüyü oluşturan parçacık sayısıdır (Akbulut 2009).

**Parçacıkların Boyutu:** Problemdaki değişken sayısını gösterir (Mercangöz 2018).

**İterasyon Sayısı:** Sürüdeki herhangi bir parçacığın zaman adımlarını temsil eder. Eğer sürünün en iyi konumu arama süresini  $T$  saniye olarak belirlersek, her bir saniye bir iterasyona karşılık gelir (Akbulut 2009).

**Bilişsel ve Sosyal Bileşenler:** Hız vektörlerinin belirlenmesinde etkili olan bilişsel ve sosyal bileşen parametreleri  $c_1$  ve  $c_2$  genellikle optimizasyon boyunca sabit parametreler olarak kabul edilirler.  $c_1$  parçacıkların  $p_{best}$  değerine,  $c_2$  ise  $g_{best}$  değerlerine doğru çekilmesini kontrol eden katsayılardır. Bilişsel bileşen, sosyal bileşene göre daha büyük seçildiğinde parçacık, yönelmesini kendi kişisel en iyi değerine doğru belirler (Ortakçı 2011). Aynı şekilde sosyal bileşen bilişsel bileşene göre daha büyük seçildiğinde ise parçacıklar küresel en iyi değere doğru daha erken hareketlenmeye başlarlar (Akbulut 2009). Bu değerlerin genel olarak 2 olarak alınmasının, iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Mercangöz 2018).

**Atalet Bileşeni:** Atalet bileşeni bir parçacığın bir önceki adımdaki hızının, bir sonraki adımda hızını ne oranda etkileyeceğini belirleyen parametredir. Atalet bileşeni genel olarak 0,9'dan başlayarak 0,4'e doğru iterasyon süresince doğrusal olarak azaltılır (Akbulut 2009).

**Kişisel En İyi Değeri ( $p_{best}$ ):** Parçacıklar iterasyonlar boyunca en iyi konum değerini ararlar. Her bir iterasyonda parçacık, geçmişte bulunduğu en iyi konum değeri ile iterasyonda elde ettiği yeni konum değerini kıyas eder. Eğer yeni konum değeri o ana kadarki en iyi kişisel konum değerinden daha uygun bir değere sahipse, yeni kişisel en iyi konum olur. İşte parçacığın iterasyonlar boyunca, sürüdeki diğer parçacıklarla kıyas etmeksizin sadece kendi geçmişindeki değerlere bakarak bulunduğu kendi en iyi değerine kişisel en iyi değer  $p_{best}$  denir. Aynı zamanda değeri parçacığın geçmiş tecrübelerini gösteren bir değerdir (Ortakçı 2011).

**Global En İyi Değeri ( $g_{best}$ ):** Sürüde iterasyonlar boyunca parçacıkların konum değerleri hesaba katıldığında bulunan en iyi uygunluğa sahip parçacığın konum değerine global en iyi değer  $g_{best}$  denir. Yeni iterasyonda bulunan  $g_{best}$  değeri en iyi değer'den daha iyi uygunluğa sahipse yeni  $g_{best}$  değeri olur.  $p_{best}$  ve  $g_{best}$  değerleri saklanır (Ortakçı 2011).

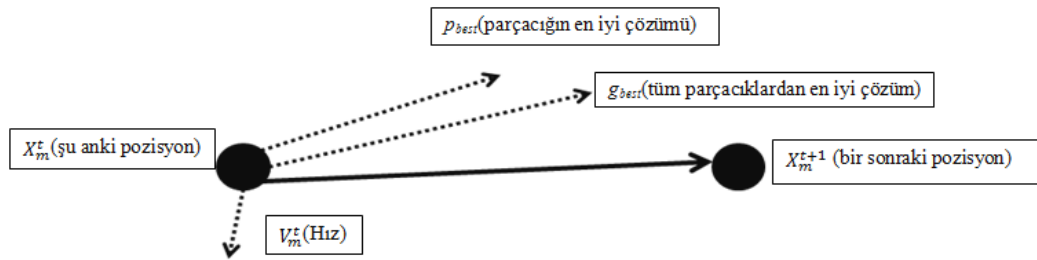
**Konum ve Hız Değeri:** Hız değeri bir parçacığın çözüm uzayında arama yapmasını sağlayan en önemli etkidir. Hız değerleri pozitif ve negatif değerler alıp parçacıkların çözüm uzayında çok yönlü hareket ederek arama yapmasını sağlarlar. PSO'da her bir parçacığın pozisyon değeri ilgili probleme yeni bir çözüm önerisi demektir (Ortakçı 2011). Konum değeri ve hız değeri her iterasyonda hesaplanır ve problemin çözümü olarak kabul edilir (Yaman 2014).



$$V_m^{t+1} = wV_m^t + (\text{rand}(\cdot)c_1(p_{best} - X_m^t)) + (\text{rand}(\cdot)c_2(g_{best} - X_m^t)) \quad (3.1)$$

Konum hızı bağı olarak güncellenir (Yaman 2014). Şekil 3.4'te  $m$ . parçacığın konum ve hız güncellemesi vektörlerle gösterilmektedir.

$$X_m^{t+1} = X_m^t + V_m^{t+1} \quad (3.2)$$



Şekil 3.4. Hız ve Konum Güncelleme (Yaman 2014).

$X_m^t$  :  $m$ . parçacığın  $t$ . iterasyondaki konumu

$X_m^{t+1}$  :  $m$ . parçacığın  $(t+1)$ . iterasyondaki konumu

$V_m^t$  :  $m$ . parçacığın  $t$ . iterasyondaki hızı

$V_m^{t+1}$  :  $m$ . parçacığın  $(t+1)$ . iterasyondaki hızı

$p_{best}$  :  $m$ . parçacığın en iyi konumu

$g_{best}$  : Sürüdeki en iyi konuma sahip parçacığın konumu

$\text{rand}(\cdot)$  : Rastgele fonksiyon

$w$  : Atalet bileşeni

$c_1$  : Bilişsel bileşen

$c_2$  : Sosyal bileşen

### 3.3.1. Parçacık sürü optimizasyonunun işleyişi

1- Popülasyon için rastgele pozisyon ve hız değerleri vektörlere atanır (Çavuşlu vd.,2010). Parçacık sayısı  $M$ , parçacık boyutu  $N$  olan matris gösterimi aşağıdaki gibidir.

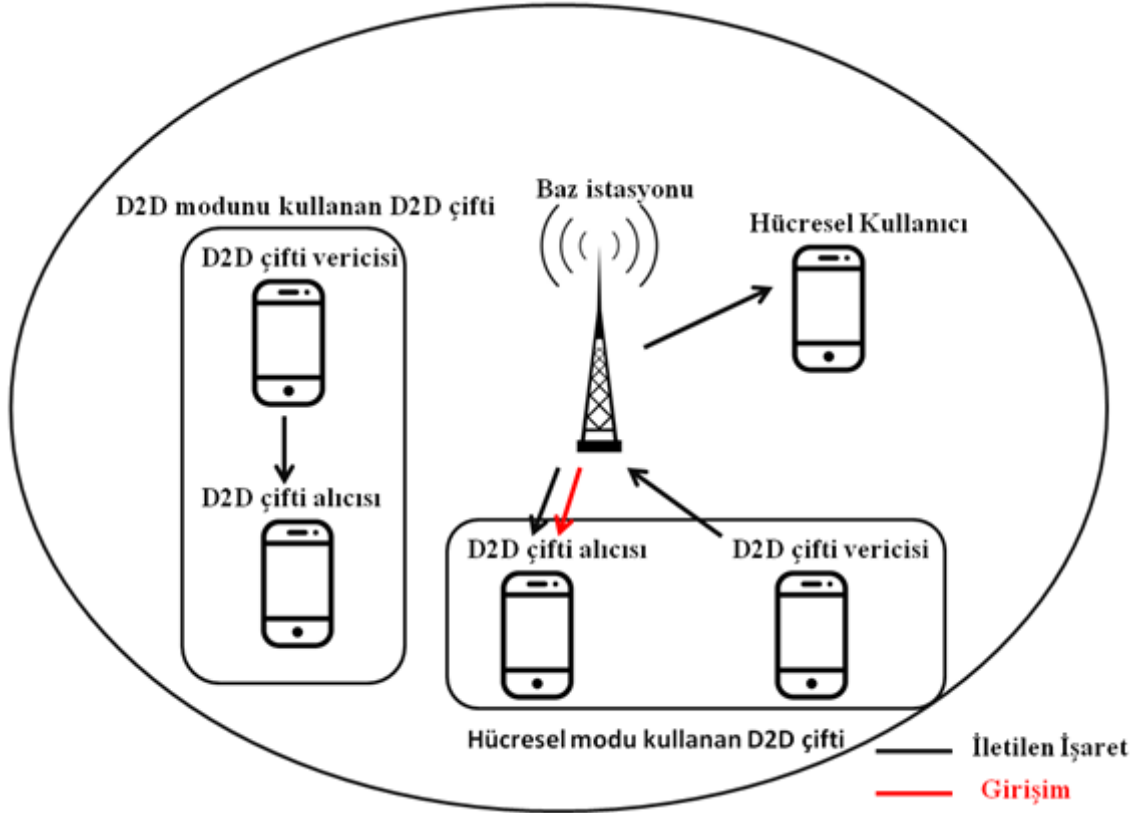
$$\begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{N1} & P_{N2} & \cdots & P_{NM} \end{pmatrix}_{N \times M} \quad (3.3)$$

Yukarıda verilen matrisde  $i$ 'ninci parçacık  $P = [P_{i1} \ P_{i2} \ \dots \ P_{iD}]$ 'dir. Bu parçacık için hız değeri  $V = [V_{i1} \ V_{i2} \ \dots \ V_{iD}]$  olarak gösterilir (Berber vd.,2016).

- 2- Her parçacık için, parçacığın pozisyon vektörü kullanılarak ve varsa problemle ilgili kısıtlamalar da göz önünde alınarak bir uygunluk fonksiyonu hesaplanır (Ortakçı 2011).
- 3- Komşuluktaki o ana kadar en iyi olan parçacık belirlenir ve bu  $g_{best}$  olarak saklanır.
- 4- Her bir parçacık o ana dek sahip olduğu en iyi değeri belirler ve  $p_{best}$  olarak saklanır.
- 5- 3.1 ve 3.2'deki denklemler kullanılarak hız ve konum bilgisi güncellenir.
- 6- Adım 2,3 ve 4 tekrarlanır.
- 7- Parçacığın uygunluk değerini kendi  $p_{best}$  değeri ile karşılaştırılır eğer uygunluk değeri  $p_{best}$ 'ten daha iyi ise  $p_{best}$  uygunluk değeri ile güncellenir.
- 8- Eğer yeterli uygunluk sağlandıysa ya da iterasyon sayısı maksimuma ulaştıysa, sağlanıyorsa döngüden çıkılır. Sağlanmadıysa adım 5'e geri dönülür.
- 9- Döngü sonlandırılır (Ortakçı 2011).

### 3.4. Kaynak Tahsisi ve Mod Seçimi Senaryosu

OFDMA sisteminde iletim için kullanılan alt kanalların tahsisi üzerinde durulmuştur. Hücrel kullanıcılar için bir mod mevcuttur. Ancak, cihazdan cihaza haberleşme kullanıcıları için baz istasyonu olmadan alıcı verici arasında iletimi sağlayabildiği D2D modu ve hücrel kullanıcıların kanalını yeniden kullandığı hücrel mod vardır. Şekil 3.5'de gösterildiği gibi  $C$  adet hücrel kullanıcı ve  $D$  adet D2D çifti bulunmaktadır. Toplam kullanıcı sayısını  $K = C + D$  temsil etmektedir.



Şekil 3.5. Kaynak Tahsisi ve Mod Seçimi Modeli.

