

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AFET SONRASI HABERLEŞME İÇİN MOBİL
AĞLARDA İŞ ÇIKARIM TABANLI CİHAZDAN
CİHAZA YENİ BİR KEŞİF ALGORİTMASI**

DOKTORA TEZİ

Vedat MARTTİN

**Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM
MÜHENDİSLİĞİ**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Cüneyt BAYILMIŞ

Ortak Danışman : Prof. Dr. Uğur YÜZGEÇ

Temmuz 2021

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AFET SONRASI HABERLEŞME İÇİN MOBİL
AĞLARDA İŞ ÇIKARIM TABANLI CİHAZDAN
CİHAZA YENİ BİR KEŞİF ALGORİTMASI**

DOKTORA TEZİ

Vedat MARTTİN

**Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM
MÜHENDİSLİĞİ**

Bu tez 09/ 07/ 2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Vedat MARTTİN

19.05.2021

TEŞEKKÜR

Sakarya Üniversitesi ve Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Ortak Doktora Programı kapsamında hazırlanan bu tez çalışmasında desteklerinden, samimi katkılarından dolayı değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Uğur YÜZGEÇ'e, tez danışmanı değerli hocam Doç.Dr. Cüneyt BAYILMIŞ'a ve tez izleme jürimde bulunan ve teze katkılarından dolayı değerli hocam Prof. Dr. Kerem KÜÇÜK'e teşekkür ederim.

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanı Murat FİDAN ve Bilgi İşlem Daire Başkanlığı çalışma arkadaşlarıma, bizi bugünlere gelmemizi sağlayan değerli ailelerimize (ÇALIŞKAN ve MARTTİN Aileleri), desteğini hiç eksik etmeyen sevgili eşim Pakize Merve MARTTİN ile oyun zamanlarından bazen aldığım anlayışlı oğlum Giray MARTTİN'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Tez Çalışmasının Konusu ve Problemin Tanımlanması.....	2
1.2. Tezin Amacı ve Katkıları.....	3
1.3. Literatürde Sunulan Çalışmaların Özetleri.....	4
1.4. Tez Organizasyonu.....	4

BÖLÜM 2.

D2D HABERLEŞME TEKNOLOJİSİ VE KAMU GÜVENLİĞİ AĞI (PSN).	6
2.1. Genel LTE Yapısı.....	6
2.1.1. Genel iş çıkartım (Throughput) – veri oranı hesabı	7
2.1.2. LTE system mimarisi	9
2.2. D2D Haberleşme Teknolojisi	10
2.2.1. İletişim türleri.....	11
2.2.2. Kapsama alanı ve keşif durumu	12
2.2.3. D2D standartizasyonu	13
2.2.4. D2D keşfi ve LTE	14
2.3. Kamu Güvenlik Ağı (PSN) Teknolojisi.....	16

2.3.1. PSN ve LTE kullanımı	18
2.3.2. D2D keşfi ve PSN.....	19

BÖLÜM 3.

AFET SONRASI KAMU GÜVENLİK AĞLARINDA D2D KEŞFİ İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM: İŞ ÇIKARIM TABANLI KEŞİF ALGORİTMASI

(TDA).....	23
3.1. Materyal ve Yöntem.....	23
3.2. D2D Keşif Modeli.....	23
3.3. D2D Keşif için Kullanılan Algoritmalar.....	27
3.3.1. İş çıkarım (Throughput) tabanlı keşif algoritması (TDA)....	27
3.3.2. En kısa mesafeye göre keşif algoritması (SDA).....	29
3.3.3. Mesafe limiti olmayan en yüksek SINR oranına göre keşif algoritması (MSNA).....	30
3.3.4. Mesafe limiti olan en yüksek SINR oranına göre keşif algoritması (MSLA).....	30
3.4. Sistemin Genel Yapısı ve Örnek Senaryo.....	31
3.5. Simülasyon sonuçları.....	33

BÖLÜM 4.

SİMÜLASYON (BENZETİM) TASARIMI VE ÖRNEK SENARYOLAR....	43
4.1. GUI Simülasyon Parametreleri.....	43
4.2. PSN-D2D Keşif Simülatörü GUI Tasarımı.....	46
4.3. Örnek Senaryolar.....	53
4.3.1. D2D keşfi için senaryo-1.....	53
4.3.2. D2D keşfi için senaryo-2.....	55
4.3.3. D2D keşfi için senaryo-3.....	57
4.3.4. PSN keşfi için senaryo-1.....	59
4.3.5. PSN keşfi için senaryo-2.....	60
4.3.6. PSN keşfi için senaryo-3.....	62
4.4. D2D ve PSN Senaryolarının Değerlendirilmesi.....	64

BÖLÜM 5.

SONUÇ VE TARTIŞMA.....	67
KAYNAKLAR	70
EKLER	78
ÖZGEÇMİŞ	91



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AWGN	: Eklenmiş Gauss Beyaz Gürültü
BR	: Yayın Yönlendirme
BS	: Baz İstasyonu
BW	: Band Genişliği
CDF	: Kümülatif Dağıtım Fonksiyonu
CQI	: Kanal Kalitesi Göstergesi
D2D	: Cihazdan Cihaza
DMR	: Dijital Mobil Radyo
EPC	: Evrimleşmiş Paket Çekirdeği
ETSI	: Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü
E-UTRAN	: Gelişmiş Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi Karasal Radyo Erişim Ağı
GCSE	: Grup İletişim Sistemi Etkinleştiricisi
GUI	: Grafik Arayüz Tasarımı
HARQ	: Melez Otomatik Tekrar İsteği
HyeNB	: Hibrit Baz İstasyonu
IAR	: Girişim Duyarlı Yönlendirme
IP	: İnternet Protokolü
ISM	: Endüstriyel Bilimsel Tıbbi
LMR	: Kuzey Amerika Kara Mobil Radyosu
LTE	: Uzun Süreli Evrim
LTE-A	: Gelişmiş Uzun Süreli Evrim
MCS	: Modülasyon ve Kodlama Şeması
METIS	: Avrupa 5G Araştırma Projesi Olan 2020 Bilgi Toplumu
MIMO	: Çok Giriş Çok Çıkışlı Anten
MSLA(50)	: Mesafe Limiti 50m Olan En Yüksek SINR Oranına Göre Keşif

	Algoritması
MSLA(100)	: Mesafe Limiti 100m Olan En Yüksek SINR Oranına Göre Keşif Algoritması
MSLA(150)	: Mesafe Limiti 150m Olan En Yüksek SINR Oranına Göre Keşif Algoritması
MSLA(200)	: Mesafe Limiti 200m Olan En Yüksek SINR Oranına Göre Keşif Algoritması
MSLA(250)	: Mesafe Limiti 250m Olan En Yüksek SINR Oranına Göre Keşif Algoritması
MSLA(500)	: Mesafe Limiti 500m Olan En Yüksek SINR Oranına Göre Keşif Algoritması
MSNA	: Mesafe Limiti Olmayan En Yüksek SINR Oranına Göre Keşif Algoritması
NL	: Ağ Yüğü
N_SC	: Alt Taşıyıcı Sayısı
NSPS	: Ulusal Güvenlik ve Kamu Güvenliği
OFDM	: Ortogonal Frekans Bölmeli Çoğullama
PMR	: Avrupa Özel Mobil Radyo
PRB	: Fiziksel Kaynak Bloğu
ProSe	: Yakınlık Servisi
PSN	: Kamu Güvenlik Ağı
PPDR	: Kamu Koruma ve Afet Yardımı
P2P	: Eşten eşe
P25	: Proje 25
RB	: Kaynak Bloğu
SDA	: En Kısa Mesafeye Göre Keşif Algoritması
SDL	: Küresel Kod Çözücü
SINR	: Girişim Sinyalinin Gürültü Oranı
SISO	: Tek Giriş Tek Çıkışlı Anten
SSA	: Bölge Tarama Algoritması
SPR	: En Kısa Yol Yönlendirme
TBS	: Taşıma Blok Boyutu

TDA	: İş Çıkarım (Throughput) Tabanlı Keşif Algoritması
TEDS	: Karasal Hat Telsizi Gelişmiş Veri Hizmeti
TETRA	: Karasal Hat Telsizi
TIA	: ABD Telekomünikasyon Endüstrisi Birliği
TTI	: İletim Zaman Aralığı
UE	: Kullanıcı Ekipmanı
UMTS	: Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi
QoS	: Servis Kalitesi
3GPP	: Üçüncü Nesil Ortaklık Projesi
5G	: 5.Nesil



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. LTE çerçeve yapısı [33,34].....	7
Şekil 2.2. 3GPP tarafından önerilen D2D mimarisi [37].....	9
Şekil 2.3. D2D iletişim türleri [27,43].....	12
Şekil 2.4. 3GPP'nin önerdiği D2D senaryolar.....	13
Şekil 3.1. Bir hücre üzerindeki D2D keşif modeli örneği [48].....	24
Şekil 3.2. TDA algoritma yaklaşımının akış şeması [67].....	28
Şekil 3.3. Afet sonrası haberleşme için senaryo örneği [67].....	32
Şekil 3.4. Afet alanı içinde TDA tarafından keşfedilen UE'lerin dağılımı [67]....	33
Şekil 3.5. Afet alanı içinde TDA tarafından elde edilen D2D keşif sonuçları [67]	34
Şekil 3.6. Cihaz sayılarıyla eşleşen aktif D2D çiftler arasındaki ilişki grafiği [67]	37
Şekil 3.7. Cihaz sayılarıyla SINR hizmet kesintisi arasındaki ilişki grafiği [67]....	38
Şekil 3.8. TDA ve diğer keşif algoritmalarının iş çıkarımı sonuçları ve CDF grafikleri [67].....	39
Şekil 3.9. TDA ve diğer keşif algoritmalarının enerji etkinliği sonuçları ve CDF grafikleri [67].....	40
Şekil 3.10. TDA ve diğer keşif algoritmalarının kapasite sonuçları ve CDF grafikleri [67].....	41
Şekil 3.11. D2D keşfinde TDA (R_{th}) parametresinin etkisi [67].....	42
Şekil 4.1. PSN-D2D keşif simülatörü GUI Tasarımı.....	47
Şekil 4.2. PSN-D2D keşif simülatörü arayüzüne ait örnek görüntüler.....	48
Şekil 4.3. Başlatma düğmesine basıldığında UE'lerin rastgele dağılımını gösteren ekran görüntüsü örneği.....	51
Şekil 4.4. Çalıştır düğmesine basıldığında elde edilen sonuç ekran görüntüsü örneği (MSNA, 20 cihaz için).....	51
Şekil 4.5. Simülatör sonuç ekran görüntüsü örneği.....	53

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Kanal bant genişliği ve kaynak blokları [33,34].....	7
Tablo 2.2. D2D senaryoları ve bağlantı türleri.....	14
Tablo 2.3. Geleneksel kamu güvenlik ağları özellikleri [59].....	17
Tablo 2.4. PSN üzerine D2D çalışmalarının karşılaştırılması.....	22
Tablo 3.1. D2D cihaz keşfi için simülasyon parametreleri [67].....	32
Tablo 3.2. TDA ve diğer keşif algoritmalarının D2D keşif sonuçları[67].....	36
Tablo 4.1. D2D cihaz keşfi için GUI simülasyon parametreleri.....	43
Tablo 4.2. Çevresel etki modeli ve yol kaybı üstel değerleri.....	46
Tablo 4.3. D2D senaryo-1 için simülasyonda sabit kabul edilen parametreler.....	53
Tablo 4.4. D2D senaryo-1 için simülasyonda elde edilen sonuçlar.....	54
Tablo 4.5. D2D senaryo-2 için simülasyonda sabit kabul edilen parametreler.....	55
Tablo 4.6. D2D senaryo-2 için simülasyonda elde edilen sonuçlar.....	56
Tablo 4.7. D2D senaryo-3 için simülasyonda sabit kabul edilen parametreler.....	57
Tablo 4.8. D2D senaryo-3 için simülasyonda elde edilen sonuçlar.....	58
Tablo 4.9. PSN senaryo-1 için simülasyonda sabit kabul edilen parametreler.....	59
Tablo 4.10. PSN senaryo-1 için simülasyonda elde edilen sonuçlar.....	60
Tablo 4.11. PSN senaryo-2 için simülasyonda sabit kabul edilen parametreler.....	61
Tablo 4.12. PSN senaryo-2 için simülasyonda elde edilen sonuçlar.....	61
Tablo 4.13. PSN senaryo-2 için simülasyonda sabit kabul edilen parametreler....	62
Tablo 4.14. PSN senaryo-2 için simülasyonda elde edilen sonuçlar.....	63
Tablo 4.15. D2D ve PSN senaryoları için simülasyon sonuçlarının özet tablosu..	64

ÖZET

Anahtar kelimeler: Cihazdan cihaza keşif, eş cihaz keşfi, Kamu güvenlik ağı (PSN), LTE, PSN-D2D Simülatör

Bir afet durumunda haberleşme önemli olduğu kadar afet meydana geldikten sonra insanların birbiriyle haberleşebilmesi ve afet yönetim kurumları arasında etkili iletişim hayatı önem taşımaktadır. Afet sonrası haberleşme ağının fiziksel olarak zarar görmesi veya aşırı çağrı trafiği nedeniyle haberleşme ağının çökmesi ile karşılaşabilmektedir. Cihazdan cihaza (D2D) keşif ve iletişim, bu tür zor durumlarda haberleşme ağ altyapısına ihtiyaç duymadan ve hücresel iletişim ağlarında çağrı trafiğini azaltarak iletişim hizmetleri sağlamaktadır. Günümüzde hemen hemen herkesin akıllı bir mobil cihaz (UE-kullanıcı ekipmanı) kullandığı göz önüne alındığında, D2D iletişim yöntemi afet sonrası durum için uygun bir çözüm olarak görülmektedir. Bu yöntem LTE (Uzun Süreli Evrim) ve özellikle beşinci nesil (5G) iletişim ağlarında önemli bir rol oynamaktadır. Cihaz keşfi veya UE keşfi, D2D haberleşmesinde temel bir unsurdur. Cihaz keşfi olmadan cihazların birbiriyle haberleşebilmesi mümkün olamamaktadır. Bu çalışmada, afet sonrası bir durumda Kamu Güvenlik Ağı (PSN) üzerindeki cihazlar arasında D2D eşlerini bulmak için bir İş çıkarım Tabanlı Keşif Algoritması (TDA) önerilmiştir. Önerilen algoritmanın performansını test etmek için örnek senaryolar oluşturulmuştur. TDA yapısı, SINR (Sinyal-Girişim + Gürültü Oranı) tabanlı keşif algoritmalarından en kısa mesafeye göre keşif algoritması (SDA), mesafe limiti olmayan en yüksek SINR Oranına göre keşif algoritması (MSNA) ve mesafe limiti olan en yüksek SINR oranına göre keşif algoritması (MSLA) ile karşılaştırılmıştır. Önerilen TDA yapısının, hizmet verme durumu veya SINR kesinti oranı ve keşfedilen ortalama SINR çifti sayısı bakımından afet bölgesinde D2D keşfi için diğer SINR tabanlı keşif (MSNA, SDA ve MSLA) algoritmalarından daha iyi performans gösterdiği gözlenmiştir.

Tez kapsamında SINR tabanlı keşif algoritmaları ile farklı parametrelerin tek bir yerden girilebilmesi ve sonuçların tek bir ekran üzerinden görülebilmesi için PSN-D2D Keşif Simülatörü adında bir grafiksel arayüz geliştirilmiştir. Simülatörde farklı senaryolarla D2D ve PSN ağların keşif algoritmaları ile farklı yol kaybı, çevresel etki değerleri gibi parametrelerden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

A NEW DEVICE-TO-DEVICE DISCOVERY ALGORITHM BASED ON THROUGHPUT IN MOBILE NETWORKS FOR POST-DISASTER COMMUNICATION

SUMMARY

Keywords: D2D discovery, Peer discovery, PSN, LTE, PSN-D2D Simulator

Communication is important in the event of a disaster, as well as communication between people and effective communication between disaster management institutions after a disaster is vital. After the disaster, the communication network may be physically damaged or the communication network collapsed due to excessive call traffic. Device-to-device (D2D) discovery and D2D communication ensure communication services in such difficult situations, without the need for communication network substructure and by decreasing call traffic in cellular communication networks. Given that almost everybody uses a mobile device (UE-user equipment) today, the D2D communication technique is seen as a suitable solution for the post-disaster situation. This method plays a substantial role in LTE and especially in fifth-generation communication (5G) networks. Device or UE discovery, is a key element in D2D communications. It is not possible for devices to communicate with each other, without device discovery. In this study, the Throughput-based Discovery Algorithm (TDA) is recommended to find D2D matches among devices on Public Safety Network (PSN) in a post-disaster situation. Sample scenarios were composed to test the performance of the proposed algorithm. TDA was compared with SINR (signal-to-interference-plus-noise ratio)-based discovery algorithms, such as Shortest Distance Discovery Algorithm (SDA), Maximum SINR with No limit on the distance of discovery Algorithm (MSNA), and Maximum SINR with Limit on the distance of discovery Algorithm (MSLA). The proposed algorithm TDA was observed to outperform other SINR-based discovery (MSNA, SDA, and MSLA) algorithms for D2D discovery in the calamity area in terms of failure to service or outage of SINR and the average number of SINR pairs discovered.

Within the scope of the thesis, a Matlab GUI called PSN-D2D Discovery Simulator has been developed to enter different parameters with the help of a single interface with SINR-based discovery algorithms and to view the results from a single interface. The results obtained from parameters such as different path loss and environmental impact values with the discovery algorithms of D2D and PSN networks with different scenarios were evaluated in the simulator.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Depremler, heyelanlar ve kasırgalar gibi felaketler dünya çapında altyapıya zarar veren en önemli olaylar arasındadır [1,2]. Afet sonrası için, insanlar ve afet yönetimi kuruluşları arasında iletişim hayati önem taşımaktadır [3–5]. Etkili afet yönetimi, afet alanından hızlı şekilde doğru bilginin elde edilmesiyle sağlanmaktadır[6,7]. Bir afet durumunda veya afet sonrasında, iletişim altyapısı zarar görebilir veya kullanıcıların yakınlarıyla haberleşebilmek için iletişim sistemine aşırı yüklenmesi nedeniyle kullanıcı isteklerine cevap veremez hale gelebilir. Sonuç olarak, afetzedeler afet bölgesinin dışındakilerle iletişim kuramazlar ve kurtarma ekipleri tarafından izlenemezler [8,9].

D2D (Cihazdan cihaza- Device to device) iletişim teknolojisi, hücresel iletişim ağındaki çağrı trafiğini azaltarak felaket durumlarında ağ altyapısının yardımı olmadan iletişim hizmetleri sağlamaktadır [10–12]. Yeni nesil 5G iletişim ağlarında, akıllı mobil cihazlar (UE-Kullanıcı Ekipmanı) herkes tarafından kullanılacağından D2D iletişim teknolojisinin kritik bir rol oynayacağı bilinmektedir [13,14]. D2D iletişim yöntemi, afet sonrası arama, kurtarma ve iletişim alanında öne çıkmaktadır. D2D'deki mevcut çalışmalar, baz istasyonunun (BS) sinyal mesafesine [15,16] göre "kapsama alanı" ve "kapsama alanı dışı" olarak ayrılabilir. UE'ler, kapsama alanındaki diğer UE'lerin yanı sıra merkezi BS'ler ile de iletişim kurabilmektedir.

D2D iletişimi "cihaz keşfi" ve "iletim" olmak üzere iki ana unsura sınıflandırılabilir. D2D keşfi, doğrudan bir iletişim bağlantısı (direct mode) kurmak için yakındaki cihazları bulma sürecidir. Cihaz keşfi iki türe ayrılmaktadır [17]: doğrudan keşif ve Evrimleşmiş Paket Çekirdeği (EPC) düzeyinde keşif. EPC keşif durumunda, cihaz keşfi UE'ler ve BS arasında merkezi bir yapıda sağlanırken, doğrudan keşif durumunda, UE özerk olarak yakınındaki UE cihazlarını aramaktadır.

