



## CİHAZDAN CİHAZA HABERLEŞMEDE GİRİŞİM GİDERİMİ YÖNTEMLERİNİN PERFORMANS KARŞILAŞTIRILMASI

Meryem TAŞER, Mustafa NAMDAR\*, Arif BAŞGÜMÜŞ

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Cihazdan Cihaza  
Haberleşme,  
Girişim Sınırlı Alan,  
Kaynak Tahsisi ve  
Mod Seçimi,  
Toplam Kullanıcı Hızı.*

### Öz

Bu çalışmada, cihazdan cihaza (D2D) haberleşme çiftleri arasında, hücrel kullanıcılar arasında ve D2D çifti ile hücrel kullanıcılar arasında oluşan girişim problemlerini gidermeyi amaçlayan, iki farklı sistem modeli analiz edilmektedir. İlk incelenen sistem modeli, eşit güç kontrolü ve kısıtlamalar kullanılarak gerçekleştirilen parçacık sürü optimizasyonu (PSO) tabanlı kaynak tahsisi ve mod seçimidir. Bu yöntemle mevcut alt kanalların verimli ve optimal şekilde kullanılması, en yüksek seviyeli toplam kullanıcı hızının elde edilmesi sağlanmaktadır. İlave olarak, kullanıcı sayısı, yol kaybı üssü, yol kaybı değeri, iterasyon sayısı, alt kanal sayısı gibi toplam kullanıcı hızını etkileyen faktörler de değerlendirilmektedir. Analiz edilen diğer sistem modelinde, hücrel kullanıcıların D2D kullanıcı çiftine oluşturdukları girişim için bir eşik seviyesi belirlenmektedir. Eşik seviyesi değeri ile oluşturulan girişim sınırlı alan için üzerinde çalışılan ikinci sistem modeli ile girişim azaltma ve toplam kullanıcı hızını, kaynak tahsisi ve mod seçimi yöntemine göre yükseltme başarımı sağlanmaktadır. Her iki sistem modeli için, hücrel kullanıcı sayısı temel alınarak, toplam kullanıcı hızları karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma sonucunda girişim sınırlı alan sistem modelinin girişim gideriminde kaynak tahsisi ve mod seçimi modeline göre daha etkili olduğu görülmüştür. Girişim sınırlı alan sistem modelinde, girişim sınırlı alana hücrel kullanıcılardan bazıları dahil olmadığı için kapasite kaybına neden olmaktadır. Kaynak tahsisi ve mod seçiminde kapasite kaybı gerçekleşmemektedir.

## PERFORMANCE COMPARISON OF INTERFERENCE MITIGATION METHODS IN DEVICE-TO-DEVICE COMMUNICATION

### Keywords

*Device-to-Device  
Communication,  
Interference Limited Area,  
Resource Allocation and  
Mode Selection,  
Total Throughput.*

### Abstract

In this study, two different system models are analyzed which aim to mitigate interference problems between device-to-device (D2D) communication pairs, cellular users, cellular users and D2D pair. The first system model examined is the particle swarm optimization (PSO) based resource allocation and mode selection using equal power control and constraints. With this method, it is ensured that the existing subchannels are used efficiently and optimally, and the highest total throughput is obtained. Additionally, the factors affecting the total throughput, such as number of users, path loss exponent, path loss value, number of iterations, number of subchannels, are also evaluated. In the other system model analyzed, a threshold level is determined for the interference that cellular users create to the D2D user pair. For the interference-limited area created with the threshold level value, the second system model studied is used to reduce the interference reduction and increase the total throughput according to the resource allocation and mode selection method. For both system models, total throughputs are compared based on the number of cellular users. As a result of the comparison, it has been observed that the interference-limited area system model is more effective in interference mitigation than the resource allocation and mode selection model. In the interference-limited area system model, the interference-limited area causes loss of

\* İlgili yazar / Corresponding author: mustafa.namdar@dpu.edu.tr, + 90 274 443 4226

capacity as some of the cellular users are not included. There is no capacity loss in the resource allocation and mode selection.

#### Alıntı / Cite

Taşer, M., Namdar, M., Başgümüş, A., (2020). Cihazdan Cihaza Haberleşmede Girişim Giderimi Yöntemlerinin Performans Karşılaştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(4), 1019-1030.

#### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. Taşer, 0000-0003-3577-3495  
M. Namdar, 0000-0002-3522-4608  
A. Başgümüş, 0000-0002-0611-3220

#### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	07.05.2020
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	25.08.2020
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	23.09.2020
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	25.12.2020

## 1. Giriş (Introduction)

Telsiz haberleşmede, artırılabilir hız ve iletişim kalitesi, son kullanıcılar için önemli gereksinimlerdendir. Kullanıcı sayılarının artmasıyla bu ihtiyacı karşılamak daha da zorlaşmıştır. Cihazdan cihaza (D2D) haberleşme spektrum ve enerji verimliliğini artırmak, trafik yükünü azaltmak amacıyla önerilen çözümlerden biridir (Asadi vd., 2014). D2D haberleşme, spektrum kullanımını iyileştirmek, pil tüketimini azaltmak, daha iyi kullanıcı deneyimi sağlamak, ağ verimini ve veri hızını arttırmak amacıyla gelecekteki telsiz ağlara entegre edilebilecek dikkat çekici bir yöntemdir. Bu yöntem, ses ve veri trafiğini iletmek için bir baz alıcı-verici istasyonu (BTS) kullanmak yerine yerel bir bağlantı kurarak birbirine yakın iki kullanıcı cihazın doğrudan iletişim kurması esasına dayanır. BTS ile ilgili iletişim probleminin mevcut olması durumunda, D2D haberleşme, yedek iletim ağı olarak da kullanılabilir (Khalid 2014). Öte yandan D2D haberleşme kullanımı belirli problemleri de beraberinde getirmektedir. Aynı kaynağı kullanan hücrel kullanıcılar ile D2D çifti arasında ya da aynı kaynağı kullanan D2D çiftleri arasında girişim oluşmaktadır. Bu girişimin, iki farklı sistem modeli kullanılarak azaltılabileceği öngörülmektedir. İlk sistem modelinde oluşturulan kaynak tahsisi ve mod seçimi yaklaşımında ortogonal frekans bölme çoklu erişim (OFDMA) sistemi kullanılmıştır. OFDMA, kanalın  $N$  tane dikgen alt-kanallara bölündüğü ve bu alt kanalların belirli kurallara göre kullanıcılara paylaştırıldığı çoklu erişim tekniğidir. Oluşturulan sistem modeli, veriyi OFDMA sonucu elde edilen alt kanallar yoluyla iletir (Akbulut 2012). Uygun kaynak tahsisi ve mod seçimi yaklaşımı ile mevcut alt kanallar verimli ve optimal şekilde kullanılması sağlanmakta, yüksek toplam kullanıcı hızı seviyelerine ulaşılabilmektedir (Engin 2015). Kaynak tahsisi ve mod seçimi için parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması tercih edilmiştir. İkinci sistem modeli girişim sınırlı alandır. Girişim sınırlı alan sistem modelinde ise çok-girişli çok-çıkışlı (MIMO) yapı tercih edilmiştir. Girişim önlemek için sifra zorlamalı huzmeleme yöntemi kullanılmıştır ve D2D kullanıcılarına oluşan girişim için bir eşik değeri konulmuştur. D2D çiftleri, bu eşik değerinin üzerindeki hücrel kullanıcıların kaynağını yeniden kullanamamaktadır. Eşik değerinin altında kalan hücrel kullanıcılar aday kümesine dahil edilir. D2D çiftinin, hangi hücrel kullanıcının kaynağını yeniden kullanacağını seçimi, aday kümesinden yarı ortogonal kullanıcı seçim algoritması ile belirlenmektedir. İki sistem modeli de toplam kullanıcı hızını arttırıp, girişimi azaltmayı hedeflemektedir.