Buradaki temel amaç, OFDMA sisteminin dikgen kanal özelliği kullanılarak girişimin azaltılmasıdır. OFDMA sistemi aynı zamanda bant genişliğinin verimli bir şekilde kullanılmasını da sağlamaktadır. Bu sistem modelinin kullanılma nedenlerinden biri de toplam kullanıcı hızını en yüksek seviyeye getirmektir. Kullanıcı hızı için üç farklı formül bulunmaktadır.

1-Hücresel moddaki hücresel kullanıcılar için toplam kullanıcı hızı

$$r_{k,n}^{(0)} = B \log(1 + (P_{k,n}^{BS} G_{k,n}^{BS}) / (P_n + I_{k,n})) \quad k \in C \quad (3.4)$$

2- Hücresel moddaki D2D çifti için toplam kullanıcı hızı

$$r_{k,n}^{(0)} = 1/2 \min(B \log(1 + (P_{k,n}^{BS} G_{k,n}^{BS}) / (P_n + I_{k,n})), B \log(1 + (P_{k,n}^{D2D} G_{k,n}^{BS}) / (P_n + I_{BS,n}))) \quad k \in D2D \quad (3.5)$$

3- D2D moddaki D2D çifti için toplam kullanıcı hızı

$$r_{k,n}^{(1)} = B \log(1 + (P_{k,n}^{D2D} G_{k,n}^{D2D}) / (P_n + I_{k,n})) \quad (3.6)$$

Denklemlerdeki  $r_{k,n}^{(q)}$   $q$  modundaki  $n$ . alt kanalı kullanan  $k$ . kullanıcının kullanıcı hızını,  $B$ , bant genişliğini ifade etmektedir. Baz istasyonu ve D2D çifti kullanıcılarına sırasıyla  $P_{k,n}^{\text{BTS,max}}$ ,  $P_{k,n}^{\text{D2D,max}}$  maksimum güçleri atanır. Daha sonra eşit güç tahsisi dikkate alınarak atanan maksimum güç kullanıcılar arasında eşit bir şekilde paylaşılır (Deng vd., 2012). D2D çiftleri için atanan maksimum güç tüm D2D çiftlerine eşit olarak paylaşılarak D2D iletim gücü,  $P_{k,n}^{\text{D2D}}$  elde edilir. BTS için atanan maksimum gücün, alt kanallar arasında eşit olarak paylaşılması ile BTS iletim gücü,  $P_{k,n}^{\text{BTS}}$  elde edilmektedir.  $G_{k,n}^{\text{D2D}}$  kullanılan sistem modelinde D2D çiftlerindeki yol kaybı modelini,  $L_{\text{D2D}} = 148 + 40 \log_{10} d_{\text{D2D}}$  temsil etmektedir (UMTS 2014). D2D alıcısı ile D2D vericisi arasındaki mesafe  $d_{\text{D2D}}$  ile belirtilmektedir.  $G_{k,n}^{\text{BTS}}$ , kullanılan sistem modelinde BTS'den hücresel kullanıcılara ya da BTS'den D2D çiftine etki eden yol kaybı modelini,  $L_{\text{BTS}} = 128 + 37.6 \log_{10} d_{\text{BTS}}$  temsil etmektedir (UMTS 2014). Baz istasyonu ile hücresel kullanıcı arasındaki mesafe  $d_{\text{BTS}}$  ile gösterilmektedir.  $P_n$  termal gürültüyü,  $I_{k,n}$  ise  $k$ . hücresel kullanıcıda ya da  $k$ . D2D çiftinde meydana gelen girişimi belirtmektedir. Doğal logaritma fonksiyonu  $\log(\cdot)$  ile gösterilmektedir. BTS  $I_{\text{BTS},n}$ , BTS'de meydana gelen girişimi tanımlamaktadır. Parçacık sürü optimizasyonu sonucu kanal tahsisi ve mod seçimi gerçekleştirilen kullanıcılar yukarıdaki sınıflandırılan toplam kullanıcı hızını kullanır.

### 3.4.1. Parçacık sürü optimizasyonu algoritması

PSO algoritmasında sadece hız vektörü değişkenlik gösterdiği için kullanım bakımından kolaylık sağlamaktadır. Aynı zamanda parçacıklar önceki hareketlerini de hafızasında tutması sebebiyle diğer optimizasyon algoritmalarına göre daha fazla avantaja sahiptir. Buda çalışmada parçacık sürü optimizasyonunun tercih edilmesinin nedenidir.

Parçacık sürü optimizasyonu için  $[0,1]$  arası değişen  $x_m^n$  rastgele matrisi oluşturulmuştur. Burada  $n=1,2,\dots,2N$  alt kanal numarasını  $m=1,2,\dots,M$  ise parçacık sayısını belirtmektedir. Bu matrisin  $1,2,\dots,N$ 'e kadar olan alt kanalı hücresel kullanıcı modunu,  $(N+1),(N+2),\dots,2N$ 'e kadar olan kısmı ise D2D modunu ifade edecek şekilde ayrılmıştır. Elde edilen rastgele matrisin  $M \times N$  lik kısmı yani hücresel modu kullanan kullanıcılar eşitlik (3.7)'deki işleme girerek 0 ile  $K$  arası bir değer elde edilir. Elde edilen rastgele matrisin diğer kısmı ise yani D2D modunu kullanan kullanıcılar eşitlik (3.8)'deki işleme girerek  $C+1$  ile  $K+1$  arası bir değer elde edilir.  $Q(x_m^n)$  hücresel moddaki kullanıcıların 0 ile  $K$  arasında aldığı değerleri,  $Q(x_m^{N+n})$  ise D2D

modundaki  $C+1$  ile  $K+1$  arasındaki aldığı değerleri temsil etmektedir. Kanal ataması ve mod seçimini belirten  $x_{k,n}^{(q)}$  matrisi 0 veya 1 değerini alır.

$$Q(x_m^n) = \text{floor}(x_m^n(K+1)), x_m^n \in (0,1) \quad (3.7)$$

$$Q(x_m^{N+n}) = \text{ceil}(x_m^{N+n}(D+1)) + C, x_m^{N+n} \in (0,1) \quad (3.8)$$

$Q(x_m^n)$ ,  $Q(x_m^{N+n})$  değerleri eşitlik (3.9) kullanılarak  $x_{k,n}^{(q)}$  matrisi elde edilir. Örneğin  $Q(x_m^n)$  0 değerini almışsa alt kanala atanmamış, 1 değerini almışsa 1 değerini aldığı  $n$  değerindeki kanala atanmıştır.  $Q(x_m^{N+n})$   $K+1$  değerini almışsa alt kanala atanmamış 1 değerini almışsa 1 değerini aldığı  $N+n$  değerindeki kanala atanmıştır.

$$x_{k,n}^{(q)} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } k = Q(x_m^n) \text{ ve } q = 0 \\ 1, & \text{eğer } k = Q(x_m^{N+n}) \text{ ve } q = 1 \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (3.9)$$

Kanal atamaları ve mod seçimi gerçekleştirildiğinde problemler ortaya çıkmaktadır.

1-Hücrel kullanıcı D2D modunu kullanmaktadır.

2-Kullanıcı birden fazla kanala atanmaktadır.

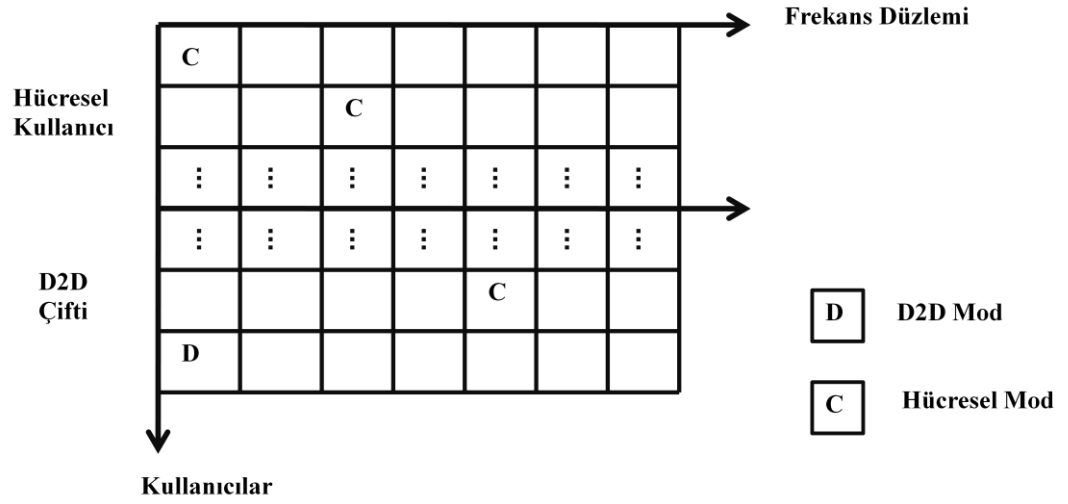
3-Kullanıcılar birden fazla mod seçmektedir.

4-Birden fazla D2D çifti aynı kanalı kullandığında girişime neden olmaktadır.

Ortaya çıkan problemler için parçacık sürü optimizasyonunda aşağıdaki 4 kısıtlama kullanılmıştır.

- Hücrel kullanıcılar  $q=1$  modunu kullanamamaktadır.
- D2D çifti diğer bir D2D çiftiyle aynı alt kanalı kullanması sonucu oluşan girişimi önlemek için her alt kanalda sadece bir tane D2D çifti bulunmaktadır.
- Hücrel kullanıcı ve D2D çiftleri bir tane mod seçebilmektedir.
- Kanalları en fazla bir hücrel kullanıcı ve bir D2D çifti kullanabilmektedir.

Kullanılan kısıtlamalar doğrultusunda Şekil 3.6'daki gibi kanal tahsisi ve mod seçimi gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3.6.** Kanal Tahsisi ve Mod Seçimi Gösterimi.

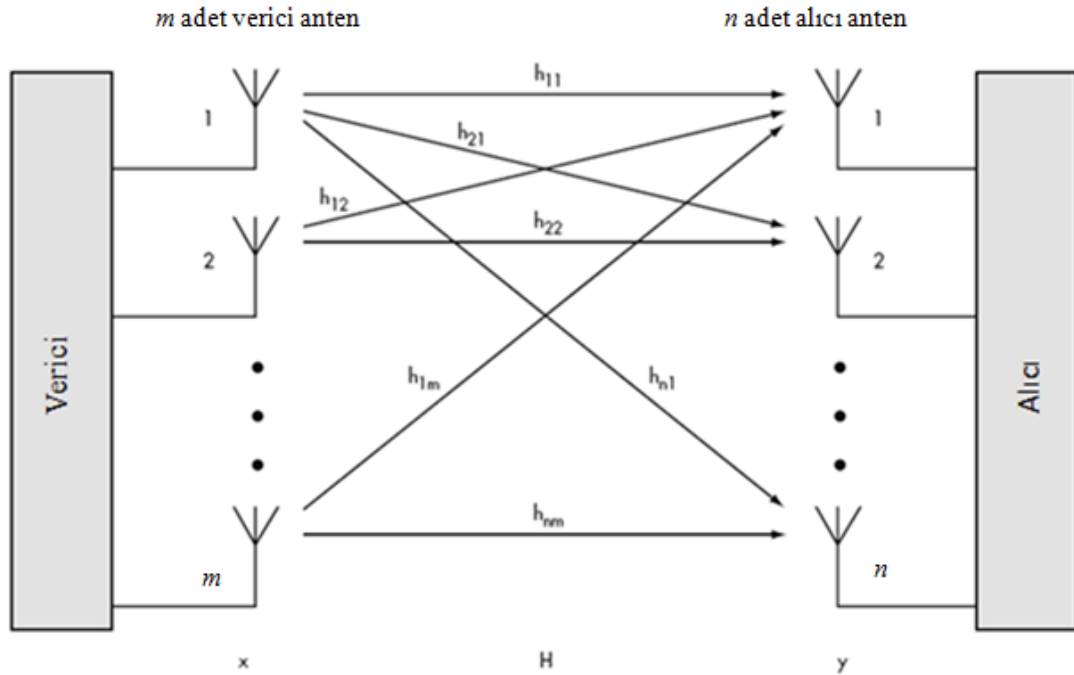
Elde edilen  $x_{k,n}^{(q)}$  matrisi ve  $r_{k,n}^{(q)}$  kullanıcı hızı kullanılarak parçacık sürü optimizasyonu için uygunluk fonksiyonu elde edilmiştir. Uygunluk fonksiyonun temel amacı toplam kullanıcı hızını en yüksek seviyeye getirmektir.

$$R = \sum_k \sum_n \sum_q x_{k,n}^{(q)} r_{k,n}^{(q)} \quad (3.10)$$

## 4. GİRİŞİM SINIRLI ALAN

### 4.1. Çok Girişli Çok Çıkışlı (MIMO) Sistem

MIMO tekniği modelinde kapasiteyi arttırmak için alıcı ve verici tarafta birden fazla anten kullanılır. Antenlerin çeşitlenmesi, ortalama kapasiteyi yükseltmek ve sönümlenmeli bir telsiz haberleşme ağında hata olasılığını ortadan kaldırmak için de uygulanır. MIMO'nun avantajı, dizi kazancı, çeşitlilik kazancı ve uzaysal çoklama kazancı parametrelerinin performans iyileştirmede kullanılarak telsiz haberleşme ağının neredeyse her yönünün geliştirilebilmesidir (Brown vd. 2012: 17-73). Şekil 4.1'de MIMO sistem modeli gösterilmektedir.