Bu işlem, keşif sinyallerini sorunsuz bir şekilde iletmek ya da almak için UE cihazlarının keşfe katılmasını gerektirmektedir.

Afet sonrası alanda birçok eşleşen D2D çifti varsa, UE'lerin iletişim olasılığı artar. D2D iletişiminde, enerji tüketimini azaltma ve verimi artırmadaki gelişmeler kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle çalışmamızda, cihaz keşif algoritmasındaki verim-iş çıkarım (throughput) metriğine odaklanıldı. UE'ler arasındaki iş çıkarım ölçüsüne göre D2D çiftlerini bulan bir keşif algoritması (TDA) önerildi. Sonuçlar, TDA'nın, UE'ler arasındaki mesafeyi ve SINR (Sinyal-Girişim + Gürültü Oranı) değerini kullanan diğer keşif algoritmalarına kıyasla afet bölgesi için daha fazla D2D çifti bulunduğunu göstermektedir. Önerilen TDA ile elde edilen SINR kesintisi (hizmet verememe yüzdesi) afet bölgesinde daha düşüktür, bu nedenle karşılaştırılan diğer algoritmalarından daha iyi hizmet kalitesi sağladığı görülmüştür. Düşük kesintili SINR'ye ve çok sayıda eşleşen UE çiftine sahip UE'ler, kesintisiz iletişim sağlamaktadır.

1.1. Tez Çalışmasının Konusu ve Problemin Tanımlanması

Afet durumunda haberleşme alt yapısının fiziksel olarak zarar görmesi veya haberleşme ağının aşırı yükten dolayı çökmesi durumunda afet sonrası cihaz keşfine ihtiyaç duyulmaktadır.

SINR metriği, uçtan uca (P2P) keşif için önemli bir ölçüm parametresidir. Osman'ın [18] çalışmasında, SINR ölçümlerine ve UE'ler arasındaki mesafelere göre bazı D2D keşif algoritmaları önerilmiştir. Bunlar, en kısa mesafe algoritması (SDA), maksimum SINR'ye dayalı mesafe sınırı olmayan algoritma (MSNA) ve maksimum SINR'ye dayalı mesafe sınırı olan algoritma (MSLA). Ancak bu keşif algoritmalarında, keşfedilen cihaz çift sayılarının sayısı ve hizmet kesintisi bakımından bazı zayıf noktalar bulunmaktadır. Örneğin SDA, D2D çiftlerini en kısa mesafeye göre keşfeder ve bu nedenle yalnızca en yakın çifti seçmektedir. MSNA, UE'ler arasında mesafe sınırı olmaksızın maksimum SINR'ye göre D2D çiftlerini bulan bir keşif algoritmasıdır. Dolayısıyla en yüksek SINR değerine sahip çifti

bulmaktadır. MSLA, mesafe limiti altındaki yüksek SINR değerlerine göre D2D çiftlerini arayan bir keşif algoritmasıdır yani MSNA keşif algoritmasının mesafeye dayalı hibrit modelidir.

Afet sonrası haberleşmenin önemli kriterleri şu şekilde sıralanabilir;

- Afet sonrası keşif alanı içinde en az servis kesintisi ile hizmet verilmelidir. Kesintinin az olması haberleşme kalitesini artıracaktır.
- Afet bölgesinde keşfedilecek cihaz çiftlerinin sayısının fazla olması afetten zarar görenlerin tespiti ve enkaz altında afetzedelerin bulunabilirliği açısından önemlidir.
- Enerji etkinliği, kapasite ve iş çıkarım parametreleri açısından verimli bir şekilde kesinti olmadan cihaz keşfi yapılması önemlidir.

1.2. Tezin Amacı ve Katkıları

Tezimizin amacı ve motivasyonumuzun odak noktası, afet sonrası bölgedeki D2D çiftleri arasında en düşük kesintili SINR'ye sahip en uygun UE'leri tespit etmektir.

Bu tez çalışmasında literatüre katkı olarak;

- UE'ler arasındaki iş çıkarım ölçütüne göre D2D çiftlerini bulan yeni bir keşif algoritması (TDA) önerilmiştir.
- Önerilen keşif algoritmasının (TDA), UE'ler arasındaki mesafeyi ve SINR değerini kullanan keşif algoritmalarına kıyasla afet bölgesi için daha fazla D2D çifti keşfettiği tespit edilmiştir.
- Önerilen algoritma ile elde edilen SINR kesintisi (hizmet verememe yüzdesi) afet bölgesinde daha düşüktür, bu nedenle karşılaştırılan diğer algoritmalarından daha iyi hizmet kalitesi sağladığı görülmüştür.

- PSN-D2D Simülatörü kullanıcı dostu bir arayüz olarak tasarlanmış ve geliştirilmiştir.
- PSN-D2D Simülatörü ile tek bir kullanıcı arayüzü üzerinden farklı parametrelere (arama algoritmaları, frekans, bant genişliği, anten yüksekliği, yol kaybı modelleri, D2D sayısı, farklı çevresel yol kaybı modelleri vb.) göre sonuçlar (aktif UE çiftinin SINR oranı, eşleşen UE çiftlerinin ortalaması enerji etkinliği ve iş çıkarımı) alınabilmektedir.

1.3. Literatürde Sunulan Çalışmaların Özetleri

Literatürde D2D ve PSN üzerine yapılan pek çok çalışma mevcuttur. LTE ağı üzerinde yapılan çalışmalar kapsamında Kamu Güvenliği Ağı (PSN) çalışmaları özelinde D2D keşfi konuları şema tasarımı [19], yönlendirme (multi-hop) [20–23], kümeleme [24,25], enerji-spektrum etkinliği [26,27], performans değerlendirmesi [28–30] ve UE keşfi [18,31] olarak ayrılabilir. LTE üzerine yapılan çalışmalar D2D ve PSN olarak ayrıntılı biçimde 2.Bölümde anlatılmaktadır.

1.4. Tez Organizasyonu

Tezin kalan bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir. 2.Bölümde, genel LTE çerçeve yapısı, sistem mimarisi ve iş çıkarımı hesaplaması açıklanmıştır. Literatürde D2D ve PSN hakkında LTE ağı üzerine yapılan çalışmalara, D2D standardizasyonu, LTE ile D2D üzerinde yapılan çalışmalara ve son olarak PSN ağlarında LTE üzerine yapılan D2D keşif çalışmalarına yer verilmiştir.

3.Bölümde, önerilen D2D keşif algoritmasının (TDA) modellenmesi tanımlanmış, sistemin genel yapısı anlatılarak örnek bir senaryo üzerinde testler yapılmıştır. TDA ve diğer keşif algoritmalarının karşılaştırmaları yapılmış ve simülasyon sonuçları sunulmuştur.

4.Bölümde, keşif algoritmalarının ve algoritmaların işleyişini sağlayan parametrelerin bir arayüz üzerinde girilmesi için geliştirilmiş olan grafik kullanıcı arayüzü (GUI) tasarımı anlatılmıştır. PSN ve D2D için değişik parametrelerle farklı senaryolar geliştirilerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

5.Bölümde ise, tezde elde edilen sonuçlar sunulmuştur ve genel değerlendirmeler yapılmıştır.



BÖLÜM 2. D2D HABERLEŞME TEKNOLOJİSİ VE KAMU GÜVENLİK AĞI (PSN)

Bu bölüm üç ayrı kısımdan meydana gelmektedir. Birinci kısımda, genel LTE çerçeve yapısı, sistem mimarisi ve iş çıkarımı hesaplaması açıklanmıştır. İkinci kısımda, literatürde D2D ve PSN hakkında LTE ağı üzerinde yapılan çalışmalar, D2D standardizasyonu, LTE ile D2D üzerinde yapılan çalışmalar ve son kısımda ise PSN ağlarında LTE üzerinde yapılan D2D keşif çalışmaları şeklinde yer almaktadır.

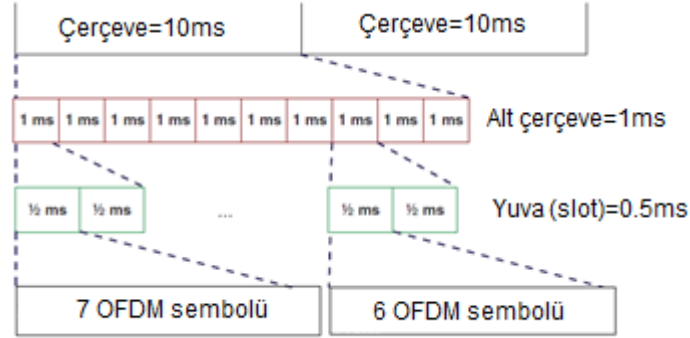
2.1. Genel LTE Yapısı

LTE, 3GPP (Üçüncü Nesil Ortaklık Projesi) organizasyonu tarafından 4.Nesil (4G) mobil haberleşme standardı olarak kabul edilmiştir. LTE teknolojisinin yüksek veri hızına ve düşük gecikme değerlerine sahip olması önemli özelliklerindendir. Ayrıca kullanıcıya yüksek kapasite olanağı sağlaması (örneğin, 5MHz frekansında 200 kullanıcıya destek verirken, daha geniş spektrumda 400 kullanıcıya kadar çıkabilmesi) ve hücre kapsama alanı olarak 5-100 km'ye kadar desteklemesi kullanıcının erişimini artırmaktadır. IP (İnternet protokolü) tabanlı esnek spektrum kullanımı olması ise yönetilebilirlik ve ölçeklendirme bakımından avantaj sağlamaktadır [32].

LTE yapısında, her bir alt çerçevenin uzunluğu 10 ms'dir ve 10 alt çerçeveden oluşmaktadır. 1 ms uzunluğa sahip her bir alt çerçeve, iki 0,5 ms'lik yuvadan (slot) oluşmaktadır. Her yuva, sırasıyla 7 OFDM (Ortogonal Frekans Bölmeli Çoğullama) ve uzatılmış 6 OFDM sembolünden oluşmaktadır. Şekil 2.1.'de zaman alanındaki (domain) LTE çerçeve yapısı gösterilmektedir.

Frekans alanında (domain), sistem bant genişliği, her biri 15 kHz bant genişliğine sahip alt taşıyıcılara bölünmektedir. Bir yuva uzunluğu için ardışık 12 alt taşıyıcı

dizisine ihtiyaç vardır. Fiziksel Kaynak Bloğu (Resource Block-RB) olarak bilinen bu dizi, 180 kHz'lik bir bant genişliğine sahiptir.



Şekil 2.1. LTE çerçeve yapısı [33,34].

3GPP'ye göre, LTE kanal bant genişliği 1,4/3/5/10/15/20 MHz olabilmektedir. Mevcut tüm spektrum kaynak bloklarına ayrılmıştır. Bant genişliğine bağlı RB sayısı Tablo 2.1.'de sunulmuştur.

Tablo 2.1. Kanal bant genişliği ve kaynak blokları [33,34].

MHz	1,4	3	5	10	15	20
RB	6	15	25	50	75	100

2.1.1. Genel iş çıkarımı (Throughput) - veri oranı hesabı

LTE iş çıkarımı hesabı için bant genişliği (BW), kanal kalitesi göstergesi (CQI) ve ağ yükü (NL) gibi parametrelere bağlıdır.

Radyo dalgasının yayılım yaptığı çevre koşulları, kullanıcı cihazlarının bit hızlarını etkilemektedir. Radyo koşullarının iyi olması ile daha yüksek verim elde edilebilmektedir. BS mevcut radyo koşullarına göre modülasyon ve kodlama şemasını (MCS) seçer. MCS ne kadar yüksek olursa, birim zamanda o kadar çok bit

iletilebilmektedir. UE, radyo kanalı kalitesini ölçer (CQI), BS ise MCS'yi tabloya göre seçmektedir.

MCS indeksi CQI'ya bağlıdır. MCS indeksi ile CQI arasındaki ilişki ticari firmaların kullandığı tekniğe göre değişiklik gösterebilmektedir. MCS indeksini seçmek için 3GPP referans tablosuna bakılabilir [35].

TBS, taşıma blok boyutu anlamına gelir ve 1 TTI (= 1ms) başına iletilebilecek bir bit sayısını ifade etmektedir. Kullanılan anten tekniğine göre (SISO-MIMO) iş çıkarım değeri artırılabilir.

Ağ yükü, mevcut radyo kaynaklarının aktif UE'ler arasında bölünmesiyle bulunabilmektedir. Daha fazla UE aktif olması ve veri alışverişi sağlaması daha az kaynağın aboneler arasında dağıtılması anlamına gelmektedir. Ağ yükü UE sayısı, ağ bağlantısı durumu ve önceliklere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Genel olarak simülasyon çalışmalarında ağ yükü net olmadığından uydu yer bağı [36] (downlink) yerine yer-uydu bağı [36] (uplink) senaryoları kullanılmaktadır. Örneğin; ideal koşullarda tek bir UE için iş çıkarımı en yüksek değeri;

$$BW=10 \text{ MHz} \rightarrow \text{RB sayısı}=50$$

$$N_{SC}(\text{alt taşıyıcı sayısı})=50 \times 12=600$$

$$\text{MCS indeksi} = 28 \text{ ve TBS indeksi} = 26 \text{ dır.}$$

$$\text{İş çıkarımı (en yüksek değeri)} = 36.696 \text{ bit (TBS tablosuna göre RB'lerin bit sayısı)} \\ \times 1000 = 36.696 \text{ Mbps olarak bulunmaktadır.}$$

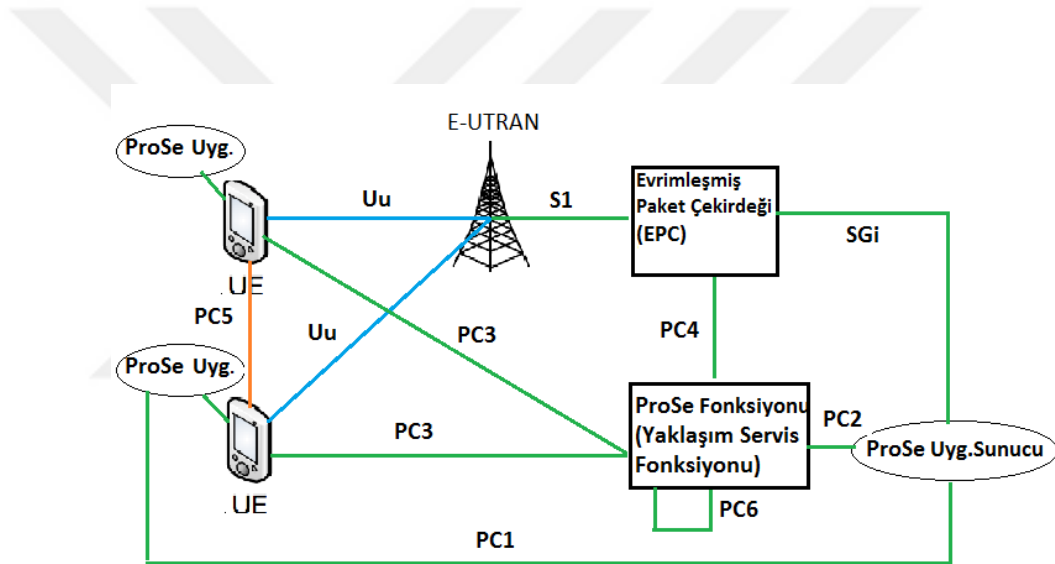
Veri oranı ise alt taşıyıcıdaki bit sayısının zamana bölünmesiye bulunmaktadır. Alt taşıyıcı RB, alt taşıyıcı, yuva (slot) sayısı, OFDM sembol uzunluğu ve semboldeki bit sayısının çarpımıyla bulunmaktadır. Örneğin;

$$\text{Alt taşıyıcıdaki bit sayısı} = 50 \text{ RB} \times 12 \text{ SC (alt taşıyıcı)} \times 2 \text{ (yuva sayısı)} \times 7 \text{ (normal} \\ \text{uzunluktaki sembol)} \times 6 \text{ (1 OFDM deki bit sayısı)} = 50.400 \text{ bits}$$

Veri Oranı = 50.400 bits/1ms = 50,4 Mbps olarak bulunmaktadır.

2.1.2. LTE sistem mimarisi

3GPP'nin önermiş olduğu D2D mimarisi Şekil 2.2.'de verilmektedir. D2D mimarisinde LTE mimarisinin geleneksel yapısına, gelişmiş UMTS Karasal Radyo Erişim Ağı (E-UTRAN) ve Evrimleşmiş Paket Çekirdeği (EPC)'ne eklenen uygulama sunucuları, UE'deki uygulamalar ve Yakınlık Servisi (ProSe) fonksiyonları gibi yeni yapılar şeklindedir.



Şekil 2.2. 3GPP tarafından önerilen D2D mimarisi [37].

- Uygulama sunucuları (ProSe App Server): Kamu güvenliği ağları, sosyal medya veya ticari kuruluşlar uygulamalarını oluşturmak için ProSe özelliğini kullanmaktadır. Bu uygulamalar 3GPP mimarisinin haricinde önerilmiş olup 3GPP'ye yönelik referans noktaları olabilmekte ve uygulama sunucusu UE'deki bir uygulama sayesinde iletişim kurabilmektedir.
- UE'deki Uygulamalar (ProSe UEs App): Uygulamayı işlevsel hale getirmek için ProSe yeteneği kullanılır. Örneğin, kamu güvenliği grup üyeleri ile

etrafındaki diğer UE'leri bulmayı sağlayan cihaz keşfi veya sosyal medya uygulamaları arasındaki iletişimi kurmak için kullanılabilir.

- ProSe Fonksiyonları: Uygulama sunucuları, UE'lere ve EPC'ye erişim için bir referans noktasıdır. ProSe fonksiyonları üçüncü parti uygulamalara da doğru bir referans noktası üzerinden internet ağı imkânı sağlayabilmektedir. UE'lerin keşif ve doğrudan haberleşme için yetkilendirilmesini ve yapılandırılmasını sağlamaktadır. EPC seviyesine göre ProSe keşfinin işlevselliğini sağlayabilmektedir[27].

Şekil 2.2.'deki PC1-PC6 altı referans noktası ve SGi ile toplam yedi yeni arayüzü ifade etmektedir. Bu referans noktaları cihazların birbirine olan bağlantısı dâhil olmak üzere servis hizmetlerinin alındığı sunuculara olan bağlantıları göstermektedir. Uu hava arayüzünü (referans noktası) temsil etmektedir ve yeni kullanıcı cihazlarının birbirine bağlanması ve geleneksel LTE'lerle olan baz istasyonu kullanıcı cihaz bağlantılarını (uplink-downlink) için tanımlanmaktadır.

2.2. D2D Haberleşme Teknolojisi

D2D haberleşme, merkezi bir cihaz olan BS yardımıyla yapılabildiği gibi baz istasyonu kontrolü ya da baz istasyonu kontrolü olmadan cihazların arasında yapılabilmektedir. Cihazların kendi arasında merkezi bir yapı olmadan iletişim kurması özelliği 5. Nesil (5G) teknolojisinin gelişmesinde önemli bir kilometre taşı olarak görülmektedir [12,13,38,39]. Mobil kullanıcı cihazların yaygınlaşmasıyla ve mobil cihaz kullanıcılarının artmasıyla birlikte günümüz şartlarında D2D haberleşmenin kullanım alanlarına oyun, içerik (video, fotoğraf vb.) aktarımı ya da paylaşımı ile birlikte afet sonrasında cihazlar arası haberleşme çözümünü de eklemek mümkündür.