Literatürdeki çalışmalarda, kaynak tahsisi ve mod seçimi yöntemine farklı açılardan değinilmiştir (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 artırma, kesinti olasılığını azaltma gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Sun ve Shin (2014)'te, daha iyi sistem performansı bakımından incelenmiştir ve 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. Öte yandan, kaynak tahsisi ve mod seçiminin literatür çalışmalarında, farklı algoritmalar tercih edilmiştir. Pang vd. (2013)'te evrimsel algoritma optimizasyonunu kullanan kaynak tahsisi ve mod seçimi yöntemini önermiştir. Evrimsel algoritmadaki karmaşıklığından kurtulmak için Sun ve Shin (2014), Su vd. (2013)'te kaynak tahsisi ve mod seçimi algoritması olarak PSO algoritmasını uygulamışlardır. Kaynak tahsisi ve mod seçimi yöntemi için hücrel kullanıcının alt kanalını kaç tane D2D çifti ile kullanacağı çalışmalar da farklılık göstermektedir. 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 kullanmasına izin verildiği belirtilmektedir. Bu çalışmada ise, kaynak tahsisi ve mod seçimi için PSO algoritması kullanılmış, girişimin azaltılması ve yüksek toplam kullanıcı hızına ulaşılması hedeflenmiştir.

Literatürdeki çalışmalarda, hücrel kullanıcıların D2D çiftine oluşturduğu girişimi azaltmak için girişim sınırlı alanın önerildiği de görülmektedir (Min vd., 2011, Chen vd., 2012, Hou vd., 2017). Bir adet hücrel kullanıcı ile bir adet D2D çifti arasındaki girişim, belirlenen eşik seviyesi değerinden büyük ise, D2D çifti hücrel kullanıcının kanalını yeniden kullanamaz. D2D çiftinin kanalı yeniden kullanmadığı bu alan, girişim sınırlı alan olarak

tanımlanmaktadır (Min vd., 2011). Bu durumda, sistem kapasitesinin arttığı gözlenmektedir. Chen vd. (2012)'de, iki D2D çifti ve önceden seçilen hücre kullanıcı arasında, girişimi önlemek amacıyla, girişim sınırlı alandaki iki D2D çiftinin aynı radyo kaynaklarını paylaşmasına izin vermeyen yeni bir girişim sınırlı alan (ILA) metodu önerilmiştir. Burada, yüksek sistem kapasitesine ulaşıldığı belirtilmektedir. Hou vd. (2017)'de ise girişim sınırlı alandaki D2D çiftleri, yarı çift yönlü iletişim yerine, tam çift yönlü iletişim kullanmıştır. Sonuç olarak, kapasite kazancının daha da arttığına dikkat çekilmektedir.

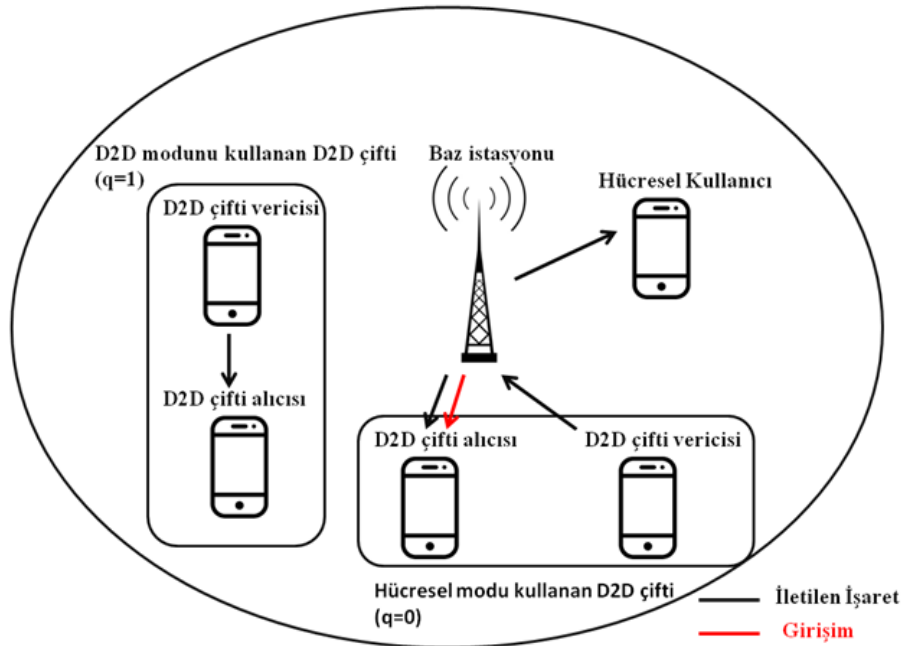
Bu çalışmada iki sistem modeli incelenmiştir. Analiz edilen ilk sistem modelinde, girişimi azaltmak ve toplam kullanıcı hızını artırmak amacıyla PSO tabanlı kaynak tahsisi ve mod seçimi algoritması kullanılmıştır. Toplam kullanıcı hızına etkisi olan parametreler incelenmiştir. Önerilen diğer sistem modelinde ise eşik değerinden yüksek girişim oluşturan hücre kullanıcıları için, girişim sınırlı alan yöntemi ile çalışılmıştır. Bu iki sistem modeli, toplam kullanıcı hızı bakımından değerlendirilmiştir.