Şekil 4.1. MIMO sistem modeli (Agarwal vd. 2015).

MIMO tekniğinde işaret, verici ve alıcı sistemler arasında bulunan alıcı ve verici antenler tarafından çeşitli bağımsız kanallarla iletilebilmektedir ( Al-Obaidi 2020).

$$y = \mathbf{H}x + n \quad (4.1)$$

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{21} & \cdots & h_{m1} \\ h_{12} & h_{22} & \cdots & h_{m2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ h_{1m} & h_{2m} & \cdots & a_{mm} \end{pmatrix} \quad (4.2)$$

$\mathbf{H}$ ,  $m$  adet verici anteni ile  $n$  adet alıcı anteni arasındaki zayıflama kazanımını modelleyen karmaşık bir gauss rastgele değişkenidir. Yukarıdaki denklemde,  $y$  ve  $x$  sembolleri, alınan işareti ve iletilen sembolü,  $n$  gürültü vektörünü belirtmektedir. MIMO tekniğinde avantaj elde etmek için vericide veya alıcıda, farklı tasarımlar kullanılabilir. MIMO sistem modelinde önemli performans kazanımlarını gerçekleştirmeye yardımcı olan bu tasarımlar alıcı çeşitliliği, verici çeşitliliği, uzaysal çeşitliliği ve huzmeleme'dir ( Al-Obaidi 2020).

#### 4.2. Sıfıra Zorlamalı Huzmeleme

Huzmeleme, çoklu antenlerden gelen işaret enerjisinin birleştirilerek uzaydaki belirli noktalara odaklanacak şekilde iletilmesidir. Sıfır zorlamalı huzmeleme (ZF-BF), birden fazla anteni olan kablosuz aygıtın gelen işaret üzerinde uzamsal bir sinyal işleme gerçekleştirmesidir (Human Communication Wiki, 2015). Sıfıra Zorlamalı huzmeleme durumunda, işaret enerjisi ilgili kullanıcıya odaklanırken, diğer kullanıcılar esasen hiç işaret almaz. İdeal durumda bu, iletişim sisteminin farklı kullanıcıları arasında sıfır girişime yol açacaktır (Ahmed vd.,2015). Sıfıra zorlamalı huzmeleme, sistemin işaret/ girişim gürültü oranı (SINR) maksimumuna çıkarır.

Sıfıra zorlamalı (ZF) huzmeleme tekniği seçilirken ve vericide mükemmel kanal bilgisi varsayılarak, farklı kullanıcılara gönderilen veri akışlarının birbirini etkilemeyeceği garanti edilir (Fuchs vd. 2005). Kullanıcılar arasında koordinasyonun mümkün olmadığı çok kullanıcılı bir MIMO sisteminin aşağı bağlantısında, bir alıcı genellikle diğer kullanıcılara iletilen verilerden gelen girişimi iptal edemez. ZF huzmelemede, kullanıcılar için veri akışları, farklı kullanıcıların veri akışları arasındaki girişimin iptal edilmesini sağlamak için seçilen ön kodlama vektörleri ile çarpılır (Bala vd. 2008). Sıfıra zorlamalı huzmelemenin ön kodlama vektörü kanal matrisinin Moore-Penrose tersi (Lim vd. 2006) olduğu için uygulanması kolaydır. Tekil veya kare olmayan bir matrisin Moore-Penrose tersi kullanılarak tersini almak çok basit bir hale getirilebilmektedir (Huang vd. 2004). Sıfıra zorlamalı huzmelemenin iyi tanımlanmış bir problem olması için, baz istasyonu anten sayısının, tüm kullanıcı antenlerinin en az toplam sayısı kadar olması gerekmektedir.

$$N_A \geq N_K N_T \quad (4.3)$$



$N_A$  , baz istasyonu antenlerinin sayısı,  $N_K$  , kullanıcıların sayısı ve  $N_T$  ise kullanıcı başına düşen antenlerin sayısıdır.

Ön kodlama vektörü  $W_{ZF}$  ,  $\mathbf{H}$  kanal matrisinin Moore-Penrose tersi olarak hesaplanır;

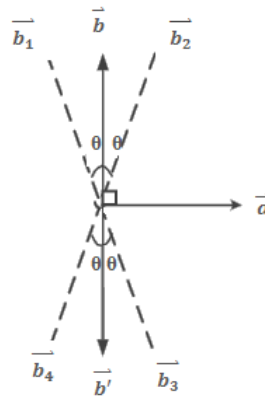
$$W_{ZF} = \mathbf{H}^+ = \mathbf{H}^H (\mathbf{H}\mathbf{H}^H)^{-1} \quad (\text{Reddy and Chakravarthula, 2017}) \quad (4.4)$$

### 4.3. Yarı Ortogonal Kullanıcı Seçimi Algoritması

Yarı ortogonal kullanıcı seçimi (SUS) algoritması seçenekler arasından en iyi seçimi yapan bir optimizasyon algoritmasıdır (Bai vd. 2014). Yarı ortogonal kullanıcı seçimi (SUS), aday setindeki yarı dikey kullanıcılar arasında en iyi metriğe sahip kullanıcıyı seçmekten ve bir sonraki yineleme için güncellemeden oluşur (Yang vd. 2010). Bu algoritmanın temeli, vektör çarpım formülüne dayanmaktadır:

$$\cos \theta = \frac{\bar{a} \cdot \bar{b}}{|\bar{a}| |\bar{b}|} \quad (4.5)$$

Burada  $\bar{a}$  ve  $\bar{b}$  vektörlerdir,  $|\cdot|$  vektör modülünü belirtir. İki vektör arasındaki açı ise  $\theta$  ile ifade edilir ve  $\cos \theta \in [-1,1]$  olarak tanımlıdır. SUS algoritmasında, iki vektörün dikey olup olmadığını tahmin etmek için  $\cos \theta$  değeri kullanılır. Şekil 4.2'de  $\bar{a}$  ve  $\bar{b}$  veya  $\bar{a}$  ve  $\bar{b}'$  dikgen bir çözümdür.  $\bar{b}$  ,  $\bar{b}_1$ 'den  $\bar{b}_2$ 'ye veya  $\bar{b}_3$ 'den  $\bar{b}_4$ 'e kadar herhangi bir konuma geçtiğinde,  $\bar{b}$  ve  $\bar{a}$ 'nın yarı ortogonal olduğu düşünülmektedir. Bu yüzden  $|\cos \theta|$  değeri bir eşik olarak kullanılmaktadır (Lu vd., 2014).



Şekil 4.2. Yarı Ortogonal Vektörler (Lu vd., 2014).

Yarı ortogonal kullanıcı seçimi algoritmasının çalışma şekli aşağıdaki gibidir. Algoritmada bulunan  $N_A$  değeri, MIMO sistem modelinde kullanılan anten sayısını belirtmektedir.

Adım 1: Başlatma;

$$T_1 = \{1, 2, \dots, K\}$$

$$i = 1$$

$$S_0 = \emptyset \text{ (boş küme)}$$

Adım 2: Her kullanıcı için  $k \in T_i$  'dır. Her kullanıcı için  $g_k$  değeri hesaplanır.

$$g_k = h_k - \sum_{j=1}^{i-1} \frac{h_k g_j^*}{\|g_{(j)}\|^2} g_{(j)} \quad (4.6)$$

$i = 1$  ise  $h_k = g_k$  oluşunu ifade eder.

Adım 3:  $i$ . kullanıcı seçilir:

$$\pi(i) = \arg \max \|g_k\| \quad (4.7)$$

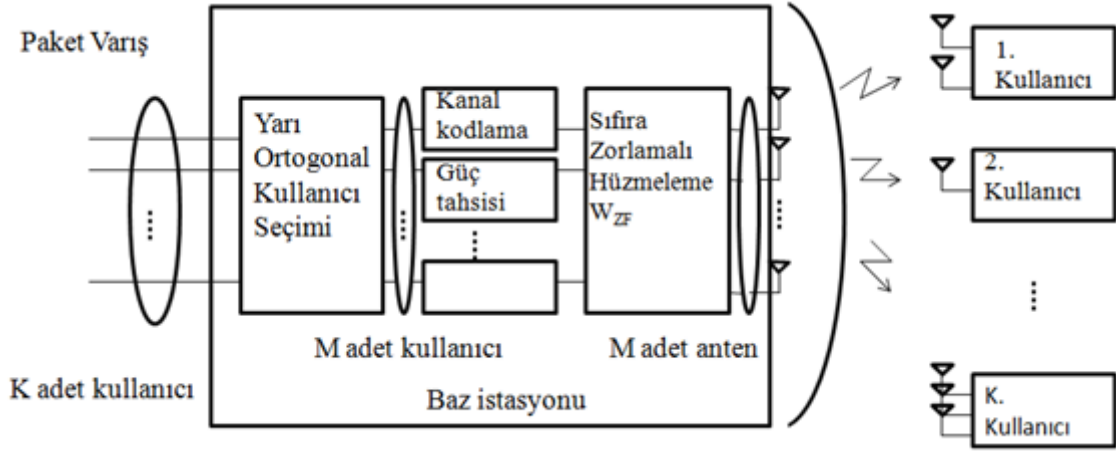
$$S_0 \leftarrow S_0 \cup \{\pi(i)\} \quad (4.8)$$

$$h_{(i)} = h_{\pi(i)} \quad (4.9)$$

$$g_{(i)} = g_{\pi(i)} \quad (4.10)$$

Adım4: Eğer  $|S_0| < N_A$  ise  $i \leftarrow i + 1$  yazılarak adım 2 ye gidilir. Aksi takdirde algoritma tamamlanmış olur.

Algoritmada  $T_1$  kümesi seçilecek adayların kümesini,  $S_0$  kümesi ise seçilen adayların kümesini belirtmektedir.  $S_0$  kümesi başlangıçta boş küme olarak alınır. İterasyon sayısını  $i$ , kullanıcıların indeksini  $k$ , en iyi kullanıcının indeksini ise  $\pi(i)$  göstermektedir. Kanal matrisini  $h_k$  ve  $h_k$ 'nin ortogonal tamamlayıcısını ise  $g_k$  belirtmektedir. Ortogonal tamamlayıcı ( $g_k$ ) bulunurken bir önceki iterasyon değeri kullanılır,  $j = i - 1$  indeksini ifade etmektedir. MIMO sisteminde kullanılan anten sayısı  $N_A$  ile gösterilmektedir.  $\|\cdot\|$  operatörü öklid vektörüdür.



Şekil 4.3. MIMO aşağı link ile ZFBF kullanımı (Yoo ve Goldsmith 2006).