D2D haberleşmesi, cihazdan cihaza kısa mesafeli bir iletişim sunmaktadır. Ayrıca yüksek veri iletimi sağlamak ve düşük bir gecikme ile hizmet sunmaktadır. Geleneksel hücresel haberleşme yapısıyla karşılaştırıldığında, D2D haberleşmesi

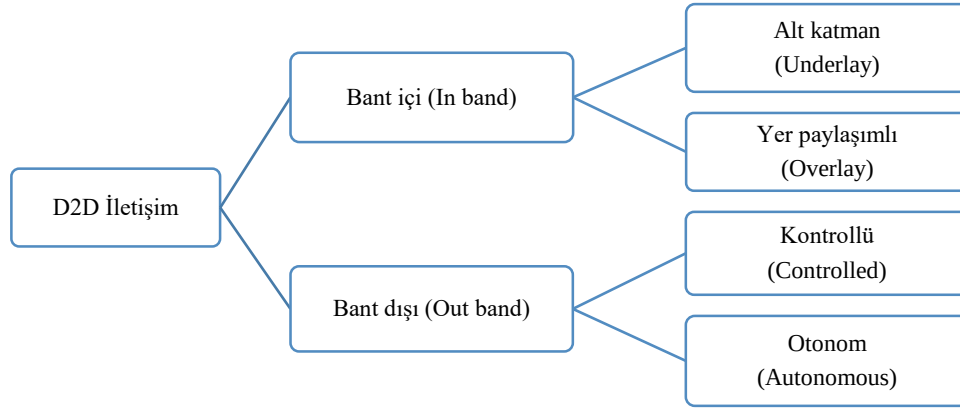
cihazlar arasındaki enerji tasarrufunu sağlayabilmektedir. Mevcut haberleşme altyapısı kullanılmayacağı için hücresel ağdaki yük yoğunluğunu azaltabilmektedir [40]. Literatürde LTE-A (LTE-Advanced) ağına D2D iletişiminin tanıtılmasını ilk örnek, Qualcomm firmasının [41] geliştirdiği FlashLinQ mobil iletişim sistemidir [42]. Bu teknoloji merkezi bir altyapıya ihtiyaç duymadan geniş bant hızlarında hücresel cihazların iletişimini sağlamaktadır. FlashLinQ teknolojisi, 1 km mesafe içinde FlashLinQ teknolojisine sahip diğer mobil cihazları otomatik ve sürekli olarak keşfedilmesini sağlamaktadır [40].

2.2.1. İletişim türleri

D2D ile yapılan çalışmalar kapsamında, D2D iletişim sınıflandırması hücresel ağlarda, bant içi (in band)-lisanslı frekans ve bant dışı (out band)-ISM bandı (Endüstriyel Bilimsel Tıbbi) olarak ayrılmaktadır [43].

Bant içi D2D iletişimi, alt katman (underlay) ve yer paylaşımli (overlay) olarak ayrılmaktadır. Alt katman iletişim durumunda D2D ve hücresel ağlar aynı frekans bantlarını kullanırken yer paylaşımli iletişimde ise girişim ve parazitleri azaltmak için D2D ve hücresel haberleşmeye tahsis edilen frekanslar kullanılmaktadır.

Bant dışı sınıflandırmada WiFi [44], ZigBee [45] ve Bluetooth [46] gibi teknolojiler kullanılmaktadır. Baz istasyonu yardımıyla iletişim kurma durumuna kontrollü (controlled), cihazların kendi arasında iletişim kurmasına ise otonom (autonomous) bant dışı iletişim olarak kabul edilmektedir [43]. Şekil 2.3.'de D2D iletişim türleri görülmektedir.



Şekil 2.3. D2D iletişim türleri [27,43].

2.2.2. Kapsama alanı ve keşif durumu

D2D iletişiminde kapsama alanı BS ve UE durumu, kapsama alanı içi, kısmi kapsama alanı ve kapsama alanı dışı olmak üzere üç biçimde tanımlanmaktadır [13,39,43]. Kapsama alanı içinde tüm UE'lerin, BS'den hizmet veya sinyal almak için BS kapsamı içerisinde olduğu kabul edilmektedir. Kısmi kapsama, bazı UE'lerin BS kapsamı içerisinde diğerlerinin ise kapsama alanı dışında olduğu durumdur. Kapsama alanı dışı tüm UE'lerin BS kapsamı alanı dışında olduğunu ve bir BS'den hizmet veya sinyal alamadığını göstermektedir.

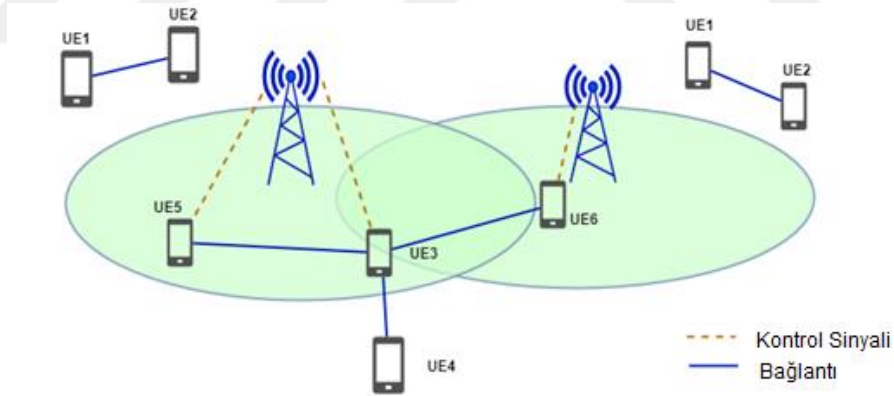
Bir uygulama için temel ProSe keşif senaryosu olarak kısıtlı veya açık yakınlık servis keşfi kullanılabilmektedir. Kısıtlı yakınlık keşfinde, ProSe etkinleştirilmiş bir UE, daha önceden keşif için izin almış ise, yakınlarda başka bir UE cihazını keşfedebilmektedir. Kısıtlı kullanım için örneğin, gizlilik içermeyen durumlarda UE cihazlarının kendi mobil cihazlarından keşfe izin verdiği (sosyal ağlar vb.) diğer komşu cihazları taraması veya keşfetmesi verilebilmektedir.

Açık yakınlık keşfi durumunda, ProSe etkinleştirilmiş bir UE, bir izine gerek duyulmadan etraftaki komşu cihazlarını bulabilmektedir. Açık kullanım durumuna bir örnek olarak bir alışveriş merkezinde mağaza ya da restoran reklamı verilebilir.

Çünkü açık yakınlık keşfinde dükkânlar veya restoranlar, kendi ürün tanıtımı ve pazarlama durumları için olası tüm ProSe etkin UE'ler tarafından keşfedilmeye açık olarak mesaj gönderebilmektedir.

2.2.3. D2D standardizasyonu

D2D iletişimi, maliyet etkinliği ve ağ performansı açısından hem 3GPP hem de LTE hücresel ağlara fayda sağlamaktadır. Özellikle D2D iletişimi, ağ verimliliğini, uçtan-uca gecikmeyi, kaynak kullanımını ve enerji verimliliğini iyileştirmektedir. D2D aynı zamanda sosyal ağlar, veri paylaşımı ve oyunlar gibi pek çok uygulamayı desteklemektedir. Bu nedenle, LTE üzerinden D2D iletişiminin etkinleştirilmesi, ağın performansını büyük ölçüde artırmaktadır. D2D iletişimi için 3GPP, LTE sürüm 12'de [7,40,47] ProSe olarak özelleştirilmiş bir sistem mimarisi ve kanal modelleri kullanılmaktadır. Şekil 2.4.'de D2D ProSe iletişimi için cihaz çiftleri gösterilmektedir.



Şekil 2.4. 3GPP'nin önerdiği D2D senaryoları.

Şekil 2.4.'de mavi düz çizgiler UE'ler arasındaki bağlantıyı gösterir ve turuncu kesik çizgiler UE'ler ve BS'ler arasındaki kontrol sinyalini temsil etmektedir. Cihazlardan biri keşif sinyali gönderir ve diğeri bu sinyali alır. Örneğin, UE2 alıcı modundayken, UE1 iletim modunda bir keşif sinyali göndermektedir. Benzer şekilde, UE2 bir gönderici olarak hareket ettiğinde, UE1 alıcı modu olarak kalmaktadır.

Tablo 2.2.'de, şekilde (Şekil 2.4.) gösterilen D2D senaryolarına göre kapsama alanını özetlemektedir. Senaryo 1-A baz istasyonunun hasar görmesi veya baz istasyonu sinyalinin alınmaması durumunu göstermektedir. Senaryo 1-B cihazlardan birinin kapsama alanı içinde ve diğerinin kapsama alanı dışında olduğu kısmi kapsama durumunu belirtir. Senaryo 1-C kapsama alanındaki cihazların durumunu tek bir hücreli yapıda gösterir. Senaryo 1-D menzil içindeki cihazların çok hücreli yapısının durumunu temsil etmektedir.

Tablo 2.2. D2D senaryoları ve bağlantı türleri.

Kategori	Senaryolar	Birinci Cihaz	İkinci Cihaz
1-A	Kapsama alanı dışı (Out of Coverage)	Kapsama alanı dışı (UE1)	Kapsama alanı dışı (UE2)
1-B	Kısmi Kapsama alanı (Partial Coverage)	Kapsama alanı (UE3)	Kapsama alanı dışı (UE4)
1-C	Kapsama alanı tek hücreli ağ (Coverage Area – Single Cellular)	Kapsama alanı (UE3)	Kapsama alanı (UE5)
1-D	Kapsama alanı çoklu hücreli ağ (Coverage Area –Multi Cellular)	Kapsama alanı (UE3)	Kapsama alanı (UE6)

D2D keşfi ve iletişimi, ProSe D2D'nin servisini destekleyen son derece önemli işlevlerdir. D2D keşfi ve iletişiminden oluşan ProSe servisine yardımcı olan D2D sisteminin mimarisi 3GPP tarafından geliştirilmiştir. LTE sürüm 13'de, D2D / ProSe kullanımı ve 3GPP, küçük hücreler, kaynak verimliliği, spektrum bantları ve heterojen ağ (HetNet) dâhil olmak üzere görev açısından kritik iletişim geliştirilmiştir. Özellikle, LTE ve D2D iletişimine dayalı D2D keşfinden ve kamu güvenliği gereksinimlerinden oluşan sürüm 12'deki kamu güvenliği işlevlerine ek olarak, kapsam dışı D2D iletişimi, sürüm 13 tarafından da sürdürülmüştür [7,16].

2.2.4. D2D keşfi ve LTE

D2D iletişim teknolojisi, hücreli iletişim ağındaki çağrı trafiğini azaltarak ağ altyapısının yardımı olmadan da cihazlar arası iletişim hizmetleri sağlayabilmektedir. LTE ağlarında ve yeni nesil 5G haberleşme ağlarında D2D iletişim teknolojisinin

kritik bir rol oynayacağı bilinmektedir. Literatürde D2D keşfi ve LTE üzerine yapılan pek çok çalışma mevcuttur. LTE ağı üzerinde D2D keşfi kapsamında yapılan çalışmaların bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Doppler ve ark. 3GPP LTE-A hücreyel ağının temelini oluşturan D2D iletişimi, birincil hücreyel ağ üzerinde sınırlı parazit etkisi olan bölgesel hizmetleri kolaylaştırmada etkili olmuştur [48]. D2D iletişim prosedürlerinin yönetimi için yeni mekanizmalar ve bunların LTE ağındaki oturum kurulumu önerilmiştir. Doppler ve ark. tarafından sunulan başka bir makalede, bir servis ve cihaz keşif radyosu için yeni bir işaretleme planı önerilmiştir [49]. Bu şema, OFDM ilkesine ve LTE işaret yapısına dayanmaktadır. Akıllı telefonlar gibi cihazlar, enerji tüketimi analizine göre bekleme ve çalışma süresini önemli ölçüde azaltmadan önerilen işaretleme şemasını kullanarak bir arka plan ağı oluşturabilmektedir.

Tang ve ark. standart LTE hücreyel ağlarda D2D iletişimini sağlamak için komşu keşif sorununu ele almıştır. Komşu keşfi için önerilen yöntemlerin performansları, LTE dağıtımındaki çeşitli sistem parametreleri açısından değerlendirilmiştir [50]. Şimşek ve ark. 3GPP' ye dayalı sistem düzeyinde bir simülatör önermiş ve üç keşif kaynağı seçme algoritmasının (açgözlü, rastgele ve koordineli algoritmalar) performanslarını karşılaştırmıştır [51]. Sonuçlar rastgele yaklaşımın diğer algoritmalarından daha kötü olduğunu göstermiştir.

Vasudevan ve ark. kablosuz ağlardaki komşu düğümlerin keşfi için bir algoritma önermişlerdir. Aynı çalışmada, tek sekmeli kablosuz düğüm ağı ile bir komşu keşif algoritması sunulmuştur [52]. Sun ve ark. çalışmasında komşu keşif protokolü şeması sunulmuştur. Bu şema, geleneksel yuvaların önüne ön el sıkışma alt kümelerinin eklenmesiyle önerilmiştir [53].

Yang ve ark. çalışmasında LTE-A ağları için dağıtılmış bir haritalama protokolü sunmuşlardır. Bu çalışmada, talepte bulunan D2D UE'lerin sayısına dayalı uyarlanabilir FlashLinqQ yapısına benzer keşifte kaynak tüketimini en aza indirmek için bir kaynak tahsis algoritması önerilmiştir. Aynı çalışmada, uçtan uca (P2P) UE

keşif süreleri karşılaştırılmıştır [54]. Zou ve ark. çalışmasında, OFDMA hücresel sistemindeki fiziksel katman seviyesinde P2P iletişiminin aktivatörü olarak bir keşif sinyali önerilmişlerdir. Önerilen sinyal, yüksek güç verimliliğine, yüksek gürültü toleransına ve minimum ek yüke sahiptir [55]. Zou ve ark. tarafından sunulan başka bir makalede, hücresel ağlar için imza tabanlı bir keşif şeması örneği olarak sunulmuştur [56].

Yang ve ark. çalışmasında, LTE hücresel ağ mimarisine uygun geleneksel paket tabanlı şema ile birlikte bir işaretçi kullanan FlashLinQ yapısına benzer bir cihaz keşif şeması önermiştir [57]. Hayat ve ark. çalışmasında, D2D iletişimini sağlamak için yarıçapı R olan bir kafes alanı içinde Küresel Kod Çözücü benzeri bir keşif algoritması (SDL) sunmuştur [58].

2.3. Kamu Güvenlik Ağı (PSN) Teknolojisi

Kamu Koruma ve Afet Yardımı (PPDR) hizmetleri, güvenlik için kolluk kuvvetleri, polis operasyonları ve sınır güvenliği ile doğal felaketten kurtarma (deprem, su baskını, toprak kayması vb.), yangınla mücadele, acil tıbbi müdahale gibi durumları içermektedir [3].

PPDR işlemleri gerçekleştirebilmek için kullanılan kablosuz haberleşme ağlarına Kamu Güvenlik Ağları (PSN) denmektedir [59]. PSN'ler mevcut durumda, profesyonel mobil radyo teknolojisine dayalı olarak tasarlanmıştır. Kuzey Amerika'da Kara Mobil Radyosu (LMR) ve Avrupa'da Özel Mobil Radyo (PMR) olarak bilinmektedir [59]. LMR sistemleri, kullanıcı mobil cihazlar (UE), BS ve bir dağıtıcıdan oluşmaktadır. LMR ağları, düşük veri hızlarına sahip olmasına rağmen ses merkezli uygulamalar bakımından zengindir. PSN'ler için LMR sistemlerinin iyi bilinen örnekleri, Karasal Hat Telsizi (TETRA), Dijital Mobil Radyo (DMR) ve Proje 25 (P25) olarak sayılabilir [3,59]. TETRA ve DMR uygulamaları, Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (ETSI) tarafından standart haline getirilirken, P25, ABD Telekomünikasyon Endüstrisi Birliği (TIA) tarafından standartlaştırılmıştır [59].

Haberleşme teknolojileri desteklenen veri hızlarına göre dar bant, geniş bant ve geniş yayılım bandı olmak üzere üç sınıfa ayrılabilir [59]. Dar bant teknolojileri, ses merkezli uygulamalar için uygundur ve Kbps civarında veri hızlarına sahiptir. Örnek olarak TETRA ve P25 verilebilir. Geniş bant teknolojileri, dar banttan daha yüksek (birkaç yüz Kbps civarında) veri hızlarına sahip uygulamaları desteklemektedir. Geniş bant teknolojilerinin bir örneği olarak Evrimsel TETRA sistemi ve TETRA Gelişmiş Veri Hizmeti (TEDS) verilebilir. Geniş yayılım bandı teknolojileri ise 1 Mbps'nin üzerindeki veri hızlarına sahip hizmetleri çalıştırabilir. Geniş yayılım bandı'deki veri hızları, dosya-multimedya paylaşımı, yüksek çözünürlüklü video aktarımı, canlı video akışı gibi daha karmaşık uygulamalar için kullanılabilir [59].

LMR sistemlerinin teknik özellikleri Tablo 2.3.'de gösterilmektedir. Tabloda frekans bantları, kanal bant genişliği, erişim yöntemi, modülasyon tekniği, en yüksek veri hızları, desteklenen uygulamalar ve kullanım alanları hakkında bazı ayrıntılar özetlenmektedir.

Tablo 2.3. Geleneksel kamu güvenlik ağları özellikleri [59].

	TETRAPOL	TETRA sürüm1	TEDS	P25 Faz1	P25 Faz2
Sürüm Tarihi	1980	1990	2005	1995	2010
Geliştiren Kuruluş	Airbus Defence and Space	ETSI	ETSI	TIA	TIA
Destek	Tekli (single)	Çoklu (multiple)	Çoklu (multiple)	Çoklu (multiple)	Çoklu (multiple)
Modülasyon	GMSK	pi/4-DQPSK	4/16/64-QAM	C4FM	C4FM
Erişim Metodu	FDMA	TDMA(4 slot)	TDMA(4 slot)	FDMA	TDMA(2 slot)
Frekans Bandı(MHz)	VHF,UHF ya da 800	VHF,UHF ya da 800	VHF,UHF ya da 800	VHF,UHF ,700,800 veya 900	VHF,UHF ,700,800 veya 900
Kanal Genişliği(KHz)	12,5	25	25, 50, 100 veya 150	12,5	6,25
En yüksek veri oranı (Kbps)	8	28,8	473	9,6	9,6

Tablo 2.3.(Devamı).

Uygulamalar	Ses ve Dar Bant veri servisi	Ses ve Dar Bant veri servisi	Ses ve Geniş Bant veri servisi	Ses ve Dar Bant veri servisi	Ses ve Dar Bant veri servisi
Kullanım Alanı	Sadece Kamu Güvenliği	Kamu Güvenliği ve diğer uygulamalar	Kamu Güvenliği ve diğer uygulamalar	Sadece Kamu Güvenliği	Sadece Kamu Güvenliği

PSN’lerde canlı video akışı, sosyal medya paylaşımı gibi geniş bant iletişimi sayesinde iletişimin başarımı artmaktadır. Örneğin, bir afet durumunda kontrol birimlerine canlı video akışının gönderilmesi, durumu doğru bir şekilde değerlendirmelerine olanak tanıyacaktır. Dolayısıyla felaketi doğru bir şekilde ele almak ve olası ölümleri azaltmak için yeterli sayıda müdahale imkânı sağlayacaktır. LTE teknolojileri, PSN’lerin ihtiyaçlarına hizmet verebilmek için umut verici bir teknoloji olarak kabul edilmektedir [6]. PSN’ler hem görev açısından acil durumlarda hem de normal durumlarda iletişimlerini taşıyabilmelidir. LTE, sistem performansını artıracak düşük gecikmeli bir IP sistem mimarisi sağlamaktadır ve farklı taşıyıcı frekanslarında çalışabilmektedir. LTE’ nin birlikte çalışabilirlik özelliği, LTE ekipmanının birçok servis sağlayıcı ile beraber çalışabilmesi ve yabancı ağlara kolay erişimi bakımından önemlidir. LTE sistemleri ölçeklenebilmekte olup çok sayıda kullanıcıyı destekleyebilmektedir. Ayrıca LTE sistemleri, ağ dağıtımı ve küçük veya büyük coğrafi alanları kapsayan hücre boyutu açısından esneklik göstermektedir [59].