Çalışmanın II. bölümünde, kaynak tahsisi ve mod seçimi sistem modeli aktarılmıştır. III. bölümde, önerilen ilk sistem modeli için PSO yöntemi değerlendirilmiştir. İncelenen diğer sistem modeli olan girişim sınırlı alan çözümü, IV. bölümde sunulmuştur. Nümerik sonuçların analiz edildiği V. bölümde performans sonuçları detaylı şekilde verilmiştir. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

## 2. Kaynak Tahsisi ve Mod Seçimi Sistem Modeli (Resource Allocation and Mode Selection System Model)

Bu çalışmada ilk olarak, tek bir hücrede  $D$  adet D2D çiftinin ve  $N_K$  adet hücre kullanıcılarının bulunduğu bir sistem modeli incelenmektedir. Toplam kullanıcı sayısı  $k=1, 2, \dots, K$  ile ifade edilmektedir. OFDMA kanallarının, alt kanallara bölünerek bant genişliğinin verimli şekilde kullanılması, kullanıcılara uygun şekilde kaynak tahsisi yapılarak toplam son kullanıcı hızının en yüksek seviyeye ulaşması sağlanmaktadır. Bu durumda, OFDMA yönteminin, diğer yaklaşımlara göre girişimden daha az etkilendiği gözlenmektedir (Mingan ve Cetin 2017). Dolayısıyla bu çalışmada da OFDMA tercih edilmiştir. OFDMA'da kullanılan alt kanal sayısı ise  $n=1, 2, \dots, N$  ile ifade edilmektedir. Ayrıca OFDMA alt kanallarında diğer D2D çiftleri için, iki farklı mod kullanılmaktadır. Bir D2D çiftinin, BTS ile haberleşmeden doğrudan D2D çiftleri ile haberleşmek için kullandığı mod,  $q=1$ 'dir. D2D çiftinin, hücre kullanıcılarının frekansını yeniden kullandığı mod ise  $q=0$  olarak tanımlanmıştır. Kaynak tahsisi ve mod seçimi sistem modeli Şekil 1'de gösterilmektedir. Modu  $q$  olan  $n$ . alt kanalı kullanan  $k$ . kullanıcının hızı  $r_{k,n}^{(q)}$  ile ifade edilmektedir. D2D çiftinin  $q=1$  modundaki kullanıcı hızı  $r_{k,n}^{(1)}$  şeklinde tanımlanmaktadır:

$$r_{k,n}^{(1)} = B \log_2(1 + (P_{k,n}^{D2D} G_{k,n}^{D2D}) / (P_n + I_{k,n})). \quad (1)$$



Şekil 1. Kaynak tahsisi ve mod seçimi sistem modeli (Resource allocation and mode selection system model)

Burada  $B$ , bant genişliğini ifade etmektedir.  $P_{k,n}^{D2D,max}$ , D2D çiftleri için atanan maksimum güç olup tüm D2D çiftlerine eşit olarak paylaştırılarak D2D iletim gücü,  $P_{k,n}^{D2D}$  elde edilir.  $G_{k,n}^{D2D}$  kullanılan sistem modelinde D2D çiftlerindeki yol kaybı modelini,  $L_{D2D,k} = 148 + 40 \log_{10} d_{D2D,k}$  dB temsil etmektedir (UMTS 2014).  $k$ . D2D çiftinin D2D alıcısı ile D2D vericisi arasındaki mesafe  $d_{D2D,k}$  ile belirtilmektedir ve km cinsinden alınmıştır.  $P_n$  termal gürültüyü,  $I_{k,n}$  ise  $k$ . hücrel kullanıcıya ya da  $k$ . D2D çiftinde meydana gelen girişimi belirtmektedir. Doğal logaritma fonksiyonu  $\log_2(\cdot)$  ile gösterilmektedir.

İletim yarı çift yönlü, dolayısıyla yukarı link ve aşağı link olmak üzere iki zaman diliminde gerçekleşmektedir. İlk zaman diliminde, D2D çifti veriyi (yukarı yönde) BTS'ye iletmekte, ikinci zaman diliminde ise BTS veriyi (aşağı yönde) kullanıcılara iletmektedir. Dolayısıyla kullanıcı hızı, iki zaman dilimi için elde edilen kullanıcı hızlarından en küçük olanının yarısına bağlıdır (Su vd., 2013). Kullanıcı hızı  $q=0$  modunda  $r_{k,n}^{(0)}$  ile ifade edilmektedir. D2D çiftinin  $q=0$  modundaki kullanıcı hızı  $r_{k,n}^{D2D(0)}$  ile tanımlanmaktadır. Hücrel kullanıcının  $q=0$  modundaki kullanıcı hızı ise  $r_{k,n}^{HK(0)}$  ile verilmektedir:

$$r_{k,n}^{D2D(0)} = (1/2) \min(B \log_2(1 + (P_{k,n}^{BTS} G_{k,n}^{BTS}) / (P_n + I_{k,n})), B \log_2(1 + (P_{k,n}^{D2D} G_{k,n}^{BTS}) / (P_n + I_{BTS,n}))) \quad k \in D2D, \quad (2)$$

$$r_{k,n}^{HK(0)} = B \log_2(1 + (P_{k,n}^{BTS} G_{k,n}^{BTS}) / (P_n + I_{k,n})) \quad k \in HK. \quad (3)$$

Burada, BTS için atanan maksimum gücün,  $P_{k,n}^{BTS,max}$  alt kanallar arasında eşit olarak paylaşılması ile BTS iletim gücü,  $P_{k,n}^{BTS}$  elde edilmektedir.  $G_{k,n}^{BTS}$ , kullanılan sistem modelinde BTS'den hücrel kullanıcılara ya da BTS'den D2D çiftine etki eden yol kaybı modelini,  $L_{BTS,k} = 128 + 37.6 \log_{10} d_{BTS,k}$  dB temsil etmektedir (UMTS 2014). BTS ile  $k$ . hücrel kullanıcı arasındaki mesafe  $d_{BTS,k}$  ile gösterilmektedir ve km cinsinden alınmıştır.  $I_{BTS,n}$ , BTS'de meydana gelen girişimi tanımlamaktadır. Bu çalışmada eşit güç tahsisi dikkate alınmaktadır. Maksimum güç kullanıcılar arasında eşit olarak bölünmektedir (Deng vd., 2012).