Bu çalışmada girişim sınırlı alan sisteminde aşağı linkteki girişimin iptal edilme nedeni sıfır zorlamalı hüzmeleme ile aşağı linkteki girişimin yok edilmesidir.

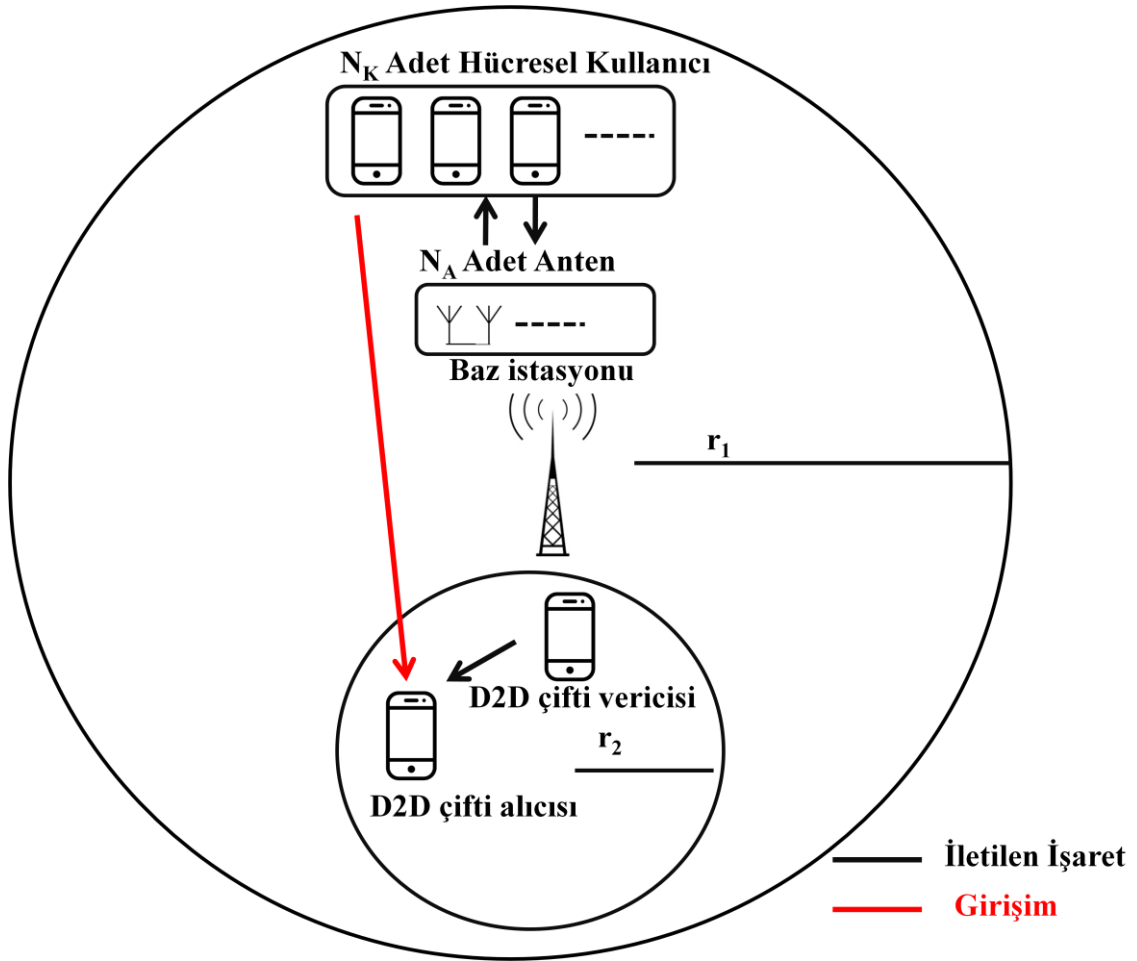
#### 4.4. Ergodik Kapasite

MIMO kanalın ergodik kapasitesi, kanal matrisi  $\mathbf{H}$ 'nin elemanlarının dağılımı üzerinden bilgi hızının ortalamasıdır ve birimi bits/s/Hz'dir. Kanalda belirtilen hızda veri iletimi yapılabilir. Ergodik kapasite, tüm kanal durumları tarafından ortalaması alınan (uzun süreli ortalama) adaptif bir iletim stratejisi altında bir maksimum ortalama oranı tanımlar (Yazlık 2009).

$$C_{erg} = \int_0^{\infty} B \log(1+\gamma) P(\gamma) d\gamma \quad (\text{Goldsmith 2004}) \quad (4.11)$$

#### 4.5. Girişim Sınırlı Alan Sistem Modeli

D2D çiftinin, hücreyel kullanıcının kaynağını yeniden kullanması sonucu oluşan girişimi engellemek için tercih edilen diğer yöntem girişim sınırlı alandır. Girişim sınırlı alan, sistemin kapasite kaybı, ergodik kapasite ve toplam kullanıcı hızı bakımından değerlendirilmiştir. Sistem modelinde  $N_K$  adet hücreyel kullanıcı ve 1 adet D2D çiftinin bulunduğu tek hücreli bir Çok Girişli Çok Çıkışlı (Multiple Input and Multiple Output, MIMO) sistem tasarlanmıştır ve MIMO sistemimizin hüzmeleme tekniğinden yararlanılmıştır. Hücreyel kullanıcılar  $N_A$  adet anten ile donatılmıştır. D2D iletimde uplink periyodundaki girişimler dikkate alınmıştır.



Şekil 4.4. Girişim sınırlı alan sistem modeli.

Sistem modelinde işlemsel karmaşıklığı gidermek için kanalın ortalama gücü 1 olarak alınmıştır. Kanalın ortalama gücü 1 olarak alındığında  $P_a = c(d_a)^{-\alpha} P_0$  denklemi yol kaybı modeli olarak kullanılmıştır. Burada  $P_0$  iletim gücü ve  $P_a$  vericiden  $d_a$  kadar uzaklıkta ölçülen işaretin gücü olarak tanımlanmıştır (Rappaport 2001: 38). Yol kaybı katsayısı  $c=0.1$  ile, yol kaybı üssü ise  $\alpha$  ile temsil edilmiştir (Jiang vd., 2016).  $P_{HK_i, BTS}$   $i$ . hücresel kullanıcının ( $i \in 1, 2, \dots, N_K$ ) BTS'den aldığı ortalama gücü,  $d_{HK_i, BTS}$   $i$ . hücresel kullanıcı ile BTS arasındaki mesafeyi ifade etmek üzere,  $P_{HK_i}$   $i$ . hücresel kullanıcının iletim gücünü göstermektedir.  $P_{HK_i, BTS} = c(d_{HK_i, BTS})^{-\alpha} P_{HK_i}$  ile ifade edilmektedir. Öte yandan,  $i$ . hücresel kullanıcının D2D alıcısında oluşturduğu girişim gücü  $I_{HK_i, D2D_r} = c(d_{HK_i, D2D_r})^{-\alpha} P_{HK_i}$  ile tanımlanmaktadır.

Burada,  $d_{HK_i, D2D_R}$ ,  $i$ . hücreyel kullanıcı ile D2D alıcısı arasındaki mesafeyi belirtmektedir. Gereklî düzenlemelerin ardından aşağıdaki sonuca ulaşılır:

$$I_{HK_i, D2D_R} = \left( \frac{d_{HK_i, D2D_R}}{d_{HK_i, BTS}} \right)^{-\alpha} P_{HK_i, BTS} \quad (4.12)$$

$I_{D2D_T, BTS}$  D2D çifti vericisinin BTS’de oluşturduğu girişim gücünü göstermekte ve  $I_{D2D_T, BTS} = c (d_{D2D_T, BTS})^{-\alpha} P_{D2D_T}$  ile tanımlanmaktadır. D2D çifti vericisi ile BTS arasındaki mesafe  $d_{D2D_T, BTS}$  ile D2D çifti vericisinin iletim gücü ise  $P_{D2D_T}$  ile tanımlanmaktadır.  $P_{D2D_T, D2D_R}$ , D2D çifti vericisi ile D2D çifti alıcısı bağlantısının ortalama gücünü ve  $d_{D2D_T, D2D_R}$ , D2D çifti vericisi ile D2D çifti alıcısı arasındaki mesafeyi göstermek üzere  $P_{D2D_T, D2D_R} = c (d_{D2D_T, D2D_R})^{-\alpha} P_{D2D_T}$  ile ifade edilmektedir. Buradan, matematiksel düzenlemelerle  $P_{D2D_T, D2D_R} = I_{D2D_T, BTS} \left( d_{D2D_T, BTS} / d_{D2D_T, D2D_R} \right)^\alpha$  sonucuna ulaşılır. Hücreyel kullanıcılardan D2D çiftine oluşan girişim dışında D2D çifti vericisinin hücreyel kullanıcılarda oluşturduğu girişimde bulunmaktadır. D2D çifti vericisinin hücreyel kullanıcılarda oluşturduğu girişimi önlemek için D2D çifti vericisindeki güç değeri  $\delta_B$  sınırlandırılmıştır, çünkü D2D çifti vericisindeki güç arttıkça oluşturduğu girişim değeri de artmaktadır. D2D çiftinin güç değeri, D2D çifti vericisinin hücreyel kullanıcılarda oluşturduğu girişimin eşik değerini belirtmektedir ve  $(I_{D2D_T, BTS} / P_{HK_i, BTS}) \leq \delta_B$  ile tanımlanmaktadır. Burada,  $I_{D2D_T, BTS}$ , yukarıda elde edildiği şekliyle,  $P_{D2D_T, D2D_R} \left( d_{D2D_T, BTS} / d_{D2D_T, D2D_R} \right)^{-\alpha}$  kullanıldığında

$$P_{D2D_T, D2D_R} \leq \left( \frac{d_{D2D_T, BTS}}{d_{D2D_T, D2D_R}} \right)^\alpha \delta_B P_{HK_i, BTS} \quad (4.13)$$

matematiksel forma ulaşılır. Girişim sınırlı alanda oluşan girişim için eşik değer belirlenmiştir. D2D kullanıcı çiftleri bu eşik değerini aşan hücreyel kullanıcıların kanalını yeniden kullanmamaktadır. Eşik değerinin altında kalan kullanıcılar ise aday kümesine dahil edilmektedir. D2D kullanıcı çiftinin hangi hücreyel kullanıcı ile aynı kanalı kullanacağı yarı ortogonal kullanıcı seçimi ile aday kümesinden seçilmektedir (Min vd., 2011). Bu algoritma yüksek hücreyel kullanıcı sayılarında dahi, optimal kapasiteyi elde edebilmektedir. Yarı ortogonal kullanıcı ile seçim tamamlandıktan sonra sıfıra zorlamalı hüzmeleme sonucu aşağı linkteki girişimin iptal olduğu dikkate alınmıştır. Girişim sınırlı alan oluşturulurken, belirli varsayımlar göz önünde

bulundurulmaktadır: BTS'nin, kullanıcıların konum bilgisini bildiği ve her kullanıcı için girişim seviyesini aynı yol kaybı üssü ile hesapladığı düşünülmüştür.