2.3.1. PSN ve LTE kullanımı

LTE teknolojisinin PSN’ lerde kullanılması, LTE’nin esnek kullanımı veri hızları bakımından mevcut LMR PSN’ler tarafından erişilemeyen canlı video akışı, video konferans, alan algılama, izleme gibi birçok hizmeti sunabilmektedir. Bunun yanında LTE teknolojisi, altyapı maliyetleri ve işletme maliyetleri bakımından büyük bir ekonomik avantaj sunmaktadır. LMR sistemleri pazarlarına kıyasla LTE pazarı, LTE teknolojisinin çok sayıda servis sağlayıcı ve taşıyıcı desteği sayesinde, etkili dağıtım maliyeti sunmaktadır. Dünya genelinde konuşlandırılmış LTE ağları ile birçok

ülkede PSN' ler oluşturmak kolay hale gelmektedir. LTE ağları birlikte çalışabilirlik konusunda avantaj sağlarken PMR sistemlerinde birlikte çalışabilirlik konusunda uyumsuzluklar yaşanmaktadır. Örneğin, TETRA kullanıcı ekipmanı P25 ağlarında çalışamaz ya da P25 kullanıcı ekipmanı TETRA ağlarından çalışamaz.

LTE sistemlerinde bulunan hizmet kalitesi (QoS) kavramı ve öncelik yönetimi, PSN alanında faydalıdır [60]. LTE sistemlerinde uygulanan QoS mekanizmalarının özellikle kritik operasyonlar ve alt yapının yeterli olamadığı tıkanıklık zamanlarında PSN'lerin görev açısından kritik veri aktarımı için uygun olduğu açıktır. LTE ağları tarafından sağlanan temel IP bağlantısıyla verimli bir şekilde yönetilebilen istemciler ve sunucular arasında LTE sistemleri aracılığıyla iletişimi kolaylaştıran çeşitli PPDR hizmetleri bulunmaktadır. Bununla birlikte, LTE tabanlı PSN'lerin karşı karşıya olduğu birkaç engelden biri, LTE sistemlerinin mevcut PMR sistemleri gibi sesli iletişim için optimize edilmemiş olmasıdır. İkinci olarak ise, LTE IP yapılandırmalarındaki sorun ya da ağa yapılan saldırı durumları bakımından zafiyetleri bulunabilmektedir. Bu bağlamda 3GPP, kamu güvenliği kullanımı için LTE hizmetlerini geliştirmek için çalışmaktadır. Standardizasyonu sağlamak için 3GPP'nin 12, 13 ve 14. sürümlerinde iki ana alan ele alınmaktadır: Yakınlık Servisleri (ProSe) ve Grup İletişim Sistemi Etkinleştiricisi (GCSE)[59].

2.3.2. D2D keşfi ve PSN

D2D iletişimi, PPDR ve Ulusal Güvenlik ve Kamu Güvenliği (NSPS) hizmetleri sağlamak için kullanılabilir. Örneğin, LTE tabanlı bir PSN için 700 MHz frekans bandı tahsis edilmiştir. PPDR ve NSPS özellikli sistemler, altyapı felaket veya acil durum nedeniyle işlevsiz hale gelse bile hücresele ağ hizmetlerine erişim sağlamaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalar ait literatür özeti aşağıda sunulmuştur:

Fodor ve ark. çalışmasında, hücresele ve özel çalışma modlarını bütünleştiren bir sistem tasarımına kümeleme prosedürü önerilmiştir. Bu sistem, LTE ağlarının alt yapı düğümlerinin varlığına ve özellikle D2D iletişimine bağlı olacak şekilde geliştirilmiştir. Önerilen yaklaşım, Avrupa 5G araştırma projesi olan 2020 bilgi

toplumu (METIS) için mobil ve kablosuz iletişim sağlayıcıları tarafından geliştirilen 5G'nin bir teknoloji bileşeni olarak kabul edilmektedir [25]. Gomez ve ark. çalışmasında, LTE mobil ağındaki sanal ve dağıtılmış mimariler için UE, eNB'ler ve EPC arasındaki bağımlılığı azaltmak için bir hibrit baz istasyonu (HyeNB) planı önermiştir [19].

Yuan ve ark. çalışmasında, D2D iletişimi için tam yüklü hücresele ağda dinamik olarak seçilen çok yollu (multi-path) bir yönlendirme modeli sunmuşlardır. Çalışmalarında, bir modelleme senaryosu olarak, Ottawa şehri için bir terör eylemi olması durumunda iletişim altyapısı zarar görmesi üzerine çalışılmıştır. Girişim Duyarlı Yönlendirmenin (IAR) Yayın Yönlendirme (BR) ve En Kısa Yol Yönlendirme'den (SPR) [61] daha iyi sonuçlar sağladığı gösterilmiştir. Lin ve ark. çalışmasında 3GPP ProSE'ye genel bir bakış sunmuştur. PSN'nin D2D desteğine sahip LTE cihazlar için hücresele ağların hizmet veremediği durumlarda ticari ağlardan daha elverişli olduğu bildirilmiştir [17]. Babun ve ark. PSN' de kısmi kapsama durumunda aktif BS' lerin kapsamını genişletmek için D2D iletişimini çalışmışlardır. Bu çalışmada, 3GPP standardına uygun PSN senaryoları dikkate alınarak HetNet ve D2D teknolojileri için sistem düzeyinde bir simülasyon sunulmuştur. Simülasyon, kısmi kapsama göre hücresele ağlar altında D2D çok sekmeli iletişimin performansını göstermek için kullanılmıştır [23].

Kamran ve ark. çalışmasında, PSN'nin kapasitesini ve güç tasarrufunu artırabilen anahtarlamalı bir iletim mimarisine odaklanmışlardır. Aynı zamanda çalışmada, güç aktarımını ve hesaplama karmaşıklığını azaltmak için mesafeye dayalı bir yöntem önerilmiştir [62]. Başka bir çalışmada, Kamran ve ark. D2D ve hücresele işletim modlarını birleştiren bir sistem yapısına kümeleme prosedürü ile farklı bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yaklaşım, PSN ve özellikle D2D iletişimini etkinleştirmek için alt yapı düğümlerinin varlığına bağlı olarak çalışmaktadır [10]. Kamran ve ark. tarafından sunulan başka bir makalede, spektrum verimliliği açısından yeniden kullanım moduna odaklanılmıştır. Anahtarlamada eşzamanlı kablosuz bilgi, güç aktarımı, enerji hasadı ve enerji kısıtlı ağın ömrünü uzatmak için kullanılmıştır. Haberleşme hizmetlerinin, hücresele altyapı kısmen işlevsiz olduğunda, D2D

iletişimiyle küme oluşturma tekniğini hücresele ağlarla bütünleştirerek sürdürülebildiği gösterilmiştir. [24].

Wang ve ark. çalışmasında, Steiner Ağacı'na dayalı olarak afet sonrası ağı kapasitesini yeniden inşa etmeye odaklanılmıştır. Halen faal durumda olan, BS'den ağı çoklu atlama (multi-hop) tekniği kullanılarak hizmet dışı tahliye yerlerine kadar kurtarılması amaçlanmıştır. Önerilen planda, Tokyo şehrindeki BS verileri ve gerçek tahliye alanı kullanılmış olup afet sonrası hizmet modeline dayalı büyük veri analizi kullanılarak değerlendirme sonuçlarının daha doğru bir şekilde sunulması amaçlanmıştır [63].

Osman'ın tez çalışmasında 5G iletişim sistemlerinde D2D iletişim ve keşif yöntemleri incelenmiştir. Bu çalışmada rastgele dağıtılan D2D cihazları hesaplanmış, D2D çıktı yüzdeleri bulunmuş ve belirlenen alandaki tekli ve çoklu haberleşme ağı hücreleri için MSNA, SDA ve MSLA algoritmalarının karşılaştırmaları yapılmıştır [18].

Martin ve ark. çalışmasında, örnek bir senaryo için LTE ağı standardındaki kapasite, bant genişliği, spektrum ve enerji verimliliği hesaplamaları yapılmıştır. Bu çalışmada geniş bantta sahip UE'nin enerji verimliliğinin, D2D arasındaki iletişim mesafesi arttığında küçük bant genişliğine sahip UE'ye göre hızlı bir şekilde azaldığı gösterilmiştir [27].

Hossain ve ark. akıllı telefonlar kullanarak felaket sonrası kurtarmaya yardımcı olan SmartDR adlı yeni bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntem, D2D için çoklu ağı yönlendirme ve komşu keşfi içermektedir [64]. Hayat ve ark. çalışmasında, hücre sektöründe Bölge Tarama Algoritması (SSA) adlı cihaz keşfine dayalı tarama algoritması önerilmiştir. Bu algoritma, özel bir alanda [31] alınan sinyal gücüne göre rastgele yürüyüş ve hız senaryoları içermektedir.

Literatürde D2D, PSN ve LTE ağı üzerinde yapılan çalışmalar kapsamında Kamu Güvenliği Ağı (PSN) çalışmaları özelinde D2D keşfi konuları şema tasarımı [19],

yönlendirme (multi-hop) [20–23], kümeleme [24,25], enerji-spektrum etkinliği [26,27], performans değerlendirmesi [28–30] ve UE keşfi [18,31] olarak ayrılabilir. Tablo 2.4.’de PSN üzerine D2D ile ilgili yapılan çalışmalar anahtar kelimeler açısından özetlenmektedir.

Tablo 2.4. PSN üzerine D2D çalışmalarının karşılaştırılması.

Kamu Güvenlik Ağı (PSN)	Cihaz Keşfi	Şema Tasarımı	Yönlendirme- Çoklu atlama (Multi-hop)	Kümeleme	Throughput (iş çıkarımı)	Enerji ve Spektrum Etkinliği	Performans Ölçümü
Fodor G ve ark.[25]				✓			✓
Gomez K ve ark.[19]		✓					
Yuan H ve ark.[61]			✓				
Lin X ve ark.[17]							✓
Babun L ve ark.[23]			✓			✓	✓
Ali K ve ark.[62]			✓			✓	✓
Ali K ve ark.[10]			✓	✓		✓	✓
Ali K ve ark.[24]			✓	✓		✓	✓
Wang X ve ark.[63]			✓			✓	✓
Osman EAM.[18]	✓					✓	✓
Hossain M ve ark.[64]	✓		✓			✓	✓
Hayat O ve ark.[31]	✓					✓	✓
Marttin V ve ark.[27]						✓	✓
Bu tez çalışması	✓				✓	✓	✓

BÖLÜM 3. AFET SONRASI KAMU GÜVENLİK AĞLARINDA D2D KEŞFİ İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM: İŞ ÇIKARIM TABANLI KEŞİF ALGORİTMASI (TDA)

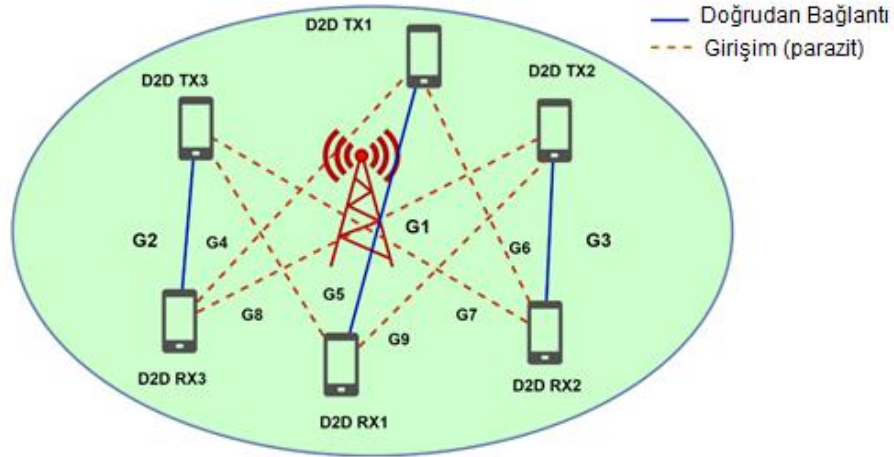
Bu bölüm, dört kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda, tez çalışmasında kullanılan materyal ve yöntem açıklanmaktadır. İkinci kısımda D2D keşif modeli, üçüncü kısımda, D2D keşfi için kullanılan keşif algoritmaları ve dördüncü kısımda ise simülasyon senaryosu ve sonuçları açıklanmaktadır.

3.1. Materyal ve Yöntem

Çalışmada, başlıca ekipman olarak kullanılan bilgisayar Intel(R) Core(TM) i5-5200U CPU @ 2.20GHz işlemci ile 4GB RAM bellek boyutuna sahiptir. Çalışmada, simülasyonlar üzerinden hesaplama işlemleri için Matlab programı kullanılmıştır. Kullanılan simülasyonda sonuçlar, parametreler kullanılarak Monte Carlo yöntemleriyle elde edilmiştir.

3.2. D2D Keşif Modeli

Bu bölümde, D2D keşif modeli, model denklemleri kullanılarak sunulmuştur. D2D iletişiminde, başarılı cihaz keşfi, UE' ler arasında iletişim kurmayı sağlamaktadır. Şekil 3.1.'de, örnek olarak tek bir hücrede cihaz keşfi için D2D sistem modeli gösterilmektedir. Bu şekilde, mavi düz çizgiler UE çiftleri arasındaki doğrudan bağlantıyı gösterirken, turuncu kesik çizgiler, D2D alıcıları ile D2D vericileri arasındaki girişimleri temsil etmektedir.



Şekil 3.1. Bir hücre üzerindeki D2D keşif modeli örneği [48].

İletişim ve haberleşme sistemlerinde önemli bir metrik olan sinyal seviyesinin girişim+gürültü seviyesine oranı SINR (γ) hesabı aşağıda (Denklem 3.1) verilmiştir.

$$\gamma = \frac{S}{I + N} \quad (3.1)$$

Burada, S gelen sinyal gücünü, I ağ içindeki diğer sinyallerin girişim gücünü ve N ise gürültüyü temsil etmektedir. Gelen sinyal gücü (S) Denklem 3.2’de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır:

$$S^{(i,j)} = P_T^{(i,j)} G_T^{(i,j)} G_R^{(i,j)} PL(d_{i,j})^{-1} |h_i|^2 \quad (3.2)$$

Burada, $S^{(i,j)}$ verici ve alıcı UE arasındaki sinyal gücünü, $P_T^{(i,j)}$ verici anten gücünü, $G_T^{(i,j)}$ verici anten kazancını, $G_R^{(i,j)}$ alıcı anten kazancını, PL yol kaybını, $d_{i,j}$ UE’ler arasındaki mesafeyi, h_i sinyal zayıflama katsayısını (fading coefficient) temsil etmektedir.

UE’ler arasındaki girişim hesabında kullanılan formül aşağıda (Denklem 3.3) verilmiştir.

$$I^{(i,j)} = \sum_{k=1, k \neq i, j}^K P_T^{(k,j)} G_T^{(k,j)} G_R^{(k,j)} PL(d_{k,j})^{-1} |h_k|^2 \quad (3.3)$$

Burada, $I^{(i,j)}$ verici UE ve alıcı UE arasındaki girişimi temsil etmektedir. SINR hesabında gürültü olarak, eklenmiş beyaz Gauss gürültüsü (AWGN) kullanılmıştır. Örneğin, TX1 (verici UE) ve RX1 (alıcı UE) arasındaki haberleşme için SINR (γ_{RX1}) hesabı Denklem 3.4'de verilmiştir. Burada, TX1 ve RX1 arasındaki sinyal kazanç (G_1) hesabı Denklem 3.5'e göre, TX2 ve RX1 arasındaki girişim kazancı (G_9) Denklem 3.6'ya göre ve TX3 ve RX1 arasındaki girişim kazancı (G_5) ise Denklem 3.7'ye göre hesaplanmaktadır.

$$\gamma_{RX1} = \frac{P_{TX1} G_1}{P_{TX2} G_9 + P_{TX3} G_5 + N_0} \quad (3.4)$$

$$G_1 = G_T^{(TX1, RX1)} G_R^{(TX1, RX1)} PL(d_{TX1, RX1})^{-1} |h_{TX1}|^2 \quad (3.5)$$

$$G_9 = G_T^{(TX2, RX1)} G_R^{(TX2, RX1)} PL(d_{TX2, RX1})^{-1} |h_{TX2}|^2 \quad (3.6)$$

$$G_5 = G_T^{(TX3, RX1)} G_R^{(TX3, RX1)} PL(d_{TX3, RX1})^{-1} |h_{TX3}|^2 \quad (3.7)$$

Yukarıdaki eşitliklerde, P_{TX} TX1-3 verici anten güçlerini temsil etmektedir. N_0 eklenmiş beyaz Gauss gürültüsünü (AWGN), $G_T^{(TX, RX1)}$ RX1 ve diğer UE vericileri (TX1-3) arasındaki verici anten kazancını, PL yol kaybını, $d_{TX, RX}$ RX1 ve diğer UE vericileri (TX1-3) arasındaki mesafeyi, h_{TX} vericilerin sinyal zayıflama katsayısını (fading coefficients) temsil etmektedir. Yol kaybı modelinde sabit yayılım kaybı [65] ve Log-Normal Shadowing modeli [66] aşağıda (Denklem 3.8) verilmiştir.

$$PL(d) = \overline{PL}(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (3.8)$$

Yukarıdaki eşitlikte n yol kaybı üstel değerini, d_0 referans mesafesini, X_σ rastgele gölgeleme etkisini göstermektedir. $\overline{PL}(d_0)$ Denklem 3.9'da verilen referans mesafesindeki (d_0) yol kaybını temsil etmektedir.

$$\overline{PL}(d_0) = 22.7 + 26 \log(f_c) \quad (3.9)$$

Burada, f_c taşıyıcı frekansını temsil etmektedir. D2D UE'ler bir düğüm gibi düşünüldüğünde her bir düğüm arasındaki mesafe koordinat düzleminde Denklem 3.10'da gösterildiği gibi Öklid bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$d = \sqrt{(x_T - x_R)^2 + (y_T - y_R)^2} \quad (3.10)$$

Burada (x_T, y_T) verici UE'lerin konum bilgisini gösterirken, (x_R, y_R) alıcı UE'lerin konum bilgisini temsil etmektedir. İş çıkarmı ($R^{(i,j)}$) her D2D yer-uydu bağı (uplink) senaryosu için Denklem 3.11'e göre hesaplanmaktadır.

$$R^{(i,j)} = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S^{(i,j)}}{N^{(i,j)}} \right) \quad (3.11)$$

burada B bant genişliğini, $S^{(i,j)}$ verici UE ve alıcı UE arasındaki sinyal gücünü ve $N^{(i,j)}$ verici UE ve alıcı UE arasındaki gürültü değerini temsil etmektedir. Denklem 3.12'de enerji etkinliği (EE) bant genişliği ve gürültü oranına göre düğümden düğüme (noktadan noktaya) tek atlama noktası (single hope) için hesaplanmaktadır.

$$EE^{(i,j)} = \left(\frac{B}{2 \cdot P_T^{(i,j)}} \right) \left(1 + \frac{1}{\zeta^{(i,j)}} \right) \log_2(\zeta^{(i,j)} + 1) - \log_2(e) \quad (3.12)$$

Yukarıdaki eşitlikte (Denklem 3.12) $\zeta^{(i,j)}$ sinyalin gürültüye oranını (SNR) ve $\log_2(e)$ ise doğal logaritmayı temsil etmektedir.