### 3. PSO Algoritma Tasarımı (PSO Algorithm Design)

PSO algoritması, kuş sürülerinin sergiledikleri hareketlerden yola çıkarak tasarlanmıştır. Bu algoritmada temel amaç, sürüdeki en iyi konuma sahip bireyi tespit ederek diğer bireylerin de o konuma doğru hareket etmesini sağlamaktır. PSO'da, parçacıklar çözümleri, çözümler de sürüleri oluşturmaktadır. Sürüdeki parçacıkların ilk konumları rastgele belirlenmektedir. PSO'da parçacıklar ilk iterasyonlarda yerel minimum noktalarına da gider, ancak iterasyon ilerledikçe atalet ağırlığının da etkisiyle optimum değere ulaşılır (Wachowiak vd., 2004). Sürüdeki çözüme en yakın değer,  $P_g^t$  küresel en iyi, parçacığın önceki iterasyonlar süresince çözüme en yakın değeri,  $P_i^t$  ise yerel en iyidir. Parçacıkların hızı küresel en iyi ve yerel en iyi değerlerine göre güncellenerek, parçacığın son konumu oluşmaktadır (Basgumus vd., 2015). Parçacığın bir sonraki iterasyondaki hızı (4) ile belirtilmektedir:

$$V_m^{t+1} = wV_m^t + (\text{rand}(\cdot)c_1(P_i^t - X_m^t)) + (\text{rand}(\cdot)c_2(P_g^t - X_m^t)). \quad (4)$$

Parçacığın güncel konumu, (4) yardımıyla (5)'teki gibi elde edilmektedir:

$$X_m^{t+1} = X_m^t + V_m^{t+1}. \quad (5)$$

Burada, parçacık sayısı  $m$ , iterasyon sayısı ise  $t$  ile tanımlanmaktadır.  $V_m^t$ ,  $m$ . parçacık değerinin  $t$ . iterasyondaki hızını,  $X_m^t$  ise  $m$ . parçacığın  $t$ . iterasyondaki konumunu ifade etmektedir.  $V_m^{t+1}$  ve  $X_m^{t+1}$  sırasıyla, bir sonraki iterasyondaki hızı ve konumu göstermektedir. Literatürde değeri genellikle 0.4 ya da 0.9 olarak alınan ve önceki iterasyondaki hızın yeni iterasyondaki hıza etkisini azaltan atalet bileşeni,  $w$  ile gösterilmektedir. Rastgele fonksiyon  $\text{rand}(\cdot)$  ile tanımlanmaktadır. Parçacığın iterasyonlardaki kendi en iyi konumuna doğru yönelme ölçütü  $c_1$  katsayısı ile, parçacıklar arasındaki en iyiye doğru yönelme ölçütü, dolayısıyla küresel en iyiye yönelme ölçütü ise  $c_2$  katsayısı ile belirlenir ve değerleri genellikle 2 olarak alınır (Akbulut 2009). PSO'da oluşturulan

parçacıkların boyutuna göre  $[0, 1]$  aralığındaki değerlerden oluşan matris,  $\text{rand}(\cdot)$  matrisidir (Min vd., 2011). PSO, büyük ölçekli doğrusal olmayan optimizasyon problemlerini, gradyan azaltma tabanlı algoritmalara göre daha etkili bir şekilde çözdüğü için, bu makalede PSO temelli mod seçimi ve kaynak tahsisi şeması kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan, PSO tabanlı kaynak tahsisi ve mod seçimi algoritması için  $m = 1, 2, \dots, M$  parçacık ve  $2N$  alt kanal sayılı rastgele bir matris oluşturulmaktadır.  $2N$  alt kanalın ilk yarısı hücrel modu kullanan kullanıcıları, ikinci yarısı ise D2D modunu kullanan kullanıcıları temsil etmektedir. Boyutu  $M \times 2N$  olarak oluşturulan  $x_m^{2N}$ 'lik matristen  $x_{k,n}^{(q)}$  kaynak tahsisi ve mod seçimi ataması için kullanılan matrise geçilir:

$$Q(x_m^n) = \lfloor x_m^n (K+1) \rfloor, \quad x_m^n \in (0,1), \quad (6)$$

$$Q(x_m^{N+n}) = \lceil x_m^{N+n} (D+1) \rceil + N_K, \quad x_m^{N+n} \in (0,1). \quad (7)$$

Burada,  $\lfloor \cdot \rfloor$  taban operatörü kendisinden küçük en büyük tamsayıya,  $\lceil \cdot \rceil$  tavan operatörü ise kendisinden büyük en küçük tamsayıya yuvarlama yapan matematiksel fonksiyonlardır. (6) ve (7) yardımıyla  $Q(x_m^n)$ ,  $0$  ve  $K$  arasında bir değer,  $Q(x_m^{N+n})$  ise  $N_K + 1$  ile  $K + 1$  arasında bir değer çıkmaktadır.  $Q(x_m^n)$ ,  $Q(x_m^{N+n})$  değerlerinden (8) kullanılarak,  $n$ . alt kanala  $k$ . kullanıcı atanmışsa  $1$ , atanmamışsa  $0$ 'lardan oluşan bir  $x_{k,n}^{(q)}$  matrisi elde edilmektedir. Elde edilen  $x_{k,n}^{(q)}$  matrisinin boyutu  $M \times 2N'$ 'dir:

$$x_{k,n}^{(q)} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } k = Q(x_m^n) \text{ ve } q = 0 \\ 1, & \text{eğer } k = Q(x_m^{N+n}) \text{ ve } q = 1 \\ 0, & \text{diğer durumlarda.} \end{cases} \quad (8)$$

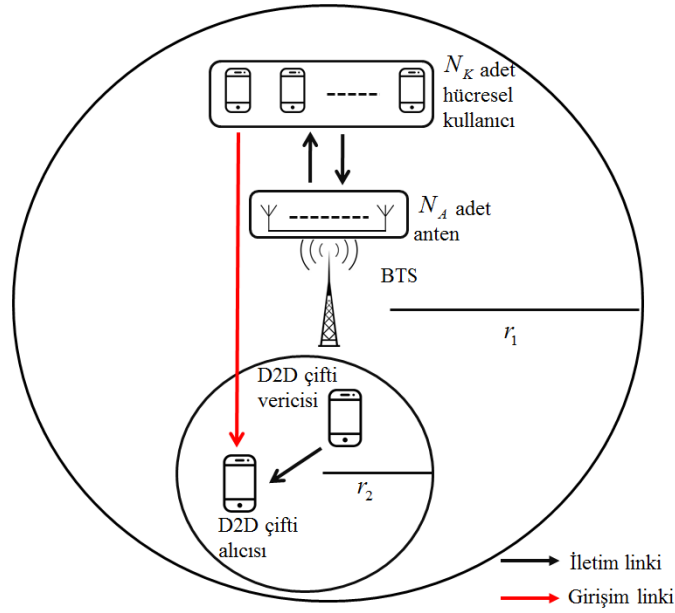
PSO tabanlı kaynak tahsisi ve mod seçimi tamamlandıktan sonra elde edilen  $r_{k,n}^{(q)}$  matrisi, (9) ile verilen uygunluk fonksiyonu için kullanılır.  $U$ , uygunluk fonksiyonunun temel amacı toplam kullanıcı hızını en yüksek seviyeye getirmektir,

$$U = \sum_k \sum_n \sum_q x_{k,n}^{(q)} r_{k,n}^{(q)}. \quad (9)$$

PSO tabanlı kaynak tahsisi ve mod seçimi işleminde birtakım sınırlamalar yapılmaktadır: Bu kısıtlamalar, hücrel kullanıcıların  $q = 1$  modunu kullanamaması, D2D çiftinin diğer bir D2D çiftiyle aynı alt kanalı kullanması sonucu oluşan girişimi önlemek için her alt kanalda sadece bir tane D2D çiftinin bulunması, hücrel kullanıcı ve D2D çiftlerinin bir tane mod seçebilmesi, OFDMA sonucu oluşturulan alt kanalları en fazla bir hücrel kullanıcı ve bir D2D çiftinin kullanabilmesi şeklinde sıralanmaktadır.