Girişim sınırlı alan oluşturulurken, hücrel kullanıcının D2D alıcısında meydana getirdiği girişimin eşik değeri  $\delta_D$  ile verilmektedir. Hücrel kullanıcısının D2D alıcısında oluşturduğu girişim  $I_{R_i} = (I_{\text{HK}_i, \text{D2D}_R} / P_{\text{D2D}_T, \text{D2D}_R}) > \delta_D$  ile ifade edilmektedir. Gerekli düzenlemelerin ardından eşitlik (4.14)'e ulaşılmaktadır.

$$I_{\text{HK}_i, \text{D2D}_R} = \left( \frac{d_{\text{HK}_i, \text{BTS}}}{d_{\text{HK}_i, \text{D2D}_R}} \right)^\alpha P_{\text{HK}_i, \text{BTS}} > \delta_D P_{\text{D2D}_T, \text{D2D}_R} \quad (4.14)$$

Hücrel kullanıcılardan herhangi birinin koordinatı  $L_i = (x_i, y_i)$ , D2D alıcısının koordinatı ise  $L_{\text{D2D}_R} = (x_j, y_j)$  olarak tanımlanmıştır. İki nokta arası uzaklık hesaplamasından, hücrel kullanıcılardan herhangi birinin, BTS ile olan uzaklığı  $d_{\text{HK}_i, \text{BTS}} = \sqrt{(x_i - 0)^2 + (y_i - 0)^2}$  ile, D2D çifti ile olan uzaklığı ise  $d_{\text{HK}_i, \text{D2D}_R} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$  olarak belirtilmektedir.  $d_{\text{HK}_i, \text{BTS}}$  ve  $d_{\text{HK}_i, \text{D2D}_R}$  eşitlik (4.14)'de yerine konduğunda,

$$\left( \frac{x_i^2 + y_i^2}{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \right)^{\alpha/2} P_{\text{HK}_i, \text{BTS}} > \delta_D P_{\text{D2D}_T, \text{D2D}_R} \quad (4.15)$$

elde edilmektedir. Burada,  $(\delta_D P_{\text{D2D}_T, \text{D2D}_R} / P_{\text{HK}_i, \text{BTS}})^{2/\alpha} = A$  olarak alınmış ve  $A > 1$  kabul edilmiştir (Min vd., 2011).  $A$  değeri arttıkça hücrel kullanıcıların dâhil edilmediği alan artmakta ve kapasite kaybı da artmaktadır. Bu durumda eşitlik (4.15)'in yeniden düzenlenmesi ile eşitlik (4.16) elde edilmektedir.

$$\left( \frac{x_i^2 + y_i^2}{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \right) > A \quad (4.16)$$

Genel çember denklemi kullanılarak ve eşitlik (4.16)'nın yardımıyla, girişim sınırlı alanın dairesel yarıçapı  $r_2 = \sqrt{(Ax_j^2 + Ay_j^2) / (A-1)^2}$  ve daire merkezi  $((Ax_j / A - 1), (Ay_j / A - 1))$  olarak bulunmaktadır (Agnew 1962: 26).  $N_K$  hücrel kullanıcıların,  $N'_K$  ise girişim sınırlı alanda D2D çiftinin kanalını yeniden kullanmak için seçilebilecek hücrel kullanıcıların sayısını göstermektedir.  $\text{Pr}(\cdot)$ ,  $I_{R_i}$ 'nin  $\delta_D$ 'den küçük olma olasılığını tanımlamak üzere,  $N'_K$

$$N'_K = \left\lfloor N_K \left(1 - \Pr(I_{R_i} < \delta_D)\right) \right\rfloor = \left\lfloor N_K \left(1 - \frac{\pi r_2^2}{\pi r_1^2}\right) \right\rfloor \quad (4.17)$$

şeklinde elde edilmektedir. Hücresel kullanıcıların D2D çiftlerine oluşturduğu girişim değeri, belirlenen  $\delta_D$  eşik değerinden az olmalıdır. Öte yandan, hücresel kapsama alanının yarıçapı  $r_1$  ile temsil edilmektedir. Aşağı yuvarlama için kullanılan matematiksel operatör de  $\lfloor \cdot \rfloor$  ile gösterilmiştir.  $R_{\text{GSA}}$ , girişim sınırlı alanın hücresel alana oranını ifade etmek üzere,  $N'_K$  son olarak

$$N'_K = N_K (1 - R_{\text{GSA}}) = N_K \left(1 - \frac{Ax_j^2 + Ay_j^2}{(A-1)^2 r_1^2}\right) \quad (4.18)$$

şeklinde tanımlanabilir. Yukarıda  $(P_{\text{D2D}_T, \text{D2D}_R} / P_{\text{HK}_i})$ 'nin yerine eşitlik (4.13) kullanılarak

$$\delta_D \delta_B \left(d_{\text{D2D}_T, \text{BTS}} / d_{\text{D2D}_T, \text{D2D}_R}\right)^\alpha = A^{\alpha/2} \quad \text{eşitliği} \quad \text{elde} \quad \text{edilmektedir.} \quad \text{Buradan,}$$

$$\delta_D = \frac{A^{\alpha/2}}{\delta_B} \left(d_{\text{D2D}_T, \text{BTS}} / d_{\text{D2D}_T, \text{D2D}_R}\right)^\alpha \quad \text{şeklinde hesaplanmaktadır.}$$

Yarı ortogonal kullanıcı seçim algoritmasında kapasite, seçilecek hücresel kullanıcıların sayısının bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Girişim sınırlı alan olmadığı varsayılırsa, hücresel kullanıcılar için elde edilen kapasite eşitlik (4.19)'de verilmektedir (Yoo ve Goldsmith 2006).

$$C_{\text{HK}} = N_A \log_2(1 + P_{\text{HK}_i, \text{BTS}} \log N_K) \quad (4.19)$$

D2D kullanıcıları, hücresel kaynakları yeniden kullanmak amacıyla girişim sınırlı alan dışından, hücresel kullanıcı seçmektedir. Bu sınırlı alanda bulunan hücresel kullanıcılar, yarı ortogonal kullanıcı seçimi adayları dışında kalmaktadır. Bu durum aşağıda  $C_{\text{kayıp}}$  ile tanımlanan kapasite kaybına sebep olmaktadır (Yoo ve Goldsmith 2006).

$$C_{\text{kayıp}} = N_A \log_2 \left( \frac{1 + P_{\text{HK}_i, \text{BTS}} \log_2 N_K}{1 + P_{\text{HK}_i, \text{BTS}} \log_2 N'_K} \right) \quad (4.20)$$

Yarı ortogonal kullanıcı seçimi algoritmasında seçilen hücresel kullanıcılar için, en kötü senaryoda girişim sınırlı alanın kenarında olduğu varsayılarak, D2D çiftinin kullanılan kapasite değeri

$$C_{\text{D2D}} = \frac{1}{\ln 2} \left[ \frac{1}{N_A} + \frac{(1 - \delta_D)}{N_A + 1} + \frac{(1 - \delta_D)^2}{N_A + 2} + \frac{(1 - \delta_D)^3}{N_A + 3} + \dots \right] \quad (4.21)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Min vd., 2011). Toplam kapasite değeri ise  $C_{\text{toplam}} = C_{\text{HK}} + C_{\text{D2D}} - C_{\text{kayıp}}$  ile bulunmaktadır ve kullanıcı hızı cinsinden aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır (Ghavami vd., 2004: 19). Toplam kullanıcı hızı  $\nu$  ile band genişliği ise  $B$  ile ifade edilmektedir.

$$C_{\text{toplam}} (\text{bps} / \text{Hz}) = \frac{\nu (\text{Mbps})}{B (\text{MHz})} \quad (4.22)$$



## 5. SONUÇLAR

Çizelge 5.1’de iki sistem modelinde de kullanılan parametreler verilmiştir.

**Çizelge 5.1.** Sistem model parametreleri.

$r_1$	500 m
$B$	3 MHz
$\delta_B$	0.1
$P_{HK_i}$	10 dB
$R_{GSA}$	0.8
$d_{D2D_R,BTS}$	250 m
$d_{D2D_T,D2D_R}$	15 m
$N_A$	4
BTS’nin maksimum iletim gücü ( $P_{k,n}^{BTS,max}$ )	36 dBm
D2D maksimum iletim gücü ( $P_{k,n}^{D2D,max}$ )	17 dBm
Gürültü yoğunluğu ( $P_n$ )	-174 dBm/Hz
$M$	30

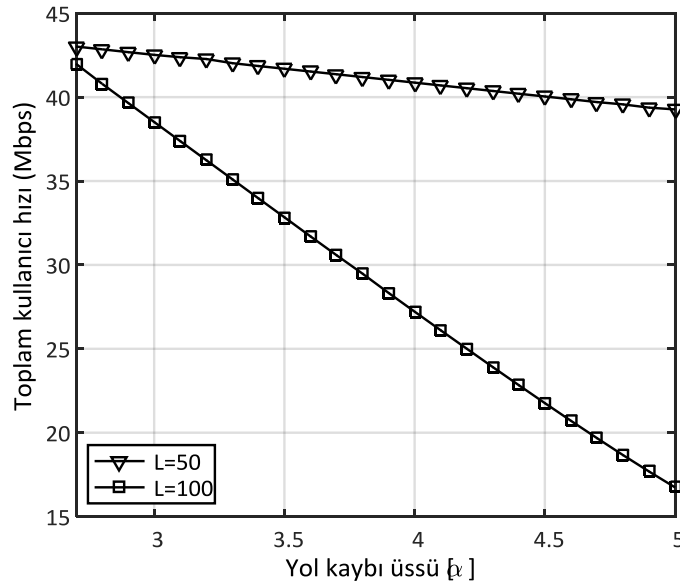
### 5.1. Kaynak Tahsisi ve Mod Seçimi Sistemi

#### 5.1.1. Yol kaybı üssü

Büyük ölçekli yol kaybı modeli, alınan işaret gücünün verici-alıcı mesafesi ( $d$ ) ile kanalın yol kaybı üssü ile  $d^{-\alpha}$  olarak azaldığı varsayılır (Srinivasan ve Haengi, 2009). Kentsel hücreli sistemlerde yol kaybı üssü tipik olarak 2 ile 4 arasında değişmektedir (Rappaport 2001: 52). Yol kaybı üssü önemli bir parametredir ve sistem performansını büyük ölçüde etkiler. Çeşitli ortamlar için yol kaybı üssü değerleri tablo halinde aşağıda verilmiştir (Viswanathan 2013).

**Çizelge 5.2.** Ortama göre yol kaybı üssü değerleri.

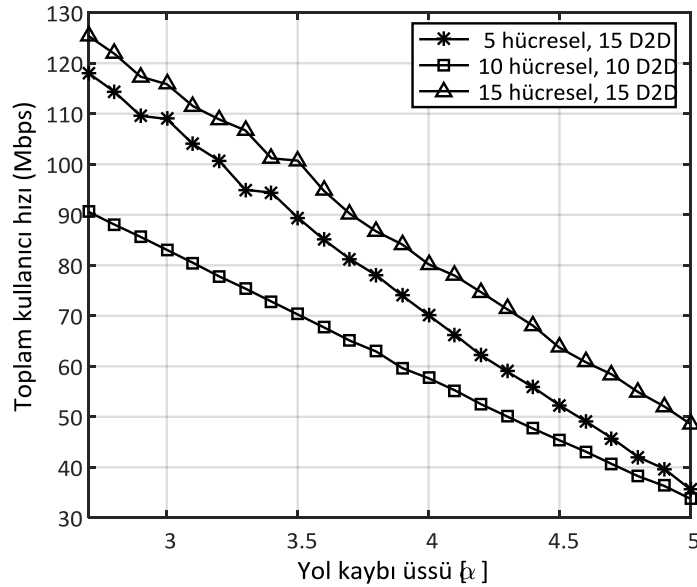
Ortam	Yol kaybı üssü, $\alpha$
Serbest uzay	2
Kentsel Alan, hücrese radyo	2,7–3,5
Gölgeli alan, hücrese radyo	3–5
Bina içi, direk görüş var	1,6–1,8
Bina içi, direk görüş yok	4–6
Fabrika içi, direk görüş yok	2–3



**Şekil 5.1.** Toplam kullanıcı hızının yol kaybı üssü ile değişimi.

Şekil 5.1'de, 5 tane D2D çifti ve 5 tane hücrese kullanıcı bulduğu alt kanal sayısının  $N = 20$  olarak alındığı tek hücreli bir sistem modeli incelenmiş ve iki farklı yol kaybı değeri için ( $L = 50, 100$ )  $\alpha$  değerinin değişimine göre toplam kullanıcı hızı gösterilmiştir.  $L$  değeri uzaklığı ifade etmektedir. Yol kaybı değeri,  $L = 50$  için toplam kullanıcı hızında 43.01 Mbps'den 39.27 Mbps'ye kadar %8,7'lik bir düşüş gerçekleşirken, yol kaybı değeri  $L = 100$  için 41.99 Mbps'den 16.74 Mbps'ye kadar %60,1'lik bir düşüş gerçekleşmiştir.  $L = 100$  için elde edilen toplam kullanıcı hızı daha fazla bozulmaya uğramaktadır. Aynı zamanda şekilden,  $\alpha$  değerinin artması ile toplam kullanıcı hızındaki azalma da gözlenmektedir.