3.3. D2D Keşif için Kullanılan Algoritmalar

Bu kısımda, tez çalışmasında kullanılan D2D keşif algoritmaları sırasıyla; önerdiğimiz iş çıkarım tabanlı keşif algoritması (TDA), en kısa mesafeye göre keşif algoritması (SDA), mesafe limiti olmayan en yüksek SINR oranına göre keşif algoritması (MSNA) ve mesafe limiti olan en yüksek SINR oranına göre keşif algoritması (MSLA) şeklinde açıklanmıştır.

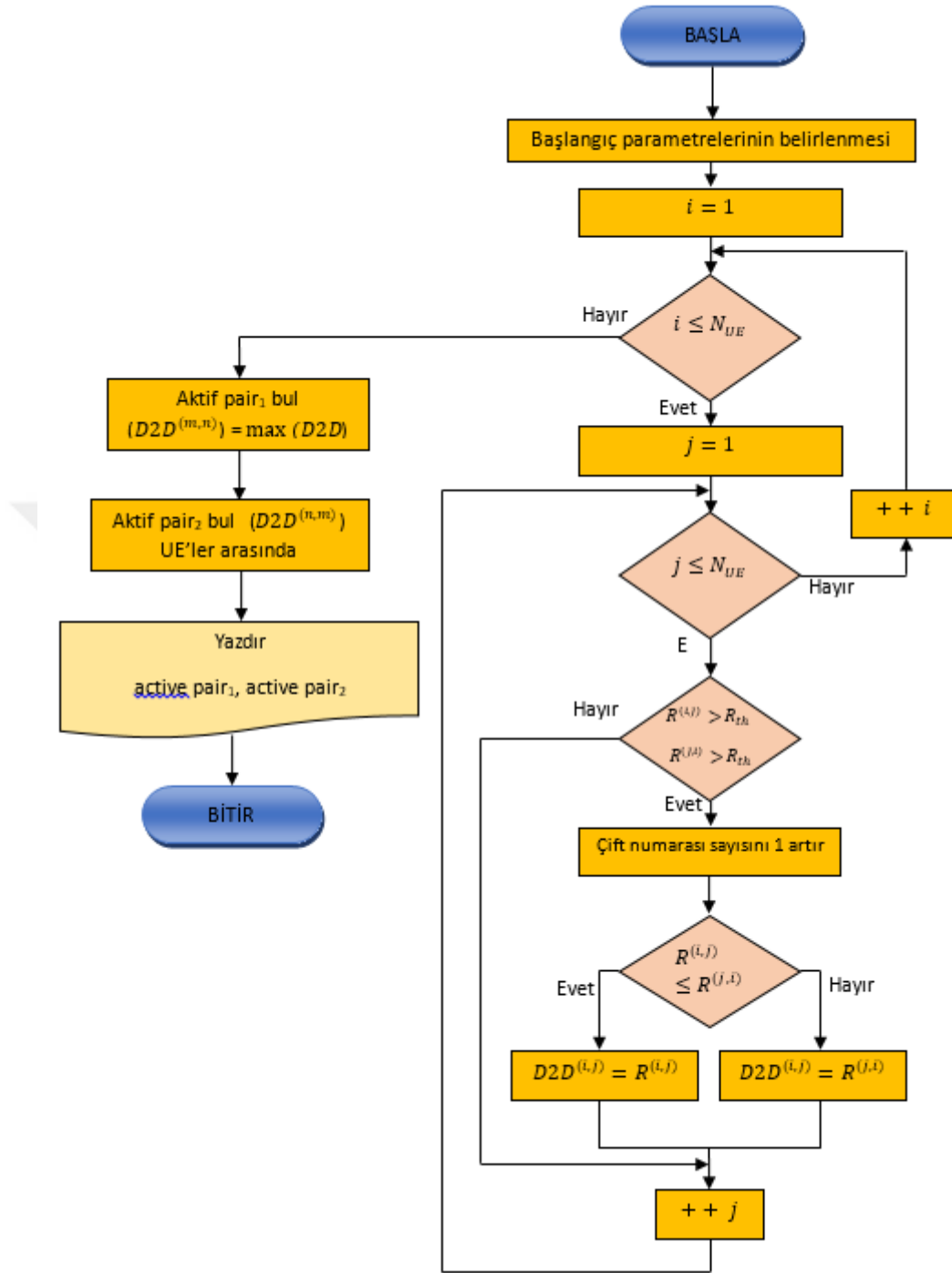
3.3.1. İş çıkarım (Throughput) tabanlı keşif algoritması (TDA)

Bu bölümde, önerilen iş çıkarım tabanlı keşif algoritması (TDA), felaket sonrası PSN üzerindeki UE'leri keşfetmek için sunulmuştur. Bu algoritma, iş çıkarım ölçütüne göre ağdaki UE'leri bulmaktadır. Keşif esnasında D2D çiftleri, minimum verim eşiğini aştıklarında belirlenir ve ardından maksimum verim değerlerine sahip en iyi çift bulunur. Önerilen TDA yapısında, SINR tabanlı mesafe sınırı olmaksızın iletişim öncesi D2D çiftlerini seçmeyi amaçlamaktadır. TDA ile en iyi D2D çifti aşağıdaki eşitliklerde (Denklem 3.13 ve Denklem 3.14) gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır:

$$\max_{i,j} R^{(i,j)} \quad (3.13)$$

$$\text{subject to } R^{(i,j)} > R_{th}, 1 \leq i, j \leq N_{UE}, i \neq j \quad (3.14)$$

Burada, R_{th} iş çıkarım eşik değerini, N_{UE} UE'lerin sayısını temsil etmektedir. Denklem 3.14'deki ilk kısıtlama ifadesi, iş çıkarım eşik değerinden daha büyük olan verici UE ve alıcı UE arasındaki iş çıkarım değerini gösterirken, ikinci kısıtlama ifadesi ise seçilen UE'lerin 1 ve N_{UE} aralığı dışında olmamasını sağlamaktadır. Önerilen TDA algoritmasının akış şeması Şekil 3.2.'de ve kaba kodu ise Algoritma 1' de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. TDA algoritma yaklaşımının akış şeması [67].

 Algoritma 1. TDA algoritma yaklaşımının kaba-kodu [67].

```

1. Function[çıkış] = TDA (UE'lerin sayısı, Throughput(iş çıkarımı))
2. Başlangıç parametrelerinin tanımlanması
3. For i = 1 to  $N_{UE}$ 
4.   For j = 1 to  $N_{UE}$ 
5.     If  $R^{(i,j)} > R_{th}$  &  $R^{(j,i)} > R_{th}$ 
6.       ( Eğer i(alıcı UE) ve j (verici UE) iş çıkarım değerleri  $R_{th}$  eşik değerinden
       büyükse çift sayısını artır)
7.       If  $R^{(i,j)} \leq R^{(j,i)}$ 
8.          $D2D^{(i,j)} = R^{(i,j)}$ 
9.         (Eğer i(alıcı UE) den j (verici UE) ye iş çıkarım değerleri j'den i'ye olan iş
         çıkarım değerlerinden küçük eşitse D2D çifti olarak bu değeri seç)
10.      Else
11.         $D2D^{(i,j)} = R^{(j,i)}$ 
12.        (Değilse j'den i'ye olan iş çıkarım değerlerini D2D çifti olarak bu değeri seç)
13.      End
14.    End
15.  End
16. End
17. Max D2D çiftleri arasından aktif çift1 ( $D2D^{(m,n)}$ ) bul.
18. Max D2D çiftleri arasından ( $D2D^{(m,n)}$ )ye karşılık gelen aktif çift2 ( $D2D^{(n,m)}$ ) bul.
19. Print output parameters (aktif çift1, aktif çift2, çiftçift sayısı)
20. (Çıkış parametrelerini(aktif çift1 ve 2 ile çift numaralarını yazdır)
21. End
  
```

3.3.2. En kısa mesafeye göre keşif algoritması (SDA)

Bu algoritmada, UE'ler arasındaki en kısa mesafeye dayanan eş keşif seçimi yapılmaktadır. Minimum mesafeli D2D çifti seçilir ve bu çift minimum SINR eşliğini karşılıyorsa en iyi çift olarak belirlenmektedir [18]. SDA'da en iyi D2D çifti aşağıdaki eşitliklerde (Denklem 3.15 ve Denklem 3.16) gösterildiği gibi bulunmaktadır.

$$\min_{i,j} d^{(i,j)} \quad (3.15)$$

$$\text{subject to } \gamma^{(i,j)} > \gamma_{th}, \gamma^{(j,i)} > \gamma_{th} \quad (3.16)$$

$$1 \leq i, j \leq N_{UE}, i \neq j$$

Yukarıdaki eşitliklerde $d^{(i,j)}$ verici UE ve alıcı UE arasındaki mesafeyi, γ_{th} SINR'nin eşik değerini temsil etmektedir. Denklem 3.16'daki birinci ve ikinci

kısıtlar SINR'nin eşik değerinden daha büyük olan çiftleri verici UE ve alıcı UE arasında çift yönlü olarak keşfetmeyi sağlamaktadır. Eşitlikteki (Denklem 3.16) üçüncü kısıt ise 1'den UE sayısı (N_{UE}) kadar olan aralık için UE kullanıcıyı seçmeyi sağlamaktadır.

3.3.3. Mesafe limiti olmayan en yüksek SINR oranına göre keşif algoritması (MSNA)

Bu algoritmada, UE'ler arasındaki SINR değerlerine göre D2D çiftleri bulunur ve en yüksek SINR değerine sahip en iyi çift belirlenir. Bu keşif algoritmasında, UE'ler arasındaki mesafe dikkate alınmamaktadır [18]. En iyi D2D çifti, MSNA tarafından aşağıdaki eşitliklerde (Denklem 3.17 ve Denklem 3.18) gösterildiği şekilde bulunmaktadır.

$$\max_{i,j} \gamma^{(i,j)} \quad (3.17)$$

$$\text{subject to } \gamma^{(i,j)} > \gamma_{th}, \gamma^{(j,i)} > \gamma_{th} \quad (3.18)$$

$$1 \leq i, j \leq N_{UE}, i \neq j$$

Yukarıdaki eşitlikte $\gamma^{(i,j)}$ SINR'yi temsil etmektedir. MSNA'nın kısıt denklemleri eşitlikte (Denklem 3.18) görüldüğü üzere SDA ile aynıdır. Algoritma ilk olarak, eşik seviyesinden daha büyük SINR değerlerine sahip UE'leri ağda tespit etmekte ve daha sonra maksimum SINR değerlerine sahip en iyi D2D çiftini bulmaktadır.

3.3.4. Mesafe limiti olan en yüksek SINR oranına göre keşif algoritması (MSLA)

Bu algoritmada, UE'ler arasındaki bir mesafe kısıtlamasına göre ağdaki maksimum SINR değerine sahip en iyi D2D çiftini bulunmaktadır. MSLA yapısında, MSNA'dan farklı olarak bir mesafe eşiği vardır [18]. En iyi D2D çifti, aşağıda belirtildiği gibi (Denklem 3.19 ve Denklem 3.20) MSLA tarafından bulunmaktadır.

$$\max_{i,j} \gamma^{(i,j)} \quad (3.19)$$

$$\text{subject to } \gamma^{(i,j)} > \gamma_{th}, \gamma^{(j,i)} > \gamma_{th} \quad (3.20)$$

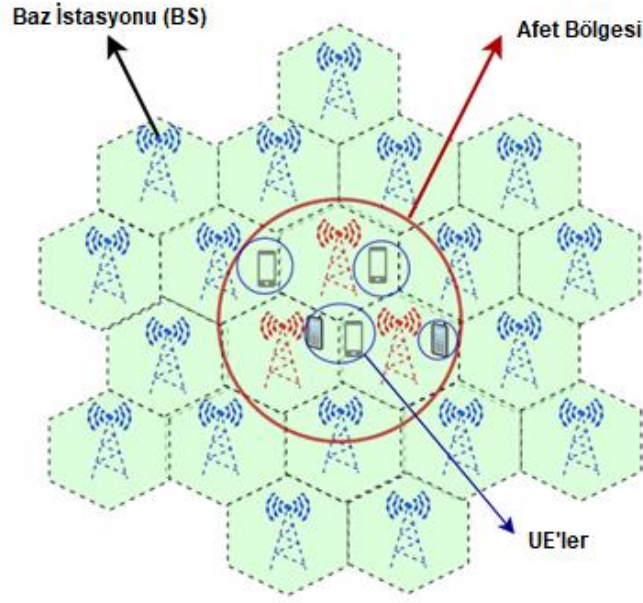
$$1 \leq i, j \leq N_{UE}, i \neq j$$

$$d^{(i,j)} < d_{th}$$

Burada, d_{th} mesafe eşiğini göstermektedir. MSLA keşif algoritmasında cihazlar UE'ler arasındaki eşik değerinden daha büyük olan mesafe değerlerine göre tespit edilmektedir. MSLA, tespit edilen cihazlar arasından SINR eşik seviyesinden daha yüksek SINR değerlerine sahip cihazları seçmektedir. Son olarak, en iyi D2D çift maksimum SINR değerine sahip çift olarak belirlenmektedir. Bu çalışmada, MSLA tarafından D2D keşfi için beş farklı mesafe eşik değeri (50m, 100m, 150m, 200m ve 250m) kullanılmıştır.

3.4. Sistemin Genel Yapısı ve Örnek Senaryo

Bu tez çalışması kapsamında, Şekil 3.3.'deki örnek senaryo afet sonrası iletişimi sağlamak için D2D keşfi için önerilmiştir. Çalışmada, 3GPP tarafından önerilen D2D senaryoları bu senaryoda referans olarak alınmıştır. Afet bölgesi, kırmızı daire içinde gösterilen altıgenlerle temsil edilmektedir. UE'ler, simülasyonda afet bölgesine rastgele dağıtılmaktadır. Diğer hücresel ve uydu ağlarından iletişim mümkün olmadığında yalnızca D2D çiftlerinin haberleşebilmesi için cihaz keşiflerinin başarılı şekilde yapılması gerekmektedir. Tablo 3.1.'de önerilen TDA keşif yöntemi ve diğer keşif algoritmaları için simülasyon parametreleri özetlenmektedir.



Şekil 3.3. Afet sonrası haberleşme için senaryo örneği [67].

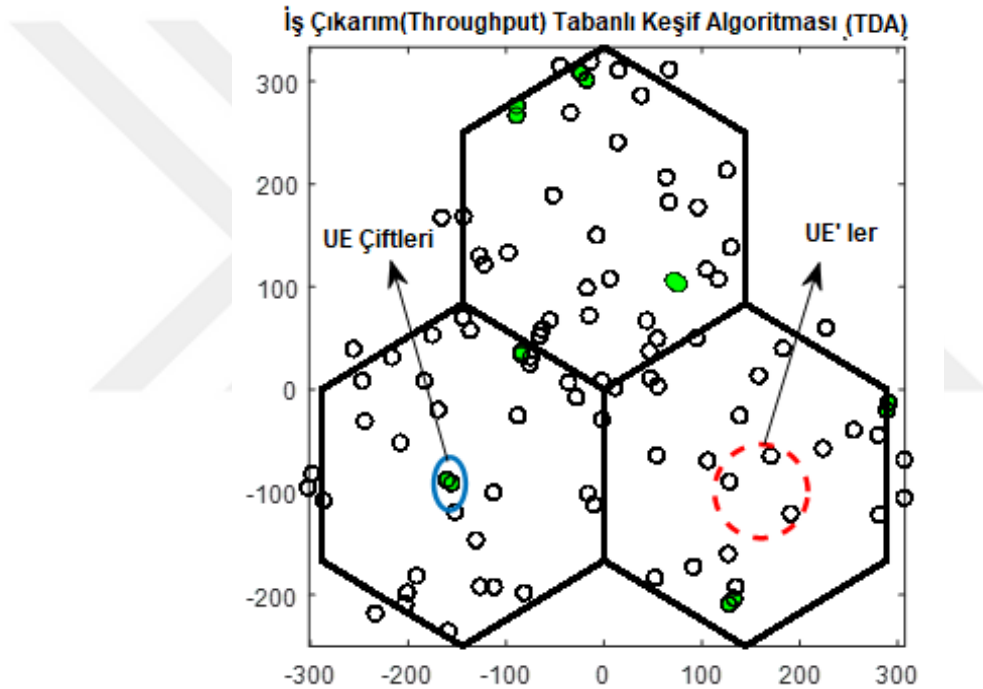
Tablo 3.1. D2D cihaz keşfi için simülasyon parametreleri [67].

Parametreler	Semboller	Değerler	Parametreler	Semboller	Değerler
Kapsama alanı (m)	A	500	AWGN (dBm)	N_o	1-3
UE'lerin sayısı	N_{UE}	100	Bant genişliği (MHz)	B	10
Taşıyıcı Frekans (MHz)	f_c	700	SINR eşik değeri (dB)	γ_{th}	0
Verici anten kazancı (dBm)	G_T	20-25	Gölgeleme faktörü (Sigma Shadowing Coefficient)	X_σ	4
Alıcı anten kazancı (dBm)	G_R	20-25	Yol Kaybı çevresel etki modeli değeri (Path Loss Exponent)	n	2
İletim gücü (dBm)	P_T	20-25	İterasyon(yineleme)	It_{max}	100
Yol Kaybı (Path Loss) Modeli	Log Shadowing	Normal			

D2D keşif simülasyonları, dokuz farklı algoritma (MSNA, SDA, MSLA(50m), MSLA(100m), MSLA(150m), MSLA(200m), MSLA(250m), MSLA(500m), TDA) seçeneği için yapılmıştır. Mevcut UE'ler, yineleme sırasında seçilen keşif algoritması için örnek senaryoya rastgele yerleştirilmektedir.

3.5. Simülasyon Sonuçları

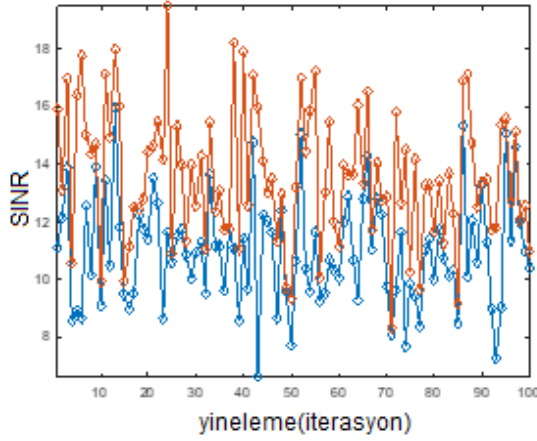
Simülasyon çalışmasında, önerilen TDA örnek senaryoda incelenmiş ve performansını değerlendirmek için SDA, MSNA ve MSLA keşif algoritmalarıyla karşılaştırılmıştır. Afet alanında TDA tarafından tespit edilen UE'lerin dağılımı Şekil 3.4.'de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, afet sonrası için alana rastgele yerleştirilen UE'ler arasında ilk olarak eşleşen cihazlar belirlenmektedir. TDA tarafından seçilmeyen bazı UE'ler kırmızı kesikli bir daire içinde gösterilmektedir. Eşleşen UE çiftleri yeşil daire ile temsil edilmektedir.



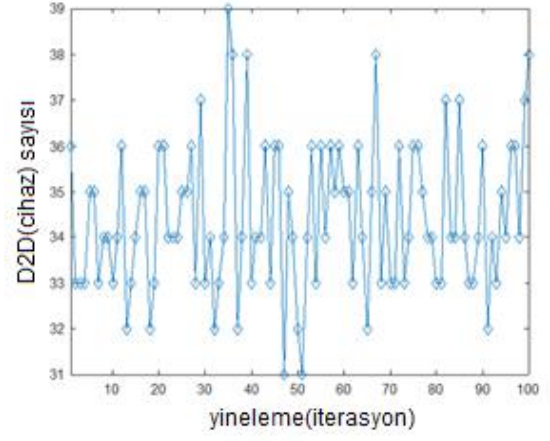
Şekil 3.4. Afet alanı içinde TDA tarafından keşfedilen UE'lerin dağılımı [67].