#### 4. Girişim Sınırlı Alan Sistem Modeli (Interference Limited Area System Model)

Bu çalışmada ikinci olarak,  $N_K$  adet hücrel kullanıcı ve  $1$  adet D2D çiftinin bulunduğu tek hücreli bir sistem tasarlanmaktadır. Şekil 2'de görüldüğü üzere, hücrel kullanıcılar  $N_A$  adet anten ile donatılmıştır. Önerilen model için MIMO sistem tercih edilmektedir. İletimde yukarı link fazındaki girişimler dikkate alınmaktadır. Aşağı link fazında oluşan girişimin huzmeleme ile yok edildiği kabul edilmektedir (Zhang ve Liang 2008). Oluşturulan sistem modelinde kanalın ortalama gücü  $1$  olarak alınmıştır.  $P_a = c (d_a)^{-\alpha} P_0$  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). Yol kaybı katsayısı  $c = 0.1$  ile, yol kaybı üssü ise  $\alpha$  ile temsil edilmiştir (Jiang vd., 2016).  $P_{\text{HK}_i, \text{BTS}}$   $i$ . hücrel kullanıcının ( $i \in 1, 2, \dots, N_K$ ) BTS'den aldığı ortalama gücü,  $d_{\text{HK}_i, \text{BTS}}$   $i$ . hücrel kullanıcı ile BTS arasındaki mesafeyi ifade etmek üzere,  $P_{\text{HK}_i}$   $i$ . hücrel kullanıcının iletim gücünü göstermektedir.  $P_{\text{HK}_i, \text{BTS}} = c (d_{\text{HK}_i, \text{BTS}})^{-\alpha} P_{\text{HK}_i}$  ile ifade edilmektedir.



Şekil 2. Girişim sınırlı alan sistem modeli (Interference-limited area system model)

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

$$I_{HK_i,D2D_R} = \left( \frac{d_{HK_i,D2D_R}}{d_{HK_i,BTS}} \right)^{-\alpha} P_{HK_i,BTS} \quad (10)$$

$I_{D2D_T,BTS}$  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. D2D çifti vericisinin hücresel kullanıcılarda oluşturduğu girişimi önlemek için D2D çifti vericisindeki güç değeri  $\delta_B$  ile sınırlandırılmıştır.  $\delta_B$ , D2D çifti vericisinin hücresel 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,

$$P_{D2D_T,D2D_R} \leq \left( \frac{d_{D2D_T,BTS}}{d_{D2D_T,D2D_R}} \right)^{\alpha} \delta_B P_{HK_i,BTS} \quad (11)$$

matematiksel forma ulaşılır. Bu yolla hücresel kullanıcıların, D2D çifti alıcısında neden olduğu girişim, girişim sınırlı alan kullanılarak azaltılmıştır. Girişim sınırlı bu alanda, hücresel kullanıcıların kullandığı alt kanalı D2D çifti yeniden kullanamamaktadır. 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.

Hücresel kullanıcısının D2D alıcısında oluşturduğu girişim  $I_{R_i} = (I_{HK_i,D2D_R} / P_{D2D_T,D2D_R}) > \delta_D$  ile ifade edilmektedir. Girişim sınırlı alan oluşturulurken, hücresel kullanıcının D2D alıcısında meydana getirdiği girişimin eşik değeri ise  $\delta_D$  ile verilmektedir. Gerekli düzenlemelerin ardından (12)'ye ulaşmaktadır:

$$I_{\text{HK}_i, \text{D2D}_R} = \left( \frac{d_{\text{HK}_i, \text{BTS}}}{d_{\text{HK}_i, \text{D2D}_R}} \right)^\alpha P_{\text{HK}_i, \text{BTS}} > \delta_D P_{\text{D2D}_T, \text{D2D}_R} \quad (12)$$

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  $d_{\text{HK}_i, \text{D2D}_R}$  (12)'de yerine konduğunda,

$$\left( \frac{x_i^2 + y_i^2}{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \right)^{\alpha/2} P_{\text{HK}_i, \text{BTS}} > \delta_D P_{\text{D2D}_T, \text{D2D}_R} \quad (13)$$

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. Çünkü hücrel kullanıcıların dâhil edilmediği alan ne kadar küçük olursa, kapasite kaybı da o kadar azalmaktadır. Bu durumda (13)'ün yeniden düzenlenmesi ile (14) elde edilmektedir:

$$\left( \frac{x_i^2 + y_i^2}{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \right) > A. \quad (14)$$

Genel çember denklemi kullanılarak ve (14)'ün 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).  $N_K$  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,  $N'_K$ ,

$$N'_K = \left[ N_K \left( 1 - P_r(I_{R_i} < \delta_D) \right) \right] = \left[ N_K \left( 1 - \frac{\pi r_2^2}{\pi r_1^2} \right) \right] \quad (15)$$

şeklinde elde edilmektedir. Hücrel kullanıcıların D2D çiftlerine oluşturduğu girişim değeri, belirlenen  $\delta_D$  eşik değerinden az olmalıdır. Öte yandan, hücrel kapsama alanının yarıçapı  $r_1$  ile temsil edilmektedir.  $R_{\text{GSA}}$ , girişim sınırlı alanın hücrel alana oranını ifade etmek üzere,  $N'_K$  son olarak,

$$N'_K = N_K (1 - R_{\text{GSA}}) = N_K \left( 1 - \frac{Ax_j^2 + Ay_j^2}{(A-1)^2 r_1^2} \right) \quad (16)$$

şeklinde tanımlanabilir. Yukarıda  $(P_{\text{D2D}_T, \text{D2D}_R} / P_{\text{HK}_i})$  'nin yerine (11) kullanılarak  $\delta_D \delta_B (d_{\text{D2D}_T, \text{BTS}} / d_{\text{D2D}_T, \text{D2D}_R})^\alpha = A^{\alpha/2}$  eşitliği elde edilmektedir. Buradan,  $\delta_D = \frac{A^{\alpha/2}}{\delta_B} (d_{\text{D2D}_T, \text{BTS}} / d_{\text{D2D}_T, \text{D2D}_R})^\alpha$  şeklinde hesaplanmaktadır.