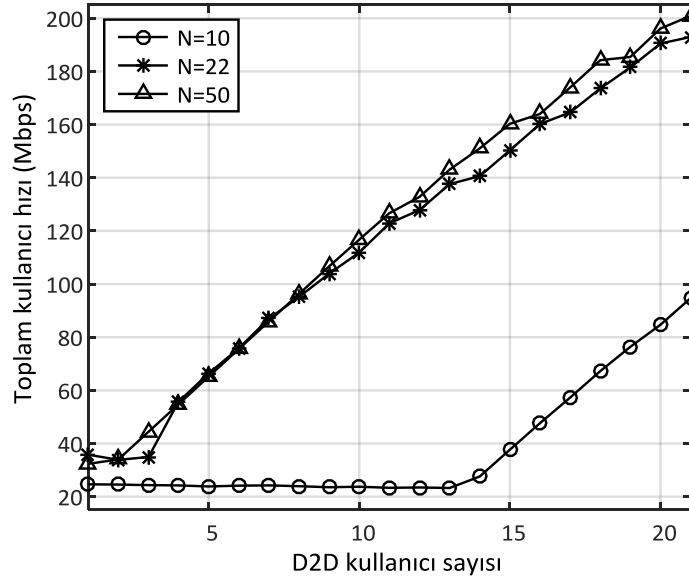
Hücreyel kullanıcı sayıları ve D2D çifti sayılarının farklılık gösterdiği üç farklı tek hücreli sistem modeli için, toplam kullanıcı hızının yol kaybı üssüne göre değişimi Şekil 5.2’de verilmiştir.  $N = 20$  olarak alınmıştır. Şekilde, hücreyel kullanıcı ve D2D çifti sayılarının sırası ile (10, 10) ve (5, 15) olduğu bu iki durumda, toplam kullanıcı sayısı aynı olmasına rağmen, D2D çifti sayıları birbirinden farklı olarak planlanmıştır. Hücreyel kullanıcı 5, D2D çifti sayısı bundan daha fazla olduğunda ve 15 olarak tanımlandığında, toplam kullanıcı hızı daha yüksektir. Şekil 5.3’de elde edilen sonuçla örtüşür şekilde, D2D çifti sayısı arttıkça toplam kullanıcı hızı da artmaktadır. Hücreyel kullanıcı sayısı 15, D2D kullanıcısı sayısı 15 olan bir senaryo için, kullanıcı sayısı arttığından, toplam kullanıcı hızı da artmıştır.



Şekil 5.2. Farklı kullanıcı sayılarında yol kaybı üssüne göre toplam kullanıcı hızı değişimi.

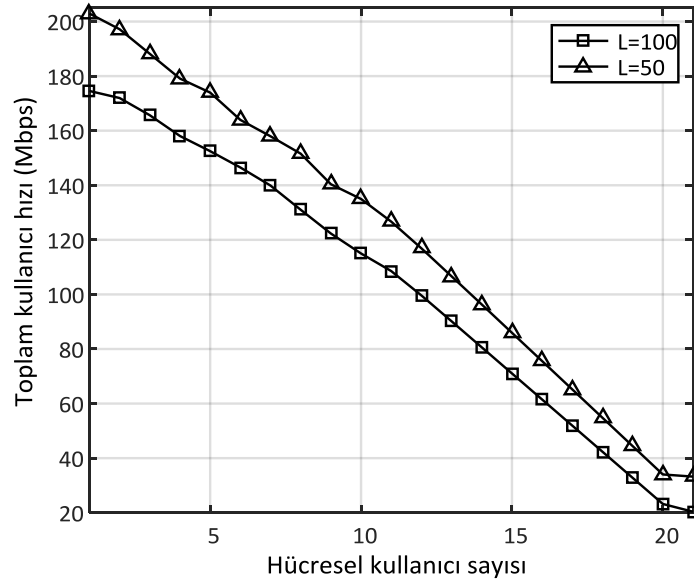
### 5.1.2. Cihazdan cihaza haberleşme çifti sayısı

Hücreyel kullanıcı ve D2D çifti sayısının  $K = 22$  alındığı, D2D çiftinin 1’den başlayıp 21’e kadar artarak devam ettiği tek hücreli bir sistem modeli için incelenmiş ve üç farklı alt kanal değeri için ( $N = 10, 22, 50$ ) toplam kullanıcı hızı değişimi Şekil 5.3’te gösterilmiştir.  $\alpha = 4$  olarak alınmıştır. D2D çifti sayısı arttıkça toplam kullanıcı hızı artmaktadır. Aynı zamanda alt kanal sayısı toplam kullanıcı sayısından düşük olduğunda, parçacık sürü optimizasyonundaki kısıtlama nedeniyle, 2 D2D çifti aynı kanalı kullanamayacağından bazı D2D çifti alt kanala atanamamaktadır. Bu nedenle alt kanal sayısının D2D çifti sayısından az olması durumunda toplam kullanıcı hızı kötü yönde etkilenmektedir.



Şekil 5.3. Toplam kullanıcı hızının D2D kullanıcı sayısı ile değişimi.

### 5.1.3. Hücresel kullanıcı sayısı

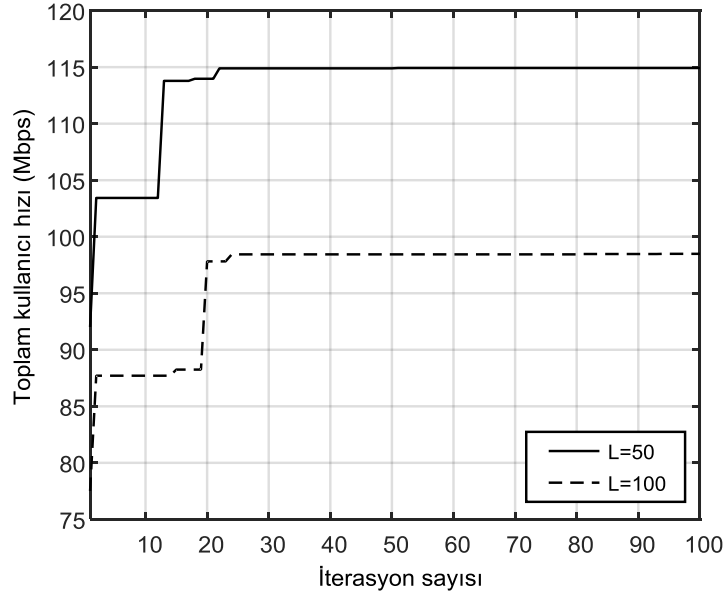


Şekil 5.4. Toplam kullanıcı hızının hücresel kullanıcı sayısına göre değişimi.

Toplam kullanıcı sayısının  $K = 22$  alındığı hücresel kullanıcı sayısının 1'den başlayıp 21'e kadar artarak devam ettiği tek hücreli bir sistem modeli de incelenmiş ve iki farklı yol kaybı değeri için ( $L = 50, 100$ ) toplam kullanıcı hızı değişimi Şekil 5.4'te gösterilmiştir.  $N = 50$ ,

$\alpha = 4$  olarak alınmıştır. Şekil 5.1’de gözlemlendiği gibi bu şekilde de  $L=100$  yol kaybı değerinde daha çok bozulma gözlenmiştir. D2D çifti sayısının azalırken hücresel kullanıcı sayısının artması toplam kullanıcı hızında azalmaya neden olmuştur.

#### 5.1.4. İterasyon sayısı



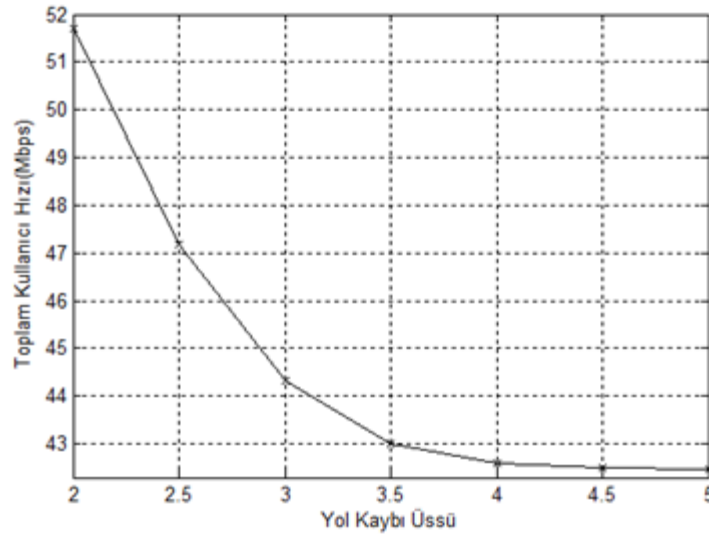
Şekil 5.5. Toplam kullanıcı hızının iterasyon sayısı ile değişimi.

Şekil 5.5’te 10 tane D2D çifti ve 10 tane hücresel kullanıcının bulunduğu tek hücreli bir sistem modeli incelenmiş ve iki farklı yol kaybı değeri için ( $L=50, 100$ ) iterasyon sayısına göre toplam kullanıcı hızı değişimi verilmiştir.  $N=25$ ,  $\alpha=4$  olarak alınmıştır. Parçacık sürü optimizasyonunda ilk değerler çözüme yakın değerden uzak olup belli bir iterasyon sayısından sonra değer sabitlenir. Şekil 5.5’de görüldüğü gibi toplam kullanıcı hızı iterasyon sayısı arttıkça artmış belli bir iterasyon sayısından sonra sabitlenmiştir.  $L=100$  yol kaybı değerinde  $L=50$  değerinden daha çok bozulma gözlenmektedir. Bunun nedeni uzaklığın artması sonucu toplam kullanıcı hızında azalma görülmesidir.

## 5.2. Girişim Sınırlı Alan Sistemi

### 5.2.1. Yol kaybı üssü

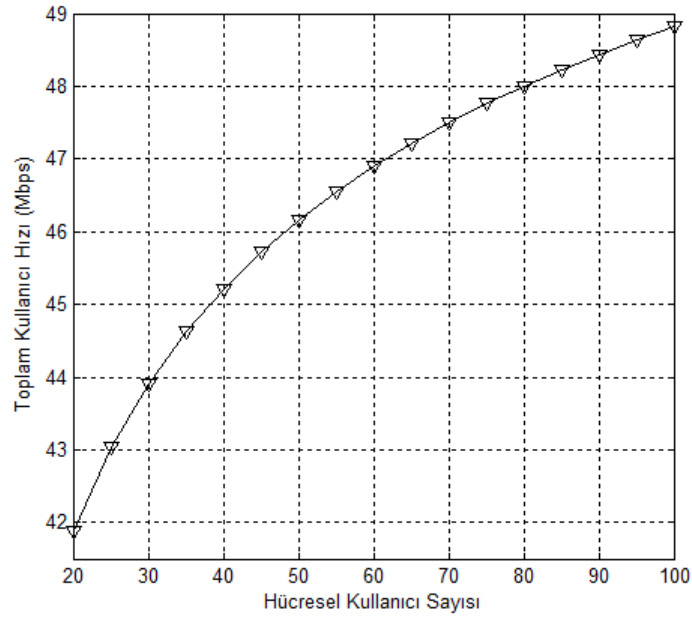
Şekil 5.6'da 1 adet D2D çifti ve 100 adet hücreyel kullanıcının bulunduğu tek hücreli bir sistem modeli incelenmiş yol kaybı üssü değerine göre toplam kullanıcı hızı değişimi verilmiştir.  $N_A = 4$  olarak alınmıştır. Şekil 5.6'da görüldüğü gibi yol kaybı üssünün artması toplam kullanıcı sayısının azalmasına neden olmaktadır. Yol kaybı üssünün belli bir kırılma değerinden sonra toplam kullanıcı hızının azalmasında düşüş görülmektedir.