Şekil 3.5.'de, TDA tarafından elde edilen SINR performanslarını, çift sayısını, enerji verimliliğini, kapasiteyi ve verimi gösterilmektedir. Bu sonuçlar, TDA D2D keşif simülasyonunun 100 UE ve 100 yineleme için elde edilen çıktılarıdır. İlk alt şekilde (Şekil 3.5a.), her yinelemenin sonunda TDA tarafından belirlenen en iyi D2D çiftinin SINR değişiklikleri gösterilmektedir. Mavi ve kırmızı çizgiler, TDA tarafından keşfedilen en iyi D2D çiftinin SINR değerlerini göstermektedir. SINR sonucuna göre aktif çiftlerin ortalama SINR değeri 10,96 dB olarak hesaplanmıştır. İkinci alt şekilde

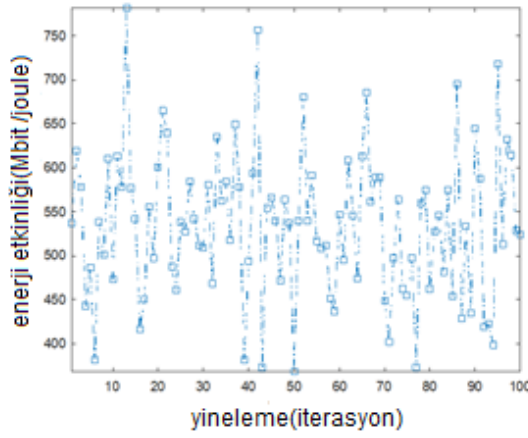
(Şekil 3.5b.), 100 UE arasında TDA tarafından elde edilen D2D çifti sayısı 31-39 aralığında değişmektedir. Şekil 3.5c., yineleme sayısına göre enerji etkinliğini göstermektedir. Şekil 3.5d.'de yineleme sayısına göre kapasite durumu gösterilirken, Şekil 3.5e.' de ise yineleme sayısına göre iş çıkarım değişimi gösterilmektedir.



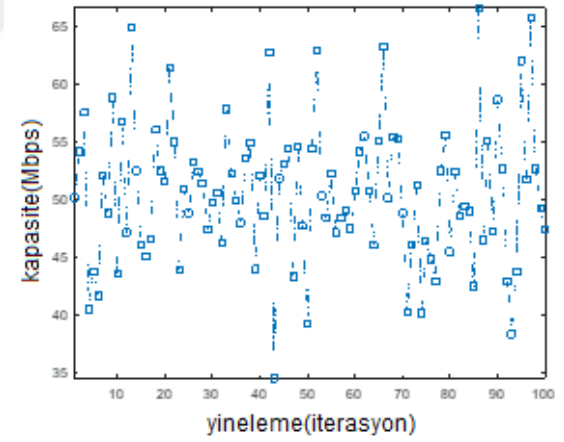
(a)



(b)

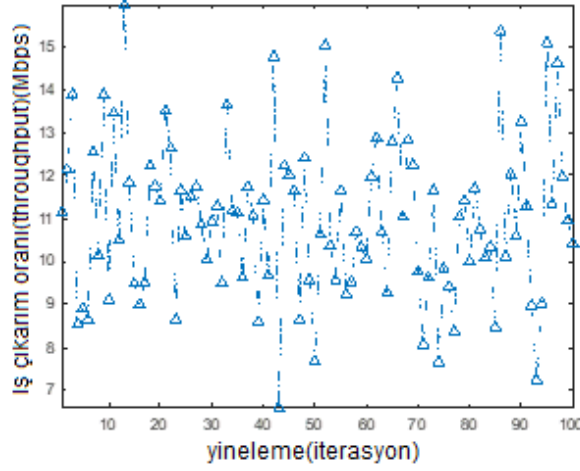


(c)



(d)

Şekil 3.5. Afet alanı içinde TDA tarafından elde edilen D2D keşif sonuçları [67].



(e)

Şekil 3.5.(Devamı).

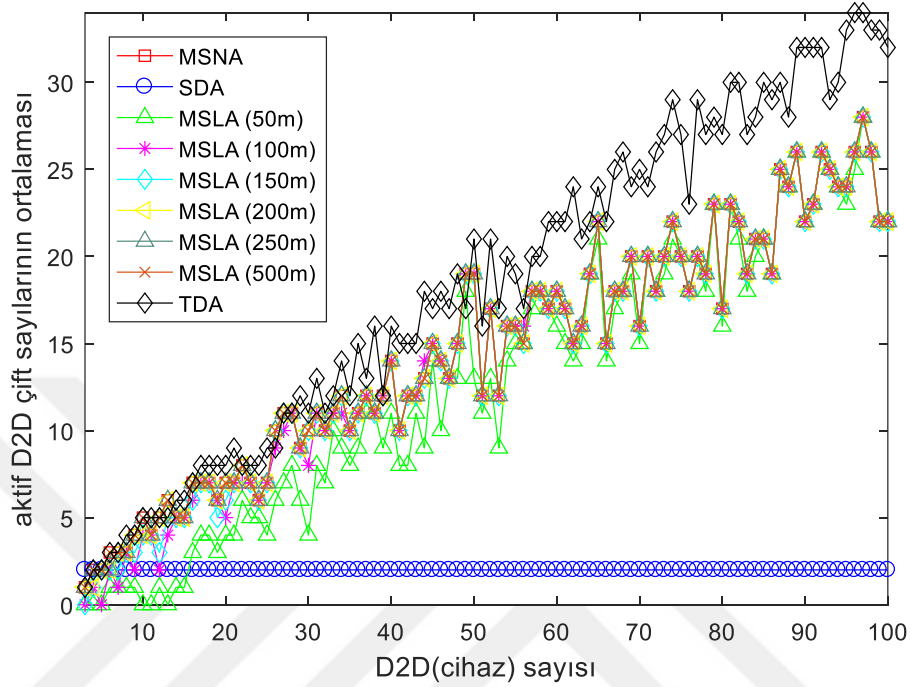
Tablo 3.2.'de, önerilen TDA ve diğer keşif algoritmalarına ait D2D keşif sonuçlarının istatistiksel sonuçları (en iyi, en kötü, ortalama ve standart sapma) özetlenmiştir. Tablo sonuçları, TDA'nın elde edilen en iyi (% 24), en kötü (% 40) ve ortalama (% 32,58) SINR hizmet kesinti değerleri ile karşılaştırılan diğer algoritmalarından daha iyi hizmet kalitesine sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca TDA, eşleşen çift sayısına göre diğer keşif algoritmalarından daha iyi sonuçlar vermektedir. TDA tarafından keşfedilen çift sayısı sonucunda, 100 UE değerlendirildikten sonra 50 çift arasında en iyi çift sayısı 39, en kötüsü 31 ve ortalama 33,71 çifttir. İş çıkarm istatistikleri sonuçlarına bakıldığında, SDA, ortalama ve en kötü verim değerleri açısından en iyi sonuçları verir, ancak SDA, doğası gereği 50 çift arasında yalnızca iki çift keşfedebilmektedir. MSLA (50m), 27,35 Mbps ile en iyi verim değerine sahiptir. Enerji etkinliği ve kapasite ölçütlerine ilişkin sonuçlara göre, önerilen TDA yaklaşımı en iyi sonuçları verememiştir. Afet sonrası bölgede birbirine yakın olan cihaz çiftlerinin verim değerleri doğal olarak yüksek olduğundan bu durum kısa mesafede yüksek enerji verimliliği ve yüksek kapasite değerlerine neden olmaktadır. Ancak afet sonrası durumlarda afet bölgesindeki cihazların en kısa mesafeden en uzak mesafeye kadar birbirleriyle iletişim kurması önemlidir. Bu nedenle, mümkün olduğunca çok sayıda cihazın kesintisiz bir şekilde iletişim kurabilmesi çok önemlidir. Tüm bu nedenlerden dolayı, önerilen TDA yaklaşımının olası bir afet sonrası senaryoda daha gerçekçi bir çözüm sağlayacağı tahmin edilmektedir.

Tablo 3.2. TDA ve diğer keşif algoritmalarının D2D keşif sonuçları [67].

		MSNA (500m)	SDA	MSLA (50m)	MSLA (100m)	MSLA (150m)	MSLA (200m)	MSLA (250m)	MSLA (500m)	TDA
SINR Hizmet Kesintisi (%)	En İyi	38,00	98,00	42,00	38,00	34,00	46,00	38,00	40,00	24,00
	En kötü	58,00	98,00	62,00	56,00	54,00	62,00	58,00	60,00	40,00
	Ortalama	48,66	98,00	53,04	48,08	46,00	53,22	45,86	51,78	32,58
	Std	4,39	N/A	3,64	3,79	4,02	3,85	4,32	4,22	3,64
Çift Sayısı	En İyi	31,00	2,00	23,00	31,00	33,00	27,00	31,00	29,00	39,00
	En kötü	21,00	2,00	19,00	22,00	23,00	19,00	21,00	20,00	31,00
	Ortalama	25,67	2,00	29,02	25,96	27,01	23,39	27,07	24,11	33,71
	Std	2,19	N/A	1,82	1,89	2,01	1,92	2,16	2,11	1,82
İş Çıkartımı (Throughput) (Mbps)	En İyi	16,89	26,68	27,35	19,09	24,27	26,23	16,92	14,33	20,22
	En kötü	5,92	13,65	11,41	8,32	8,75	6,84	7,93	5,39	7,57
	Ortalama	9,28	19,72	18,43	12,57	16,73	15,30	11,98	9,13	12,79
	Std	1,92	2,82	3,28	2,43	2,93	3,39	1,95	1,70	2,41
Enerji Etkinliği (Mbit/Joule)	En İyi	766,36	1131,40	1160,10	835,31	1085,70	1173,40	794,63	730,96	938,01
	En kötü	313,41	490,40	497,17	370,90	409,75	406,31	376,59	342,93	394,55
	Ortalama	471,46	786,38	754,52	571,06	696,40	685,47	565,21	477,97	600,76
	Std	82,20	131,32	144,56	98,88	130,10	129,95	91,85	76,38	99,02
Kapasite (Mbps)	En İyi	69,24	98,29	99,87	76,03	91,49	100,99	71,57	60,65	81,12
	En kötü	32,88	56,86	51,13	40,77	44,29	44,69	43,39	30,85	39,89
	Ortalama	45,35	77,96	73,99	55,68	68,57	66,63	54,54	44,85	57,34
	Std	6,46	8,93	9,92	7,44	8,89	9,43	6,29	5,96	7,95

Şekil 3.6.'da farklı cihaz sayıları için her algoritma tarafından keşfedilen ortalama aktif D2D çifti sayısını göstermektedir. MSNA ve MSLA performanslarının birbirine yakın olduğu görülmüştür. SDA'da sabit ortalama aktif çift sayısının 2 olmasının nedeni, bu algoritmada eşik seviyesini aşan SINR değerleri ile birbirine en yakın mesafede sadece iki çiftin bulunması ile ilgilidir. Afet sonrası için PSN'deki

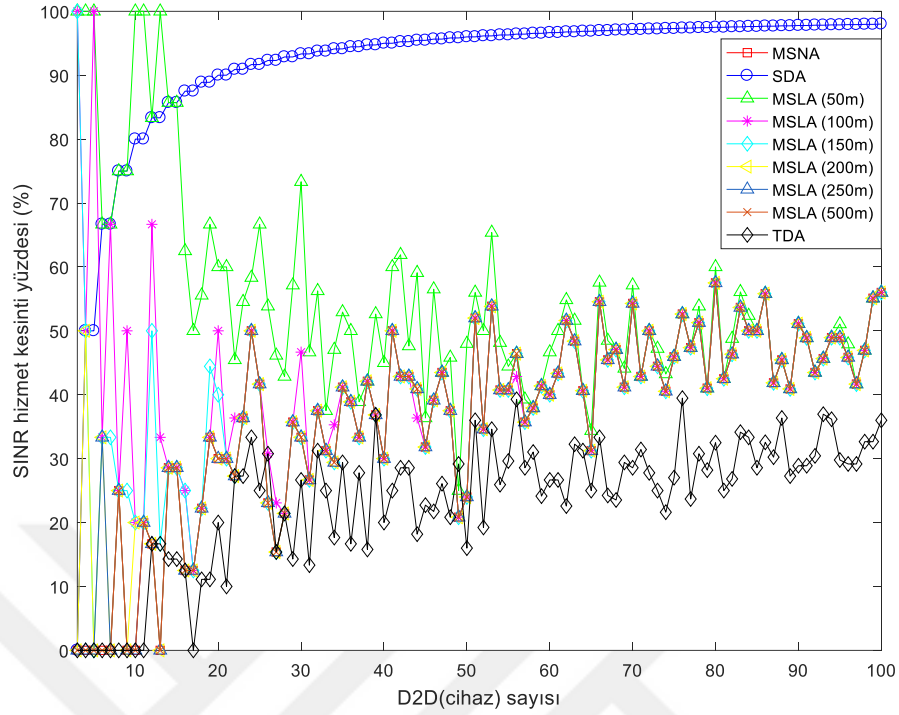
cihazların sayısı arttıkça, TDA tarafından keşfedilen cihazların sayısının diğer keşif algoritmaları tarafından keşfedilenlerden daha fazla olduğu açıktır.



Şekil 3.6. Cihaz sayıları ile eşleşen aktif D2D çiftler arasındaki ilişki grafiği [67].

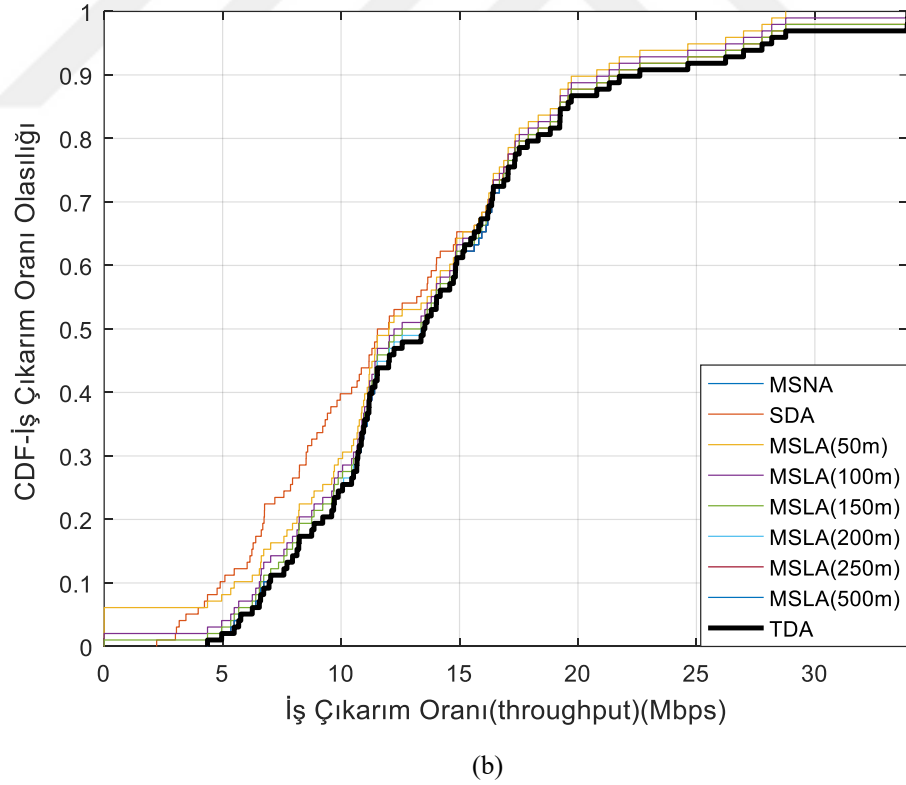
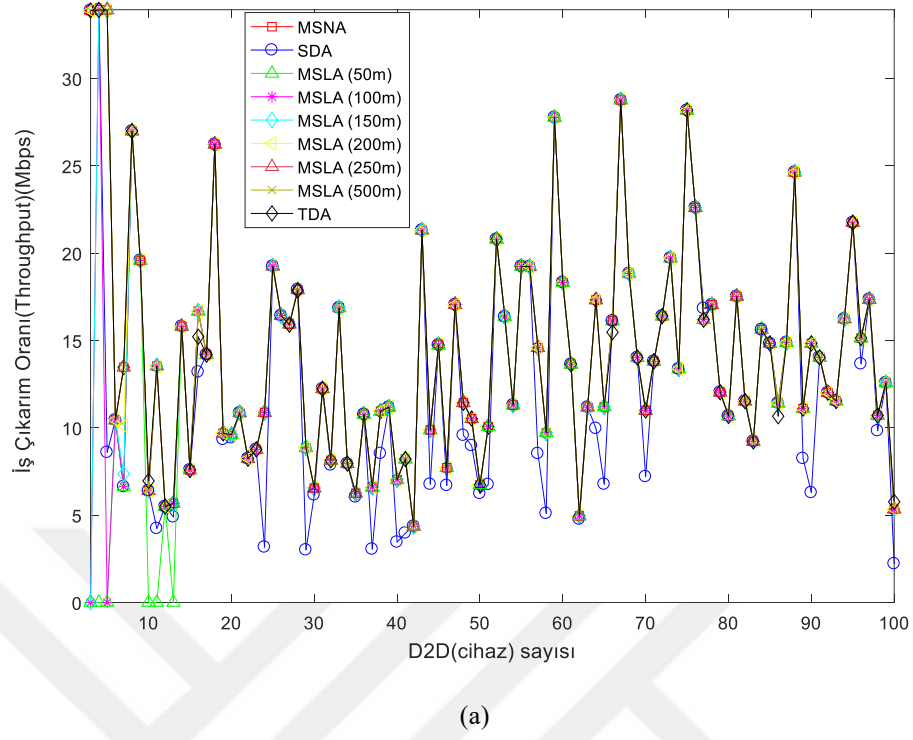
Şekil 3.7.'de, eşleşen çiftlerin SINR hizmet kesintisi olasılık değerleri, farklı cihaz sayıları için her algoritma tarafından gösterilmektedir. SINR hizmet kesintisinin düşük değerler olması beklenmektedir. Yüksek SINR kesinti değerlerine sahip keşif algoritmaları için yeterli eşleşen çift bulunamadığı sonucuna varılmıştır.

Şekil 3.7.'deki SDA SINR hizmet kesinti değerlerinden görüleceği gibi, SDA en yakın mesafede sadece 2 çift keşfedebilmektedir. Sonuç olarak, SDA'nın SINR hizmet kesinti olasılığı diğerlerinden daha yüksek bulunmuştur. TDA'nın SINR hizmet kesintisinin, özellikle 20'den fazla UE için diğer keşif algoritmalarına kıyasla daha düşük seviyelerde elde edildiği gözlenmiştir. Bu nedenle, önerilen algoritmanın diğer algoritmalarından daha iyi eşleşen D2D çiftlerini bulduğu açıktır.