D2D çiftinin, hangi hücrel kullanıcıların kanalını yeniden kullanacağını seçimi için yarı ortogonal kullanıcı seçim algoritmasından yararlanılmıştır (Min vd., 2011). Yarı ortogonal kullanıcı seçimi algoritması, aday setindeki yarı dikey kullanıcılar arasında en iyi metriğe sahip kullanıcıyı seçmek ve bir sonraki yineleme için verileri güncellemekten oluşan bir optimizasyon algoritmasıdır. Kullanıcıların yarı dikey olup olmadığı  $\cos \theta = \frac{\bar{a} \bar{b}}{|a||b|}$

eşitliğindeki gibi iki vektörün çarpımı sonucunda tespit edilir. Burada  $a$  ve  $b$  vektörleri,  $\theta$  iki vektör arasındaki açıyı,  $|\cdot|$  ise vektör modülünü temsil etmektedir (Yang vd. 2010). Yarı ortogonal kullanıcı seçim algoritması, yüksek hücrel kullanıcı sayılarında dahi, optimal kapasiteyi elde edebilmektedir. Bu algoritma da kapasite,

seçilecek hücrel kullanıcıların sayısının bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Girişim sınırlı alan olmadığı varsayılırsa, hücrel kullanıcılar için elde edilen kapasite (17)'de verilmektedir (Yoo ve Goldsmith 2006):

$$C_{HK} = N_A \log_2(1 + P_{HK_i, BTS} \log N_K). \quad (17)$$

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

$$C_{kayıp} = N_A \log_2 \left( \frac{1 + P_{HK_i, BTS} \log_2 N_K}{1 + P_{HK_i, BTS} \log_2 N'_K} \right). \quad (18)$$

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

$$C_{D2D} = \frac{1}{\ln 2} \left[ \frac{1}{N_A} + \frac{(1 - \delta_D)}{N_A + 1} + \frac{(1 - \delta_D)^2}{N_A + 2} + \frac{(1 - \delta_D)^3}{N_A + 3} + \dots \right] \quad (19)$$

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

$$C_{toplam} (bps / Hz) = \frac{\nu (Mbps)}{B (MHz)}. \quad (20)$$

## 5. Nümerik Sonuçlar (Numerical Results)

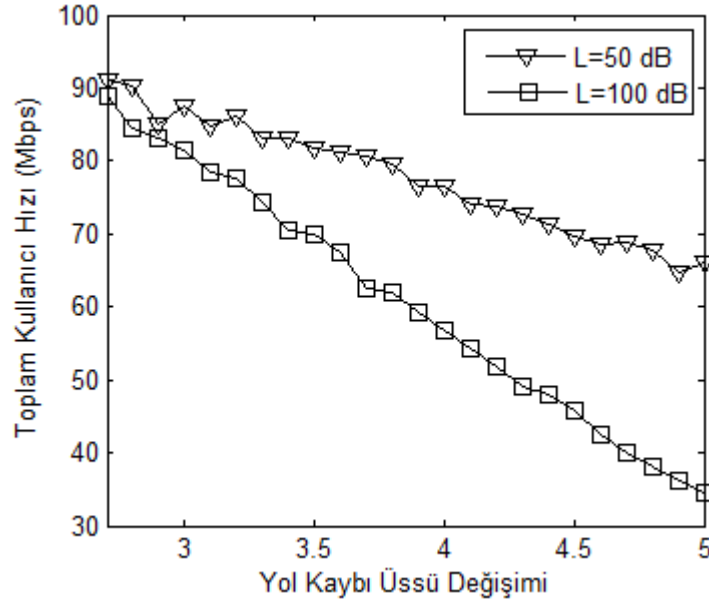
Kaynak tahsisi ve mod seçimi ile girişim sınırlı alan sistem modelleri için kullanılan parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Sistem model parametreleri (System model parameters)

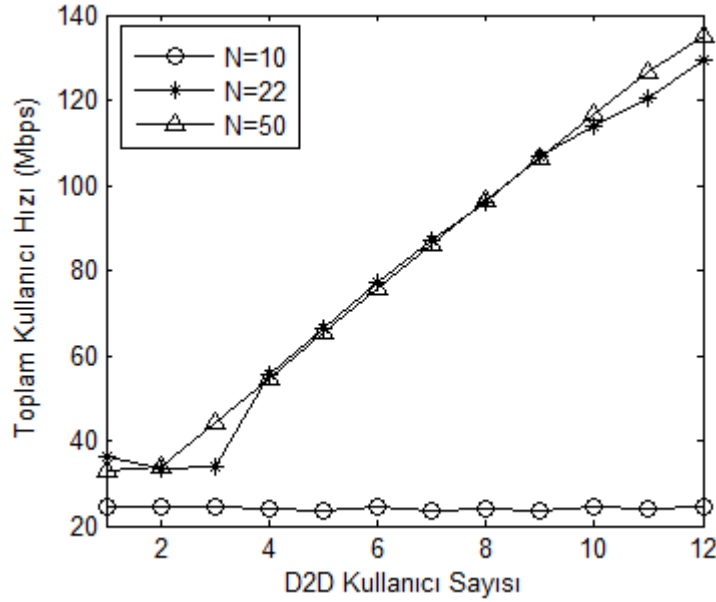
$r_1$	500 m	$d_{D2D_T, D2D_R}$	15 m
$B$	3 MHz	$N_A$	4
$\delta_B$	0.1	BTS'nin maksimum iletim gücü ( $P_{k,n}^{BTS, max}$ )	36 dBm
$P_{HK_i}$	10 dB	D2D maksimum iletim gücü ( $P_{k,n}^{D2D, max}$ )	17 dBm
$R_{GSA}$	0.8	Gürültü yoğunluğu ( $P_n$ )	-174 dBm/Hz
$d_{D2D_R, BTS}$	250 m	$M$	30

Şekil 3'te, 10 tane D2D çifti ve 10 tane hücrel kullanıcının bulunduğu tek hücreli bir sistem modeli incelenmiş ve iki farklı yol kaybı değeri için ( $L = 50$  dB, 100 dB)  $\alpha$  değişimine göre toplam kullanıcı hızı gösterilmiştir.  $N = 20$  olarak alınmıştır. Yol kaybı değeri,  $L = 50$  dB için toplam kullanıcı hızında 91 Mbps'den 66.22 Mbps'ye kadar %26.97'lik bir düşüş gerçekleşirken, yol kaybı değeri  $L = 100$  dB için 88.82 Mbps'den 34.55 Mbps'ye kadar %61.10'luk bir düşüş gerçekleşmiştir.  $L = 100$  dB için elde edilen toplam kullanıcı hızı daha fazla bozulmaya uğramaktadır. Aynı zamanda şekilden,  $\alpha$  değerinin artması ile toplam kullanıcı hızındaki azalma da gözlenmektedir.