Şekil 5.6. Toplam kullanıcı hızının yol kaybı üssüne göre değişimi.

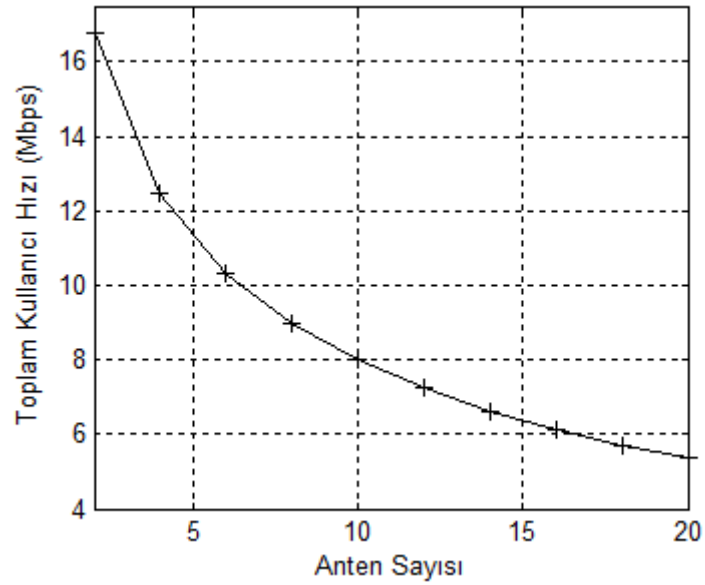
### 5.2.2. Hücreyel kullanıcı sayısı

Hücreyel kullanıcı sayısının 20'den başlayıp 100'e kadar artarak devam ettiği tek hücreli bir sistem modeli incelenmiş ve toplam kullanıcı hızı değişimi Şekil 5.7'de gösterilmiştir. D2D kullanıcı çifti sayısı 1,  $N_A = 4$  ve  $\alpha = 4$  olarak alınmıştır. Hücreyel kullanıcı sayısının artması D2D çiftinin kanalını yeniden kullanacak aday sayısının artmasına neden olur. Aynı zamanda D2D çifti sabitken hücreyel kullanıcının artması toplam kullanıcı sayısını da arttırmaktadır. Şekil 5.7'de görüldüğü gibi hücreyel kullanıcı sayısının artması toplam kullanıcı hızını da arttırmaktadır.



Şekil 5.7. Toplam kullanıcı hızının hücresel kullanıcı sayısına göre değişimi.

### 5.2.3. Anten sayısı

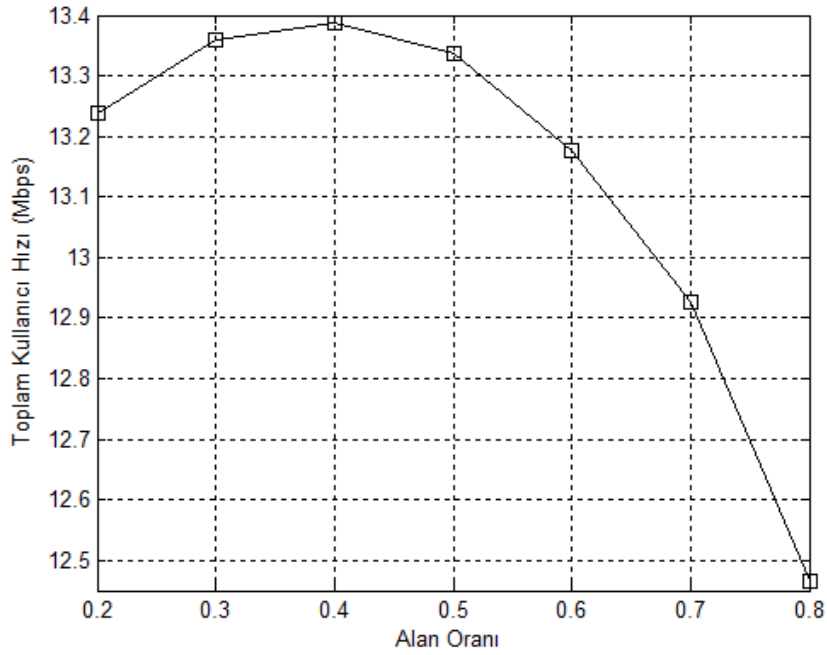


Şekil 5.8. Toplam kullanıcı hızının anten sayısına göre değişimi.

1 adet D2D çifti 100 adet hücresel kullanıcısı olan tek hücreli bir sistem modeli anten sayısı bakımından incelenmiş ve toplam kullanıcı hızı değişimi Şekil 5.8'de gösterilmiştir.

( $N_A = 2:2:20$ ),  $\alpha = 4$  olarak alınmıştır. Eşitlik 4.21’de anten sayısı payda kısmında yer almakta dolayısıyla kapasite denklemini ters orantılı etkilemektedir. Şekil 5.8’de görüldüğü gibi anten sayısı arttıkça toplam kullanıcı hızı azalmaktadır.

#### 5.2.4. Alan oranı



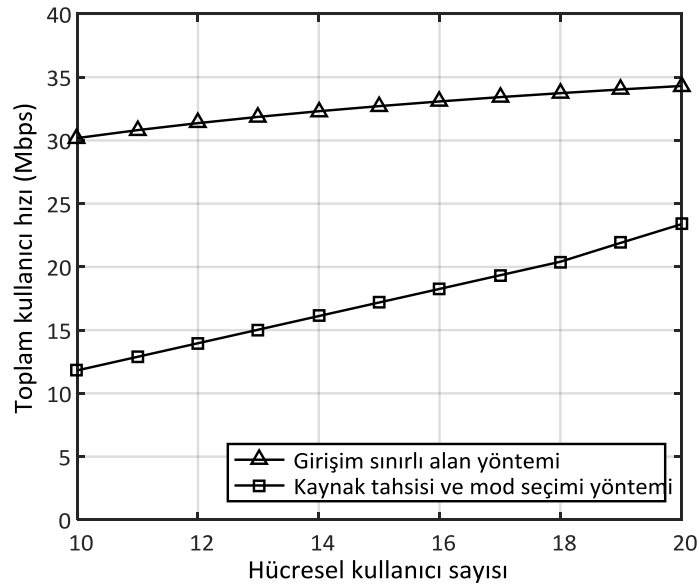
Şekil 5.9. Toplam kullanıcı hızının alan oranına göre değişimi.

1 adet D2D çifti ve 100 adet hücrese kullanıcı bulunan tek hücreli bir sistem modeli alan oranı bakımından incelenmiş ve toplam kullanıcı hızı değişimi Şekil 5.9’da gösterilmiştir.  $N_A = 4$ ,  $\alpha = 4$  olarak alınmıştır. Alan oranı 0,2 değerinden 0,2 artış ile 0,8 değerine kadar artmaktadır. Alan oranı girişim sınırlı alanın hücrese alana oranını temsil etmektedir. Alan oranının artması D2D çiftinin kanalını yeniden kullanacağı hücrese kullanıcı aday sayılarının azalması anlamına gelmektedir. Alan oranı 0,4 değerine kadar toplam kullanıcı hızında artış gösterdikten sonra düşüşe neden olmuştur. İlk başta hücrese kullanıcılar için kapasite kaybının ihmal edilebilir derecede düşük olması nedeni ile toplam kullanıcı hızında artış görülmüştür. Alan oranında 0,4 değerinden sonra kapasite kaybı gittikçe arttığı için toplam kullanıcı hızında düşüş gözlenmektedir.



### 5.3. Sistemlerin Karşılaştırılması

PSO tabanlı kaynak tahsisi mod seçimi sistem modelinde D2D çifti sayısı 1, hücrel kullanıcı sayısı ise 10 ile 20 arasında artacak şekilde ayarlanmıştır.  $N=30$  ve  $\alpha=4$  olarak alınmıştır. Girişim sınırlı alan sistem modelinde ise, yine D2D çifti sayısı 1 ve hücrel kullanıcı sayısı 10 ile 20 arasında artacak şekilde tanımlanmıştır.  $N_A=4$  ve  $\alpha=4$  olarak alınmıştır. Kaynak tahsisi ve mod seçimi ile girişim sınırlı alan sistem modellerinin toplam kullanıcı sayısına göre değişimi Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Kaynak tahsisi ve mod seçimi ile girişim sınırlı alan sistem modelleri için toplam kullanıcı hızının hücrel kullanıcı sayısına göre değişimi.

## 6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, D2D çiftlerinin arasındaki ve D2D çifti ile hücre kullanıcıları arasındaki girişim problemlerini minimize etmek amacıyla, girişim sınırlı alan ile kaynak tahsisi ve mod seçimi yöntemleri kullanılmış ve her iki yaklaşım için önerilen sistem modellerinin performansı karşılaştırılmıştır.

Kaynak tahsisi ve mod seçimi sisteminde toplam kullanıcı hızını etkileyen, kullanıcı sayısı, yol kaybı üssü, yol kaybı değeri, iterasyon sayısı, alt kanal sayısı gibi faktörler değerlendirilmiştir. Girişim sınırlı alan sisteminde ise toplam kullanıcı hızını etkileyen, hücre kullanıcı sayısı, yol kaybı üssü, anten sayısı, alan oranı gibi faktörler açısından değerlendirilmiştir. Girişim sınırlı alan sistem modelinde, hücre kullanıcı sayısı arttıkça, yarı ortogonal kullanıcı seçim algoritmasında seçilecek aday sayısı arttığından toplam kullanıcı hızı daha da artış göstermiştir.

PSO algoritmasından yararlanan kaynak tahsisi ve mod seçimi sistem modelinde ise hücre kullanıcı sayısı arttığında toplam kullanıcı hızı artmıştır. İki sistem modelinde de hücre kullanıcı sayısı arttığında, toplam kullanıcı sayısı artmıştır. D2D çiftinin en az girişime neden olan hücre kullanıcının kanalını yeniden kullanması durumu, girişim sınırlı alan modelinde, kaynak tahsisi ve mod seçimi modeline göre daha yüksek toplam kullanıcı hızı başarımı elde edilmesine yardımcı olmuştur.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Acar, S.O. (2018). Interference Mitigation For Device-to-Device Based Wireless Systems. M.Sc. Thesis, Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology, İzmir, 90s.
- Agarwal, A., Misra, G., and Agarwal, K. (2015). The 5th Generation Mobile Wireless Networks- Key Concepts, Network Architecture and Challenges. *American Journal of Electrical and Electronic Engineering* ,3(2) , 22-28.
- Agnew, R. P. (1962). *Calculus, Analytic Geometry and Calculus, with Vectors* . McGraw-Hill Book Company.
- Akbulut, H. (2012). OFDMA İçin En İyi ve En İyiye Yakın Kaynak Tahsisi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 110s.
- Akbulut, İ. (2009). Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Anten Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 82s.
- Al-Obaidi, W.S. (2020). 5G Kablosuz İletişim Ağlarında MI-MIMO Sistemi İçin Huzmeleme ve İş birlikli Yapının Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 116s.
- Armstrong, J. (2009). OFDM for optical communications. *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology*. 27( 3), pp. 189–204.
- Apostolos, G., Konstantinos, K., Aikaterini, N., Foukalas, F., and Khattab, T. (2016). Energy efficient spectrum allocation and mode selection for mission-critical d2d communications. *IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*, pp. 435–440.
- Asadi, A. and Mancuso, V. (2013). WiFi Direct and LTE D2D in action. *in IFfP Wireless Days (WD)*, Valencia, Spain, pp. 1-8.
- Asadi, A., Mancuso, V., and Wang, Q. (2014). A survey on device-to-device communication in cellular Networks. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 16( 4), 1801–1819.

### KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Aytaç, K. N., Girici, T., Yuksel, M., Telli A., Koksal M.İ., “Device-to-Device Caching for Video Streaming Content”, Accepted to, IEEE 24. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU 2017), Antalya, Türkiye.
- Bai, O., Gao, H., Lv, T., and Yuen, C. (2014). Low-complexity user scheduling in the downlink massive MU-MIMO system with linear precoding. *IEEE International Conference on Communications in China*, pp. 380–384.
- Bala, E., Pan, J.-L., Olessen, R., and Grieco, D. (2008). Zero-forcing beamforming codebook design for MU-MIMO OFDM systems. *IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 1-5.
- Bandırmalı, N., Çeken, C., Bayılmış, C., Ertürk, İ. (2005). Kablosuz Erişim Yöntemlerinin Karşılaştırılmalı İncelemesi. Elektrik, Elektronik, Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi, 95–98, İstanbul, Türkiye.
- Basgumus, A., Namdar, M., Yilmaz, G., and Altuncu, A. (2015). Performance Comparison of the Differential Evolution and Particle Swarm Optimization Algorithms in Free-Space Optical Communications Systems. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 15(2), 17–22.
- Berber, O., Ateş, M., Alhasan, H., Gunes, M. (2016). Parçacık Sürü Optimizasyonu ve PID ile Mobil Robotun Optimum Yörünge Kontrolü. Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Kahramanmaraş.
- Brown, T., Carvalho, E., Kyritsi, P. (2012). *Practical Guide to MIMO Radio Channel with MATLAB Examples* (Birinci Baskı). John Wiley.
- Chen, B. and Yang, C. (2016). Energy costs for traffic offloading by cacheenabled D2D communications. in IEEE WCNC.
- Chen, L., Chen, X., Yang, D., Zeng, M., and Zhang, X. (2012). Downlink Resource Allocation for Device-to-Device Communication Underlying Cellular Networks. *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, 232–237.

### KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Çavuşlu, M.A., Karakuzu, C., Şahin, S. (2010). Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması ile Yapay Sinir Ağı Eğitiminin FPGA Üzerinde Donanımsal Gerçeklenmesi, *Politeknik Dergisi*, 13(2), 83-92.
- Deng, H., Ge, N., and Tao, X. M. (2012). Joint Mode Selection and Resource Allocation for Cellular Controlled Short-Range Communication in OFDMA Networks. *IEEE Transactions on Communications*, E9 5-B (3), 1023- 1026.
- Der, O., Vural, R.A. ve Yıldırım, T. (2008). Parçacık Sürü Optimizasyonu Tabanlı Evirici Tasarımı (Inverter Design Based on Particle Swarm Optimization). Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- ElSawy, H., Hossain, E., and Alouini, M.-S. (2014). Analytical Modeling of Mode Selection and Power Control for Underlay D2D Communication in Cellular Networks. *IEEE Transactions on Communications*, vol. 62, pp. 4147–4161.
- Engin, B. (2015). Klasik ve ağ kodlamalı OFDMA sistemlerde alt-taşıyıcı atama. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 127s.
- Fuchs, M., Del Galdo, G., and Haardt, M. (2005) .A novel tree-based scheduling algorithm for the downlink of multi-user MIMO systems with ZF beamforming. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 3, pp. 1121–1124.
- Ghavami, M., Kohno, R., and Michael, L.B. (2004). *Ultra wideband signals and systems in communication Engineering*. Wiley.
- Goldsmith, A. (2004). *Wireless Communications*. Cambridge, U.K.: *Cambridge University Press*, to be published.
- Hiwale, A, Ghatol, A, Gulhane, P. (2007). Capacity and performance analysis of spacetime block coded MIMO systems with receive antenna selection in Rayleigh fading channels. *IET-UK International Conference on Information and Communication Technology in Electrical Sciences*, 986–990.

### KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Hou, X., Liu, F., and Liu, Y. (2017). Capacity gain analysis for underlying full-duplex D2D communications with a novel interference management scheme. *28th IEEE Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications*, 1–5.
- Huang, G. B., Zhu, Q. Y., and Siew, C. K. (2004). Extreme learning machine: a new learning scheme of feedforward neural Networks. *IEEE International Joint Conference on Neural Networks*, Budapest, 25-29 July, 2, 985-990.
- İşler, E., Yabacı, S.B., İkiz, T. (2009). UMTS ve LTE Şebekelerinde Radyo Erişim Tekniklerinin Kıyaslanması. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu.
- Jänis, P. , Chia-Hao, Y. , Doppler, K., Ribeiro, C., Wijting, C., Hugl, K., Tirkkonen, O. and Koivunen, V. (2009). “Device-to-Device Communication Underlying Cellular Communications Systems,” *Int’l. J. Commun., Network and Sys. Sci.*, 2(3), 169–78.
- Jiang, Y., Liu, Q., Zheng, F., Gao, X., and You, X. (2016). Energy efficient joint resource allocation and power control for D2D communications. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65 (8), 6119–6127.
- Koçak, C.,Ertürk, İ.,Ekiz, H. (2007).Yerel Çok Noktalı Dağıtım Sistemi, *Akademik Bilişim’07*, Dumlupınar Üniversitesi .
- Lee, N., Lin, X., Andrews, J. G. and Heath, R. (2015). Power control for D2D underlaid cellular networks: Modeling, algorithms, and analysis. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 33(1), 1–13.
- Lim, B. C., Schlegel, C., Krzymień, W.A. (2006). Efficient receive antenna selection algorithms and framework of transmit zero-forcing beamforming. *In Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Society*.
- Liu, J., Kato, N., Ma, J., and Kadowaki, N. (2015) .Device-to-device communication in LTE-advanced networks: A survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 17(4), 1923–1940.

### KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Lu, X., Wu, J., Huang, X., Li, W., Lu, J., and Gong, Z. (2014) . An improved Semi-orthogonal User Selection algorithm based on condition number for multiuser MIMO systems. *China Communications*, 11(13), 23–30.
- Mach, P., Becvar, Z., and Vanek, T. (2015). In-band device-to-device communication in OFDMA cellular networks: A survey and challenges. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 17(4), 1885–1922 .
- Mahmood, K. (2014). Mode Selection Rules For Device to Device Communications: Design Criteria and Performance Metrics. M.Sc. thesis, Istanbul Technical University, Istanbul, 95s.
- Mercangöz, B. ( 2018). Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Portföy Optimizasyonu: Borsa İstanbul Ulaştırma Sektörü Hisseleri Üzerine Bir Uygulama. *IV. International Conference on Applied Economics and Finance*, Aydın, Türkiye.
- Min, H., Lee, J., Park, S., and Hong, D. (2011). Capacity Enhancement Using an Interference Limited Area for Device-to-Device Uplink Underlying Cellular Networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 10 (12), 3995–4000.
- Mingan, Y., and Cetin, B. K. (2017). Comparing resource sharing methods for device-to-device communication in cellular Networks. 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 1-4.
- Ni, Y., Qiao, D., Li, X., Jin, S. and Zhu, H. (2014). Transmission mode switching for device to device communication aided by relay node. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 1–14.
- Ortakçı, Y. (2011). Parçacık Sürü Optimizasyonu Yöntemlerinin Uygulamalarla Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 78s.
- Ortakçı, Y., Göloğlu, C. (2012) Parçacık Sürü Optimizasyonu İle Küme Sayısının Belirlenmesi, Akademik Bilişim'12 - XIV. Akademik Bilişim Konferansı, Uşak, 335-341.

### **KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)**

- Pang, H., Wang, P., Wang, X., Liu, F., and Van, N. N. (2013). Joint mode selection and resource allocation using evolutionary algorithm for device-to-device communication underlying cellular networks. *Journal of Communication*, 8 (11), 751–757.
- Rappaport, T. (2001). *Wireless Communications: Principles and Practice*, Prentice Hall.
- Reddy, V. C. K. , Chakravarthula, R. A. (2017). Intelligent Beam Weight Computation for Massive Beamforming. Master of Science Thesis, Blekinge Institute of Technology,49s.
- Srinivasan, S., Haenggi, M. (2009). *Path loss exponent estimation in large wireless Networks*. Information Theory and Applications Workshop, 124 - 129.
- Su, L., Ji, Y. S., Wang, P., and Liu, F. Q. (2013). Resource allocation using particle swarm optimization for D2D communication underlay of cellular networks. in *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 129 -133.
- Sun, S., and Shin, Y. (2014). Resource Allocation for D2D Communication Using Particle Swarm Optimization in LTE Networks. *International Conference on Information and Communication Technology Convergence*, 371–376.
- Takshi, H., Dogan, G., and Arslan, H. (2018). Joint optimization of device to device resource and power allocation based on genetic algorithm. *IEEE Access*, 6, 21173–21183.
- Tamer, S. ve Karakuzu, C. (2006). Parçacık Sürüsü Optimizasyon Algoritması ve Benzetim Örnekleri, ELECO 2006 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Sempozyumu.
- Tekbıyık, K., Alacakoca, H., Tuğrel, H.B., Ayyıldız, C., Kurt, G.K. (2016). OFDMA İşaretlerinin Çevrimsel Otokorelasyon Fonksiyonu ile Ayrıştırılması. Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı.
- Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), 1998. *Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS*. 3GPP TR 30. 03U, version 3. 2. 0.



### KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Viswanathan, M. (2013). Simulation of digital communication systems using Matlab. Erişim adresi: <http://www.gaussianwaves.com/simulation-of-digitalcommunication-systems-using-matlab-ebook/>
- Wymeersch, H., Eryilmaz, A. (2016). *in Academic Press Library in Mobile and Wireless Communications.*
- Yaman, I. (2014). Portföy Optimizasyonunda Değiştirilmiş Parçacık Sürü Optimizasyonu Yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 61s.
- Yang, J., Jang, S., and Kim, D. K. (2010). Sum rate approximation of zero-forcing beamforming with semi-orthogonal user selection. *Journal of Communications and Networks*, 12(3), 222–230.
- Yargıcı, M.Ö. (2011). Noktadan Noktaya Radyo Linklerde Zaman Bölmeli Çiftleme Tekniğinin Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 68s.
- Yazlık, E. N. (2009). Farksal Gelişim Algoritmasının Çok Girişli Çok Çıkışlı Sistemlerde Optimum Anten Konfigürasyonuna Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Erciyes, 63s.
- Ye, J. and Zhang, Y. J. (2015). A guard zone based scalable mode selection scheme in D2D underlaid cellular Networks. *in IEEE International Conference on Communications*, pp. 2110–2116.
- Yıldız, A.Ş. (2015). 4G (LTE) Haberleşme Sistemlerinin Matematiksel Modellenmesinin Matlab Simülasyonu ve Performans Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 110s.
- Yoo, T., and Goldsmith, A. (2006). On the optimality of multiantenna broadcast scheduling using zero-forcing beamforming. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 24 (3), 528–541.

**KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)**

Zhang, R., and Liang, Y. C. (2008). Exploiting multiantennas for opportunistic spectrum sharing in cognitive radio networks. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 2 (1), 88–102.

Zero-forcing Beamforming (2020, 5 Mayıs). Erişim adresi:

[https://humancommunications.fandom.com/wiki/Zero-forcing\\_Beamforming](https://humancommunications.fandom.com/wiki/Zero-forcing_Beamforming)

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı: Taşer, Meryem

Doğum Tarihi ve Yeri: 12.07.1994/KÜTAHYA

E-mail: meryemtsr@gmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği	(2017-Devam Ediyor)
Lisans	Abant İzzet Baysal Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği	2017
Lise	Kütahya Ali Güral Anadolu Lisesi	2012

### **Yabancı Dil**

İngilizce YÖKDİL (2019)- 62,5

### **Yayınlar**

Taşer, M., Namdar, M., Başgümüş, A., (2020). Cihazdan Cihaza Haberleşmede Girişim Giderimi Yöntemlerinin Performans Karşılaştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, Minör revizyon, Ağustos 2020.