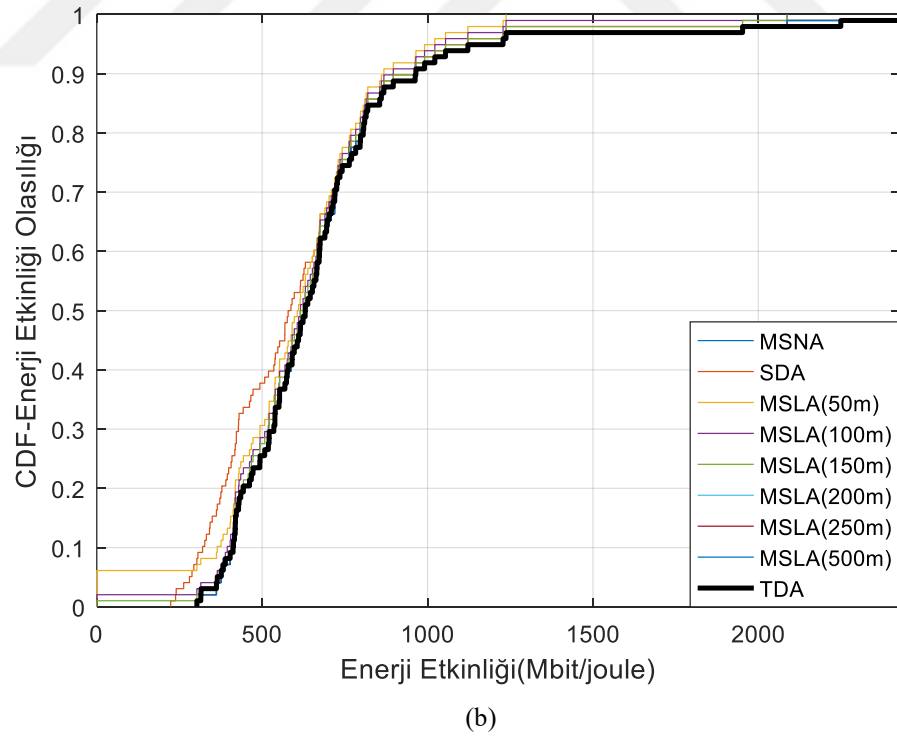
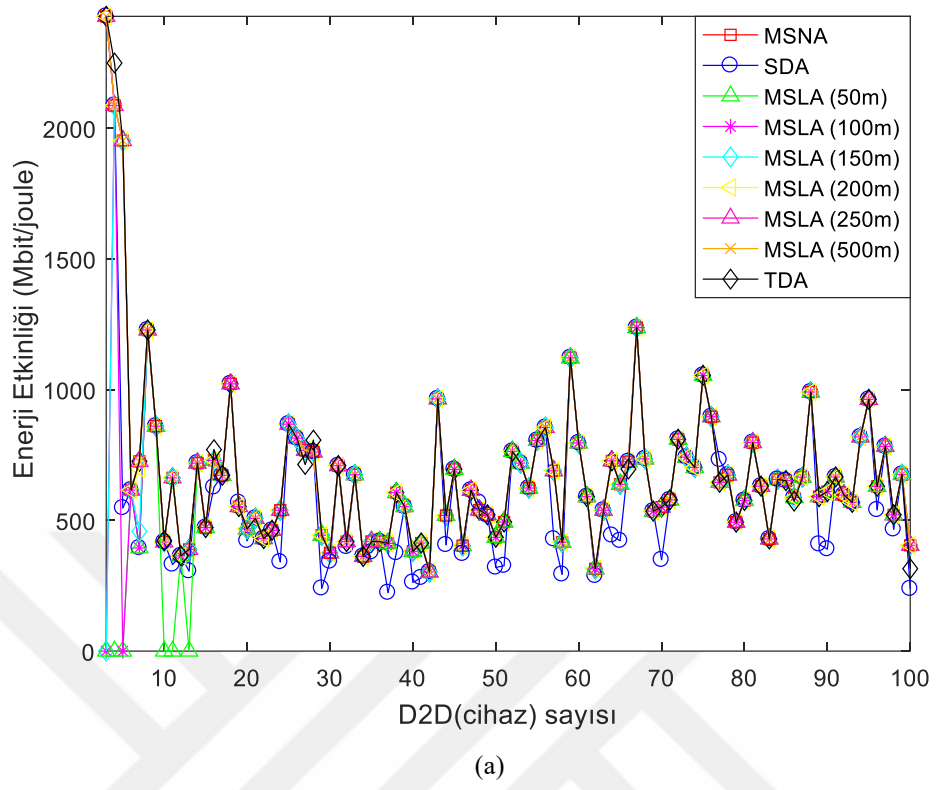


Şekil 3.7. Cihaz sayıları ile SINR hizmet kesintisi arasındaki ilişki grafiği [67].

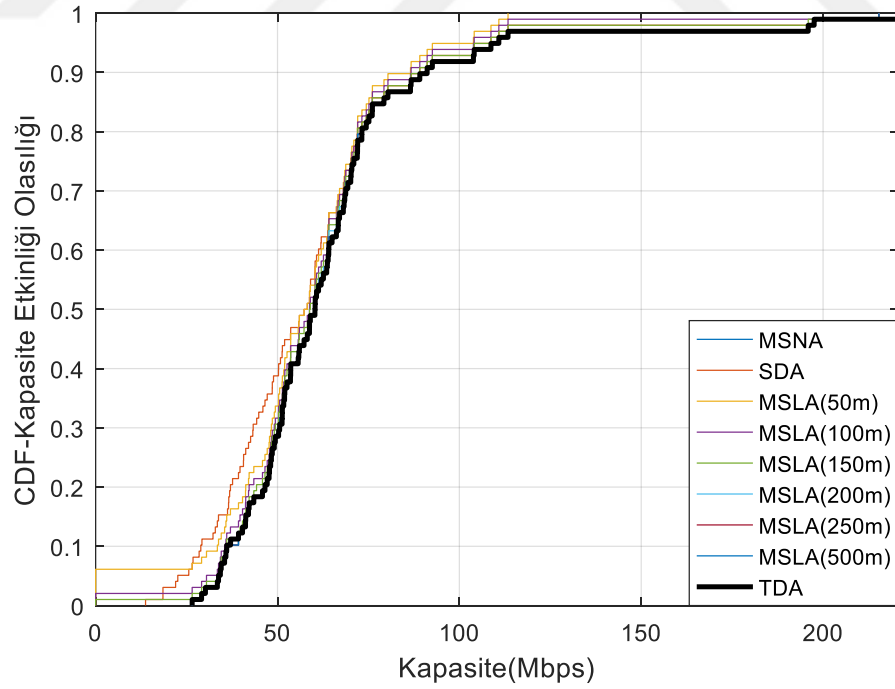
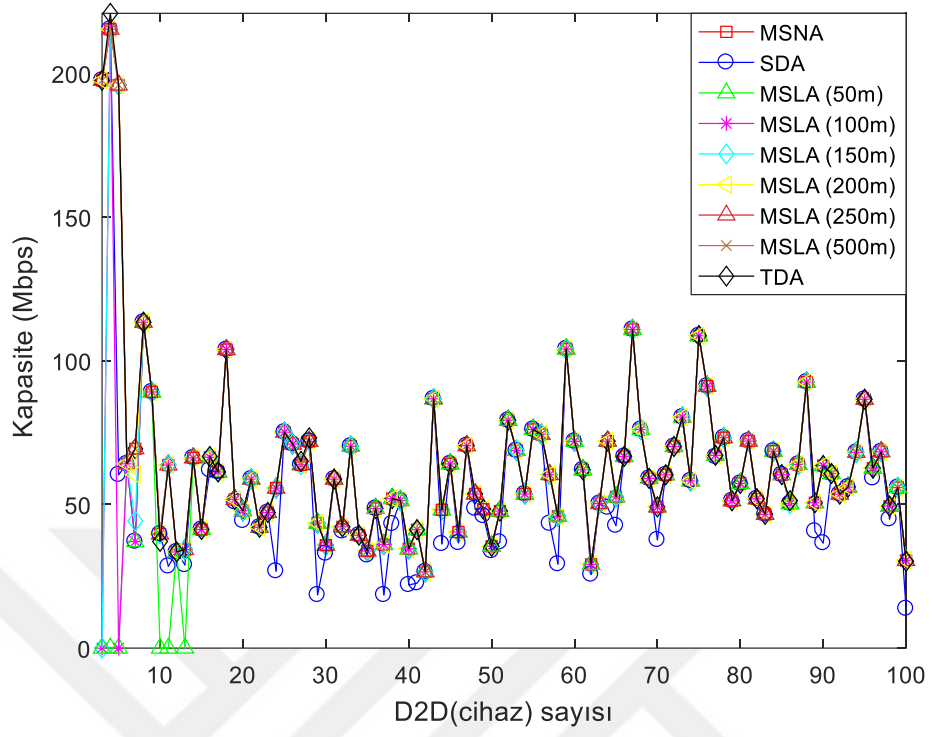
TDA ve diğer keşif algoritmaları için iş çıkarımı Şekil 3.8a.'da, iş çıkarım oranı olasılığı Şekil 3.8b.'de, enerji etkinliği Şekil 3.9a.'da, enerji etkinliği olasılığı Şekil 3.9b.'de, kapasite değerlerinin grafikleri Şekil 3.10a.'da ve kapasite etkinliği olasılığı Şekil 3.10b.'de sırasıyla sunulmuştur. 50 UE için sonuçlar olasılık değerleri Kümülatif Dağıtım Fonksiyonu (CDF) grafikleri olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.8. TDA ve diğer keşif algoritmalarının iş çıkartımı sonuçları ve CDF grafikleri [67].



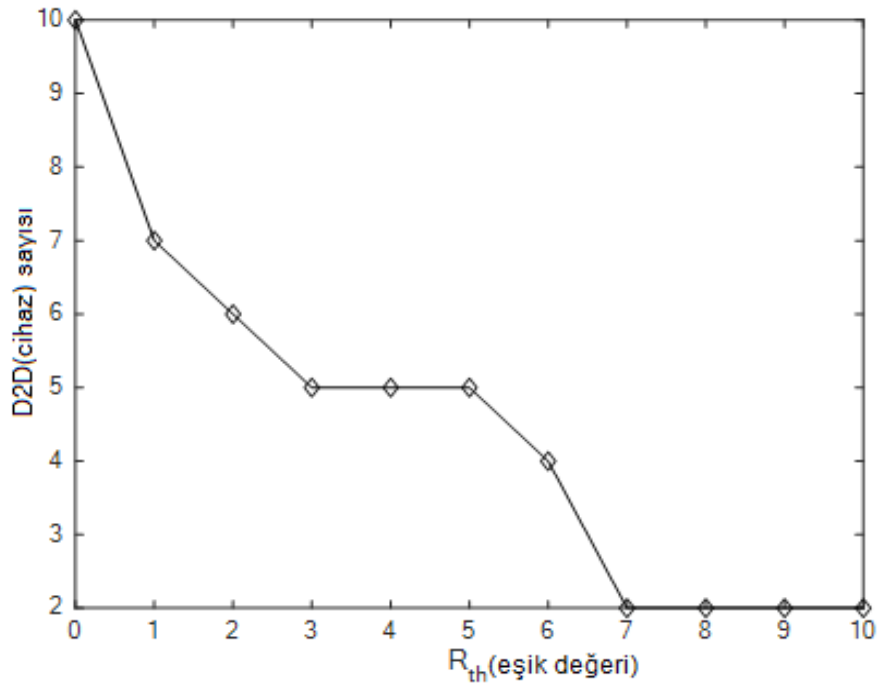
Şekil 3.9. TDA ve diğer keşif algoritmalarının enerji etkinliği sonuçları ve CDF grafikleri [67].



Şekil 3.10. TDA ve diğer keşif algoritmalarının kapasite sonuçları ve CDF grafikleri [67].

Şekil 3.8a.'da, Şekil 3.9a.'da ve Şekil 3.10a.'daki şekillerde, iş çıkarımı, enerji verimliliği ve kapasite değerlerinin cihaz sayısı ile ilişkileri gösterilmektedir. Cihaz sayısının 12'den fazla olması durumunda, TDA ve diğer keşif algoritmalarının sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. TDA ve tüm keşif algoritmaları için iş çıkarım oranı sonuçlarının CDF grafiğinde, TDA 4,5 Mbps ve 35 Mbps aralığına sahiptir. En yüksek verim değeri TDA'ya aittir. Enerji etkinliği ölçüsüne göre, TDA'nın sonucu 360 Mbit/Joule-2500 Mbit/Joule arasında değişmektedir. TDA ve diğer keşif algoritmaları için kapasite CDF sonuçlarından görüleceği gibi, 50 cihaz için önerilen TDA 25Mbps - 220Mbps arasında bir kapasiteye sahiptir.

Önerilen TDA yaklaşımı, verim eşiği olarak adlandırılan bir parametreye (R_{th}) sahiptir. Bu parametrenin farklı değerlerinin etkilerini görmek için bir analiz yapılmıştır. Afet alanındaki 20 UE için R_{th} parametresinin farklı değerleri ile yapılan simülasyon sonucu, Şekil 3.11.'de gösterilmektedir. Şekilden eşleşen cihaz çiftlerinin sayısına bakıldığında, R_{th} değeri, 0 ila 10 arasında değiştiği anlaşılmaktadır. Eşleşen cihaz çifti 7 Mbps R_{th} 'den sonra bulunamamaktadır. R_{th} değeri küçüldükçe, eşleşen cihaz sayısının beklenildiği gibi arttığı görülmektedir.



Şekil 3.11. D2D keşfinde TDA (R_{th}) parametresinin etkisi [67].

BÖLÜM 4. SİMÜLASYON (BENZETİM) TASARIMI VE ÖRNEK SENARYOLAR

Bu bölüm üç kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda, PSN-D2D Simülatörü için kullanılan parametreler, yol kaybı ve çevresel etki modelleri açıklanmaktadır. İkinci kısımda, PSN-D2D Simülatörü için hazırlanan bir grafiksel arayüz tasarımı açıklanmaktadır. Üçüncü kısımda ise örnek senaryolar kapsamında D2D ve PSN için diğer farklı senaryo oluşturulmuş ve bu senaryoların sonuçları karşılaştırılmıştır.

4.1. GUI Simülasyon Parametreleri

Bu kısımda, D2D cihaz keşfi için GUI tasarımında simülasyonları çalıştırmak için kullanılan parametreler Tablo 4.1.'de sunulmaktadır.

Tablo 4.1. D2D cihaz keşfi için GUI simülasyon parametreleri.

Parametreler	Semboller	Değerler	Parametreler	Semboller	Değerler
Kapsama alanı (m)	A	500	AWGN (dBm)	N_o	1-3
UE'lerin sayısı	N_{UE}	GUI-Seçimlik	Bant genişliği (MHz)	B	GUI-Seçimlik
Taşıyıcı Frekans (MHz)	f_c	GUI-Seçimlik	SINR eşik değeri (dB)	γ_{th}	0
Verici anten kazancı (dBm)	G_T	20-25	Gölgeleme faktörü (Sigma Shadowing Coefficient)	X_σ	GUI-Seçimlik
Alıcı anten kazancı (dBm)	G_R	20-25	Yol Kaybı çevresel etki modeli değeri (Path Loss Exponent)	n	GUI-Seçimlik
İletim gücü (dBm)	P_T	20-25	İterasyon(yineleme)	It_{max}	GUI-Seçimlik
Yol Kaybı (Path Loss) Modeli		GUI-Seçimlik			

GUI tasarımında ve simülasyon hesaplamalarında kullanılan yol kaybı modelleri PSN ve D2D olarak ikiye ayrılmıştır.

PSN simülasyon hesaplamaları için kullanılan yol kaybı modelleri, Log-Normal shadowing [65], Winner+B1 [68] ve ITU 1411-6 [69] sırasıyla verilmiştir. Denklemlerde kullanılan f_c taşıyıcı frekansı, n yol kaybı üstel değerini, d_0 referans mesafesini, d UE'ler arasında Öklid bağıntısı gereği uzaklığı ve X_σ rastgele gölgeleme etkisini temsil etmektedir.

$$PL(d) = 22.7 + 26 \log(f_c) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (4.1)$$

$$PL_{\text{Winner+B1}} = 35.4 + 22.7 \log 10(d) \quad (4.2)$$

$$PL_{\text{ITU1411-6}} = -27.5 + 20 \log 10(f_c) + 10n \log 10(d) + X_\sigma \quad (4.3)$$

PSN simülasyon hesaplamaları için kullanılan yol kaybı modelleri 3GPP [70], Cost231-HATA [71,72], Winner5f [68], ve Lee [71,73] sırasıyla verilmiştir.

$$PL_{3GPP} = -44.9 - 6.55 \cdot \log 10(h_{BS}) \cdot \log 10(d) + 5.83 \cdot \log 10(h_{BS}) + 14.78 \\ + 34.97 \cdot \log 10(f_c) \quad (4.4)$$

$$PL_{\text{COST231-HATA}} = A + B \log(d) + C_m - a(h_m) \quad (4.5)$$

$$A = 46.3 + 33.9 \log(f_c) - 13.82 \log(h_b) \quad (4.6)$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log(h_b) \quad (4.7)$$

$$a(h_m) = (1.1 \log(f_c) - 0.7) h_m - (1.56 \log(f_c) - 0.8) \quad (4.8)$$

$$PL_{\text{WINNER 5f}} = 57.5 + 23.5 \log(d) + 23 \log\left(\frac{f_c}{5}\right) \quad (4.9)$$

$$PL_{LEE} = PL_0 + m \log\left(\frac{d}{d_0}\right) - H_T - H_R \quad (4.10)$$

$$H_T = 15 \log\left(\frac{h_t}{h_{tref}}\right) \quad (4.11)$$

$$H_R = 10 \log\left(\frac{h_r}{h_{rref}}\right) \quad (4.12)$$

$$PL_0(f) = PL_0(f_0) + 20\log\left(\frac{f}{f_0}\right) \quad (4.13)$$

3GPP yol kaybı modelinde (Denklem 4.4), f_c taşıyıcı frekansını (GHz), d cihazlar arasındaki mesafeyi (km) ve h_{BS} ise baz istasyonu anten yüksekliğini (1,5m) temsil etmektedir.

COST231-HATA yol kaybı modelinde (Denklem 4.5), d verici ve alıcı arasındaki mesafeyi (km), $a(h_m)$ alıcı anten yükseklik düzeltme faktörünü, C_m çevre düzeltme faktörünü temsil etmektedir. Denklem 4.6' da f_c taşıyıcı frekansını (MHz), h_b (Denklem 4.6 ve Denklem 4.7) ve h_m sırasıyla verici ve alıcı anten yüksekliğini (m) göstermektedir. Küçük ve orta büyüklükteki şehirler için alıcı anten yükseklik düzeltme faktörü $a(h_m)$ Denklem 4.8'deki gibi verilmiştir. C_m , orta büyüklükteki şehirsal alanları için 0 dB olarak kabul edilirken, büyük şehirler veya metropol merkezleri için 3 dB kabul edilmektedir [71].

Winner5f yol kaybı modelinde (Denklem 4.9), d mesafesi (m) 30 m ile 1,5 km arasında seçilebilir. f_c taşıyıcı frekansı (GHz) ise 2 GHz ile 6 GHz arasında seçilebilmektedir [68].

Lee yol kaybı modelinde (Denklem 4.10), d_0 referans uzaklığını (1,609 km), d verici ve alıcı arasındaki mesafeyi (km), m yol kaybı eğimini (dB/decade) temsil ederken Denklem 4.11' de (h_t) verici anten yüksekliğini (m), (h_{tref}) referans verici anten yüksekliğini (30,48m) göstermektedir. Denklem 4.12'de h_r alıcı anten yüksekliğini (m) ve h_{rref} referans alıcı anten yüksekliğini (3,048m) temsil etmektedir. PL_0 ve m değerleri için değişik ortamlarda farklı değerler seçilebilir. Bu simülatörde kullanılan Lee yol kaybı modeli, 900MHz referans frekansı (f_0) ve şehirsal alan dışı ortamı için $PL_0 = 107.7(dB)$ ve $m = 38.4(dB/decade)$ değerleri referans alınmıştır. Denklem 4.13'de PL_0 , f_0 referans frekansına göre yol kaybını ifade etmektedir [71].