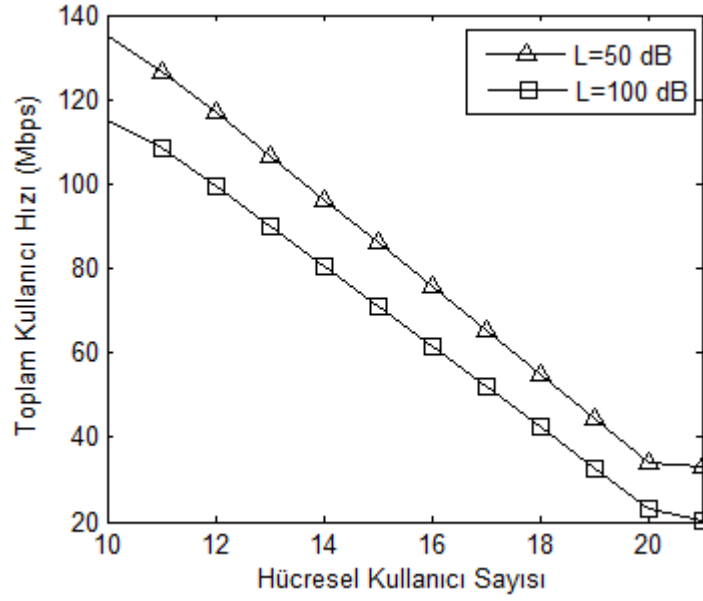
Şekil 3. Toplam kullanıcı hızının  $\alpha$  ile değişimi (The variation of total throughput with  $\alpha$ )



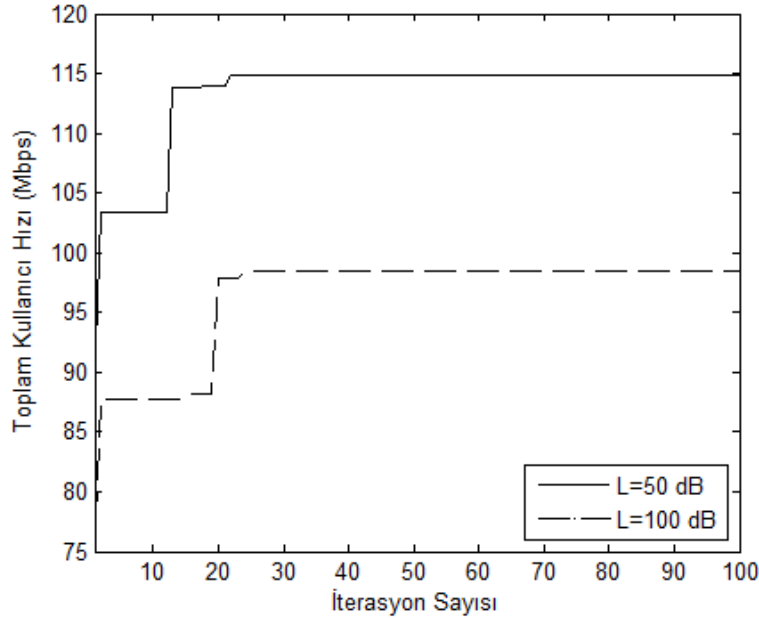
Şekil 4. Toplam kullanıcı hızının D2D kullanıcı sayısı ile değişimi (The variation of total throughput with the number of D2D users)

Hüresel kullanıcı ve D2D çifti sayısının  $K=22$  alındığı, D2D çiftinin 1'den başlayıp 12'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 4'te gösterilmiştir.  $\alpha=4$  olarak alınmıştır. D2D çifti sayısı arttıkça toplam kullanıcı hızı artmaktadır. Şekilde, telsiz haberleşme kullanıcıları tarafından talep edilen yüksek hızın D2D çifti kullanımı sonucu elde edilebileceği gözlenmiştir. Aynı zamanda alt kanal sayısı toplam kullanıcı sayısından düşük olduğunda, toplam kullanıcı hızında ciddi anlamda bir düşüş görülmektedir. Alt kanal sayısı  $N=10$  olarak alındığında, D2D çifti fazla girişim oluştuğunda bile hüresel kullanıcının kaynağını kullanmaktadır. Bu nedenle D2D çifti arttığı halde toplam kullanıcı hızı artmamaktadır.

Toplam kullanıcı sayısının,  $K=22$  alındığı hüresel kullanıcı sayısının 10'dan başlayıp 21'e kadar artarak devam ettiği tek hücreli bir sistem modeli de incelenmiş ve iki farklı yol kaybı değeri için ( $L=50$  dB, 100 dB) toplam kullanıcı hızı değişimi Şekil 5'te gösterilmiştir.  $N=50$ ,  $\alpha=4$  olarak alınmıştır. Hüresel kullanıcı sayısı artarken, D2D çifti sayısında düşüş olduğundan, toplam kullanıcı hızında azalma gözlenmiştir.



**Şekil 5.** Toplam kullanıcı hızının hücrel kullanıcı sayısına göre değişimi (The variation of total throughput according to the number of cellular users)

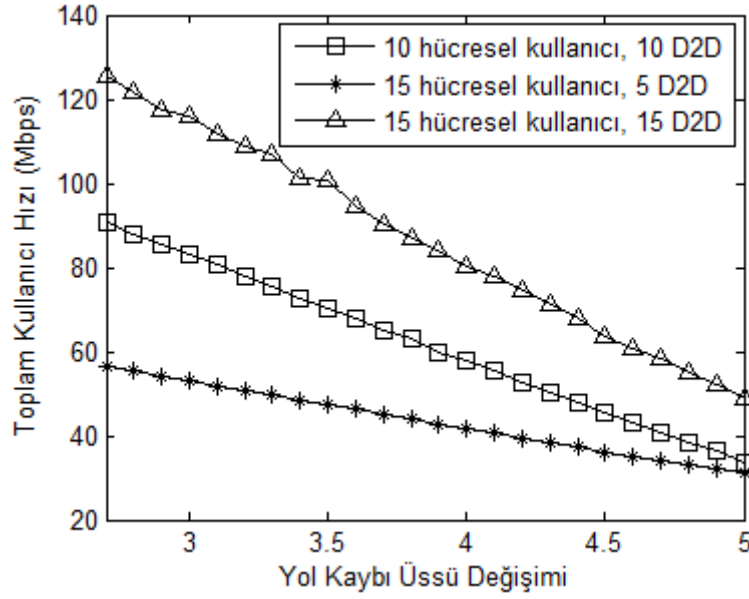


**Şekil 6.** Toplam kullanıcı hızının iterasyon sayısı ile değişimi (The variation of total throughput with the number of iterations)

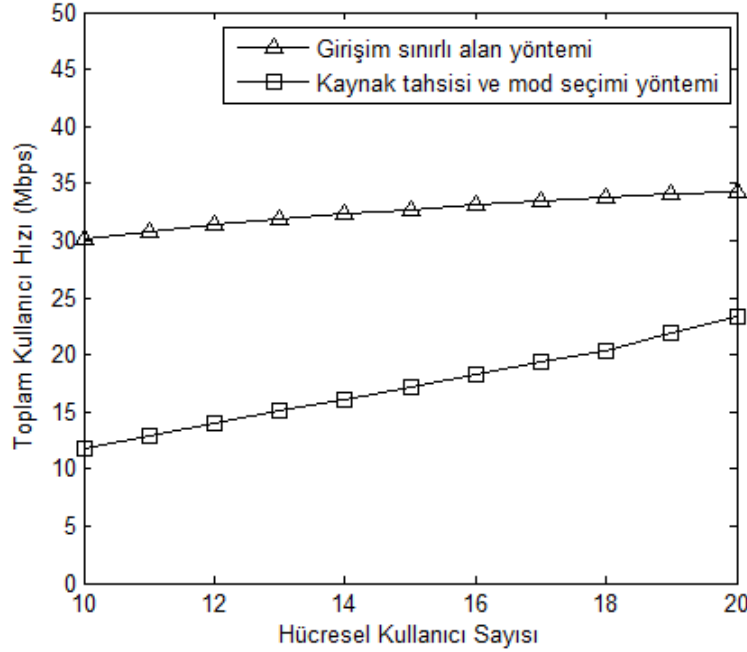
Şekil 6'da 10 tane D2D çifti ve 10 tane hücrel kullanıcının bulunduğu tek hücreli bir sistem modeli incelenmiş ve iki farklı yol kaybı değeri için ( $L=50$  dB,  $100$  dB) iterasyon sayısına göre toplam kullanıcı hızı değişimi verilmiştir.

$N=25$ ,  $\alpha=4$  olarak alınmıştır. Şekil 6'da iterasyon sayısının artması ile toplam kullanıcı hızının arttığı ve belirli bir iterasyondan sonra da toplam kullanıcı hızının sabit kaldığı görülmektedir. Şekil 3'te görüldüğü gibi,  $L=100$  dB için toplam kullanıcı hızı bozulması,  $L=50$  dB için gözlemlenen bozulmadan daha fazladır.

Hücrel kullanıcı sayıları ve D2D çifti sayılarının farklılık gösterdiği üç farklı tek hücreli sistem modeli için, toplam kullanıcı hızının yol kaybı üssüne göre değişimi Şekil 7'de verilmiştir.  $N=20$  olarak alınmıştır. Şekilde, hücrel kullanıcı ve D2D çifti sayılarının sırası ile (10, 10) ve (15, 5) olduğu bu iki durumda, toplam kullanıcı sayısı aynı olmasına rağmen, D2D çifti sayıları birbirinden farklı olarak planlanmıştır. Hücrel kullanıcı sayısı 15, D2D çifti sayısı bundan daha az olduğunda ve 5 olarak tanımlandığında, toplam kullanıcı hızının daha düşük olduğu görülmektedir. Şekil 4'te elde edilen sonuçla örtüşür şekilde, D2D çifti sayısı azaldıkça toplam kullanıcı hızı da azalmaktadır. Hücrel kullanıcı sayısı 15, D2D kullanıcı sayısı 15 olan bir senaryo için, kullanıcı sayısı arttığından, toplam kullanıcı hızı da artmıştır.



**Şekil 7.** Farklı kullanıcı sayılarında yol kaybı üssüne göre toplam kullanıcı hızı değişimi (The variation of total throughput according to the path loss exponent for different numbers of users)



**Şekil 8.** Kaynak tahsisi ve mod seçimi ile girişim sınırlı alan sistem modelleri için toplam kullanıcı hızının hücreli kullanıcı sayısına göre değişimi (The variation of total throughput according to the numbers of cellular users for the Interference-limited area system model with the resource allocation and mode selection)

PSO tabanlı kaynak tahsisi mod seçimi sistem modelinde D2D çifti sayısı 1, hücreli 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 hücreli kullanıcı sayısı 10 ile 20 arasında artacak şekilde tanımlanmıştır. Kaynak tahsisi ve mod seçimi ile girişim sınırlı alan sistem modellerinin toplam kullanıcı sayısına göre değişimi Şekil 8'de gösterilmiştir.

PSO algoritması ile gözlemlenen başarımın elde edilen en iyi sonuca göre değil, çözüm olarak sunulan algoritmanın birden çok defa çalıştırılarak, ne kadar sıklıkla aynı değer elde edildiği ile ilgili olduğu bilinmektedir. Bu çalışma için de elde edilen nümerik sonuçlar, en iyi sonuca göre değil, döngünün 10 kez tekrar edilmesi sonucu ulaşılan değerleridir.

## 6. Sonuçlar ve Yorumlar (Conclusions and Comments)

Bu çalışmada, D2D çiftleri, hücresele kullanıcılar, D2D çifti ile hücresele kullanıcılar 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. Toplam kullanıcı hızını etkileyen, kullanıcı sayısı, yol kaybı üssü, yol kaybı değeri, iterasyon sayısı, alt kanal sayısı gibi faktörler değerlendirilmiştir. Girişim sınırlı alan sistem modelinde, hücresele 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 hücresele kullanıcı sayısı arttığında, toplam kullanıcı hızı artmıştır. İki sistem modelinde de hücresele kullanıcı sayısı arttığında, toplam kullanıcı sayısı artmıştır. D2D çiftinin en az girişime neden olan hücresele 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.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

## Kaynaklar (References)

- Agnew R. P., 1962. *Calculus, Analytic Geometry and Calculus, with Vectors*. McGraw-Hill Book Company.
- Akbulut İ., 2009. *Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Anten Tasarımı*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- 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.
- Basgumus A., Namdar M., Yılmaz 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.
- 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.
- 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.
- Engin B., 2015. *Klasik ve ağ kodlamalı OFDMA sistemlerde alt-taşıyıcı atama*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ghavami M., Kohno R., and Michael L.B., 2004. *Ultra wideband signals and systems in communication Engineering*. Wiley.
- 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 (PIMRC)*, 1–5.
- 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.
- Mahmood K., 2014. *Mode Selection Rules For Device to Device Communications: Design Criteria and Performance Metrics*, M.Sc. thesis, İstanbul Technical University, İstanbul.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Wachowiak M. P., Smolikova R., Zheng Y. F., Zurada J. M., and Elmaghraby A. S. (2004). An approach to multimodal biomedical image registration utilizing particle swarm optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 8, pp. 289–301.
- 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.
- 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 (JSTSP)*, 2 (1), 88–102.