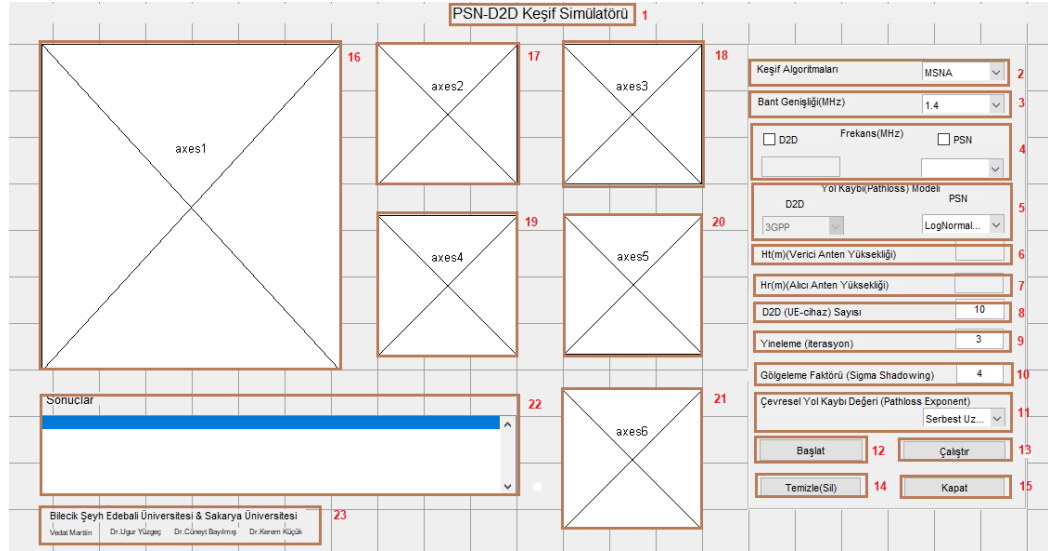
GUI tasarımında ve simülasyon hesaplamalarında kullanılan yol kaybı üstel değeri ve çevresel etki modeli değerleri [65] ile simülatörde kullanılan değerler Tablo 4.2.'de sunulmuştur.

Tablo 4.2. Çevresel etki modeli ve yol kaybı üstel değerleri.

Çevresel Etki Modeli	Yol kaybı üstel değeri (n)	Simülatör değeri
Serbest uzay alanı (Free-space)	2	2
Şehirsel hücresel radyo alanı (Urban area cellular radio)	2,7-3,5	3
Gölgeli şehirsel hücresel radyo alanı (Shadowed urban cellular radio)	3-5	4
Bina içi açık görüş radyo alanı (In building LOS)	1,6-1,8	1,7
Binalarla engellenmiş radyo alanı (Obstructed in building)	4 - 6	5
Fabrikalarla engellenmiş radyo alanı (Obstructed in factories)	2 - 3	2,5

4.2. PSN-D2D Keşif Simülatörü GUI Tasarımı

PSN-D2D Simülatörü için hazırlanan GUI tasarımı Şekil 4.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. PSN-D2D Keşif Simülâtörü GUI Tasarımı.

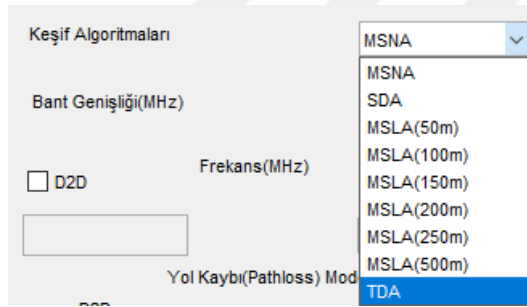
Kullanım kolaylığı açısından, tek bir arayüzden parameter seçimleri yapılarak simülâtör başlatılmaktadır. Arayüz üzerinde numarandırılmış alanlara ilişkin açıklamalar aşağıda sırasıyla sunulmaktadır:

1 nolu alanda, tasarlanan simülâtörün ismi gösterilmektedir.

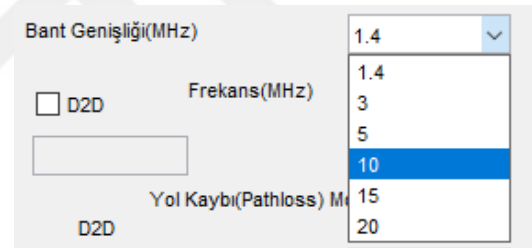
2 nolu alanda, aşağı açılır bir liste biçiminde D2D keşif arama algoritmaları seçilmektedir. İlgili seçim pencesine tıklandığında (Şekil 4.2a.), D2D keşif algoritmaları aşağıdaki gibi listelenmektedir:

- MSNA (Mesafe limiti olmayan en yüksek SINR oranına göre keşif algoritması)
- SDA (En kısa mesafeye göre keşif algoritması),
- MSLA(50m)(Mesafe limiti 50m olan en yüksek SINR oranına göre keşif algoritması),
- MSLA(100m) (Mesafe limiti 100m olan en yüksek SINR oranına göre keşif algoritması),

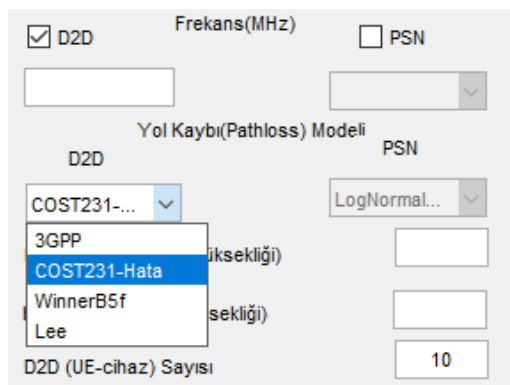
- MSLA(150m) (Mesafe limiti 150m olan en yüksek SINR oranına göre keşif algoritması),
- MSLA(200m) (Mesafe limiti 200m olan en yüksek SINR oranına göre keşif algoritması),
- MSLA(250m) (Mesafe limiti 250m olan en yüksek SINR oranına göre keşif algoritması),
- MSLA(500m) (Mesafe limiti 500m olan en yüksek SINR oranına göre keşif algoritması),
- TDA (İş çıkarım tabanlı keşif algoritması).



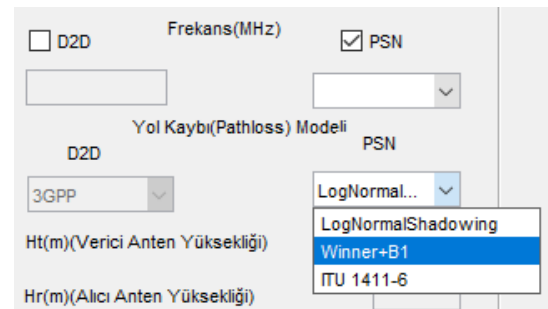
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.2. PSN-D2D Keşif Simülatorü arayüzüne ait örnek görüntüler.

(e)

(f)

Şekil 4.2.(Devamı).

3 nolu alan, bant genişliğini temsil etmektedir. Cihaz keşfi için LTE ağlarında 1,4/3/5/10/15/20 MHz değerleri açılır pencereden seçilmektedir (Şekil 4.2b.).

4 nolu alan, frekans değerini temsil etmektedir. Frekans seçimi alanında, D2D ve PSN ağlarda farklı değer seçimleri arayüz üzerinden işaretlenerek kullanılabilir. D2D için elle nümerik değerler girilebilirken PSN ağlar için 700 MHz değeri kullanılmıştır.

5 nolu alan, yol kaybı modellerinin seçimi için kullanılmaktadır. D2D ve PSN yol kaybı modelleri seçimlik olarak ayrılmıştır. Örneğin, D2D için yol kaybı modeli seçilirken PSN için seçilebilecek yol kaybı modelleri aktif değildir. PSN için Log Normal Shadowing, Winner + B1, ITU 1411-6 modelleri seçilebilmektedir (Şekil 4.2c.), D2D cihaz keşfi için ise 3GPP, COST231-HATA, WinnerB5f ve Lee modelleri seçilebilmektedir (Şekil 4.2d.).

6 nolu alanda, verici anten yüksekliği değeri (metre) girilebilirken alıcı anten yüksekliği değeri (metre) 7 nolu alan kullanılarak girilebilmektedir (Şekil 4.2e.). Bu değerler D2D seçimi yapıldığında aktif olmaktadır. PSN seçimi yapıldığında, PSN'de kullanılan yol kaybı modelleri gereği bu alana değer girişi yapılması kısıtlanmıştır.

8 nolu alan, cihaz keşfi için D2D sayısını temsil etmektedir. Simülasyonda, afet bölgesindeki cihaz sayısına göre simülatör rastgele dağıtım yaparak çalışmaktadır. Simülatör üzerinde D2D sayısı, ön tanımlı değer olarak simülasyon zamanının uzun

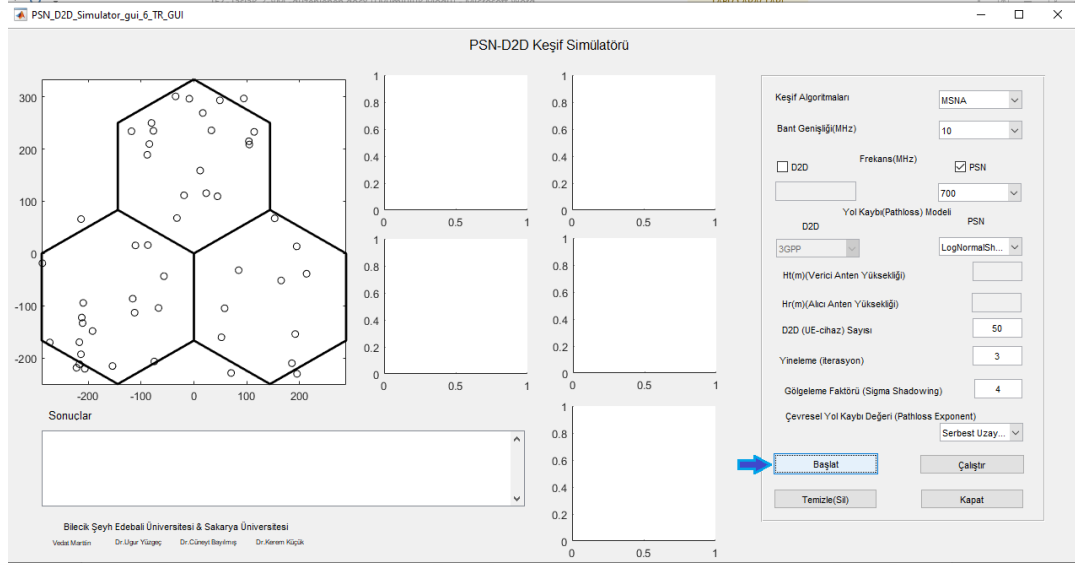
sürmemesi açısından 10 olarak seçilmiştir. Bu alana istenilen D2D sayısı girilerek simülatör çalıştırılabilmektedir.

9 nolu alan, simülasyon peryodunu belirlemek için kullanıcı tarafından elle girilen iterasyon sayısını belirtmektedir. Simülatör farklı iterasyon sayılarıyla, farklı arama algoritması ve yol kaybı modelleri ile denenebilmektedir.

10 nolu alana, Sigma gölgeleme (Sigma Shadowing) parametresi (dB) girilmektedir. Bu alan için farklı bir değer girilebilir; simülatörde ön tanımlı değer 4 olarak gelmektedir. 6-10 nolu alanlara girilen değerlere göre simülatör hesaplama yapacağı için bu alanların boş bırakıldığında simülatör kullanıcıya uyarı mesajı vermektedir.

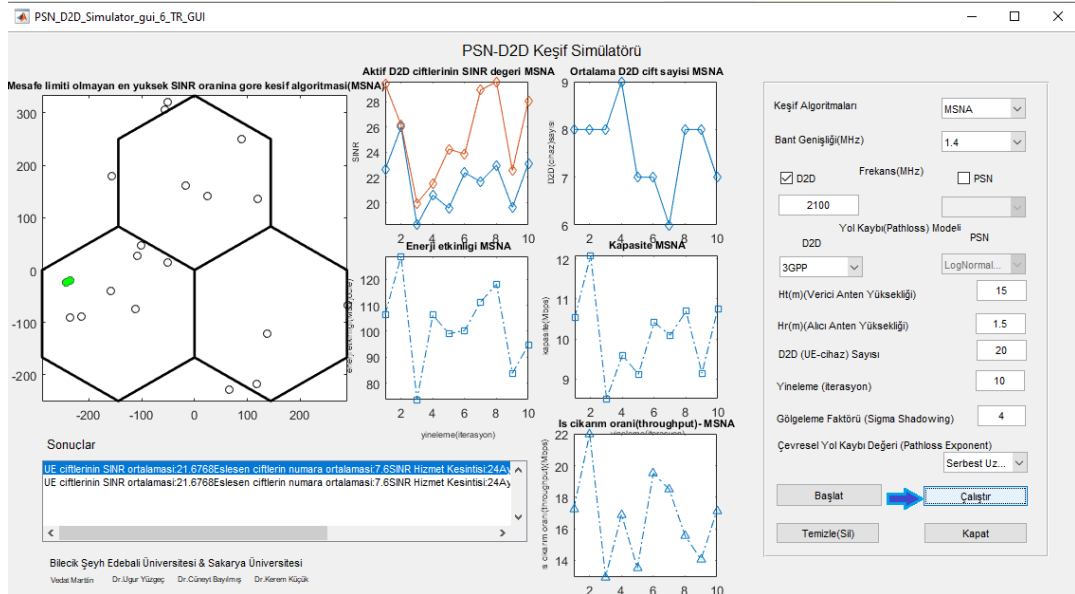
11 nolu alan, keşif için tercih edilen çevresel alana göre yol kaybı çevresel etki modeli seçilebilmektedir. Çevresel etki modelleri sırasıyla serbest uzay alanı, şehirselle hücre radyo alanı, gölgeli (kısıtlanmış) şehirselle hücre radyo alanı, gölgeli şehirselle hücre radyo alanı, bina içi açık görüş radyo alanı, binalarla engellenmiş radyo alanı ve fabrikalarla engellenmiş radyo alanı olarak listelenmektedir (Şekil 4.2f.). Simülatörde seçilen çevresel etki modeli için hesaplanan değerler, Tablo 4.2.'de gösterildiği gibi listelenen değer aralığının ortalaması şeklinde hesaplanmaktadır.

12 nolu alan, simülatöre girilen cihaz sayısınınca 16 nolu alanda gösterilen afet bölgesine UE'nin rastgele dağılımını başlatan düğmedir (Şekil 4.3.). İlgili düğmeye her basıldığında simülatör, kullanıcı cihazları için farklı ve rastgele bir dağılım yapmaktadır.



Şekil 4.3. Başlatma düğmesine basıldığında UE'lerin rastgele dağılımını gösteren ekran görüntüsü örneği.

13 nolu alan, çalıştırma düğmesidir. Çalıştır düğmesine bastıktan sonra, simülator arayüzünde sunulmak istenen D2D arama algoritması ve simülasyon parametrelerine göre sonuç ekranında simülasyon grafikleri ve eşleşen D2D çiftlerinin sayısı görülebilmektedir (Şekil 4.4.).



Şekil 4.4. Çalıştır düğmesine basıldığında elde edilen sonuç ekran görüntüsü örneği (MSNA, 20 cihaz için).

Şekil 4.1. üzerindeki 14 nolu alan, silme düğmesini göstermektedir. Düğmeye basıldığında tüm grafikler ve sonuçlar silinmektedir.

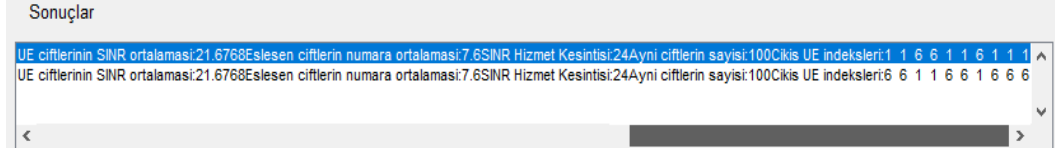
Şekil 4.1. üzerindeki 15 nolu alan, simülatör arayüzünü kapatmak için kullanılan düğmedir. 16 nolu alan, D2D-UE mobil cihazların rastgele dağıtımı yapıldığı altıgen keşif bölgesini temsil etmektedir.

Şekil 4.1. üzerindeki 17-21 nolu alanlar, D2D keşif algoritmaları tarafından elde edilen simülasyon sonuçlarının (aktif UE çiftinin SINR oranı, eşleşen UE çiftlerinin ortalaması, enerji etkinliği (Mbit/Joule), kapasite (Mbps) ve iş çıkarımı (Mbps)) gösterildiği grafiklerdir.

Şekil 4.1. üzerindeki 22 nolu alan, sonuç konsolu ekranıdır. Şekil 4.5.'de gösterildiği gibi simülasyon tamamlandığında sonuçlar sayısal olarak bu sonuç ekranında gösterilmektedir. Sonuçlara ait açıklamalar aşağıdaki gibidir;

- Eşleşen UE çiftlerinin SINR ortalaması: Simülatör arayüzünden seçilen D2D keşif algoritmalarından, elde edilen eşleşen aktif çiftlerin SINR ortalamasını göstermektedir.
- Eşleşen çiftlerin ortalaması: Simülatör arayüzünden seçilen D2D keşif algoritmalarından, elde edilen eşleşen aktif çiftlerin sayısının ortalamasını göstermektedir.
- SINR Hizmet Kesintisi: D2D keşif algoritmasıyla keşfedilen uygun UE mobil cihazların, hizmet kesinti durumunu yüzdelik (%) olarak vermektedir. Bu değer %100 olması hizmet verememe durumunu gösterir ve istenmeyen bir durumdur. Dolayısıyla hizmet kesinti değerinin küçük değerlerde olması keşfedilen UE çiftlerinin sayısının artacağı anlamına gelmektedir.
- Aynı çiftlerin sayısı: Cihaz keşfi esnasında keşfedilen ve tekrar bulunan aynı UE'lerin yüzdelik değer olarak karşılığını vermektedir.

- Çıkış UE indeksleri: Simülâtörde her iterasyonda keşfedilen UE cihaz çiftlerinin indeks değerlerini göstermektedir. Sonuç ekranında gösterilen ilk satır eşleşen ilk çiftin indeks numarasını, ikinci satır ise eşleşen ikinci çiftin indeks numarasını göstermektedir.



Şekil 4.5. Simülâtör sonuç ekran görüntüsü örneği.

Şekil 4.1.'de 23 nolu alanda ise tasarımı gösterilen simülâtör arayüzünde yazarlar ve bağlı bulundukları üniversite bilgileri yer almaktadır.

4.3. Örnek Senaryolar

Bu bölümde, tasarlanan D2D-PSN Simülâtörün farklı senaryolar eşliğinde kullanılması ve sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

4.3.1. D2D keşfi için senaryo-1

D2D keşfi için birinci senaryo örneğinde, Tablo 4.3.'deki bazı parametreler sabit tutularak dokuz farklı keşif algoritması için simülasyon sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 4.3. D2D senaryo-1 için simülasyonda sabit kabul edilen parametreler.

Parametreler	Değerler/ Modeller
Bant genişliği (MHz)	1,4
Frekans (MHz)	2100
Yol kaybı Modeli	Log Normal Shadowing
Verici anten yüksekliği (m)	15
Alıcı anten yüksekliği (m)	1,5
D2D Sayısı	20
Yineleme (İterasyon)	10
Gölgeleme faktörü	4
Çevresel yol kaybı değeri	Şehirsel hücresel radyo alanı

Tablo 4.4. D2D senaryo-1 için simülasyonda elde edilen sonuçlar.

Keşif Algoritması	Çiftlerin SINR ortalaması	Ortalama Çift Sayısı	SINR Hizmet kesinti yüzdesi (%)	Aynı çiftlerin bulunma yüzdesi (%)	Bulunan D2D çiftlerinin indeksleri
MSNA	26,25	8,30	17	100	9 10 9 10 10 9 9 10 10 10 10 9 10 9 9 10 10 9 9 9
SDA	20,80	2,00	90	100	14 14 14 19 19 19 14 19 14 19 19 19 19 14 14 14 19 14 19 14
MSLA(50m)	27,53	4,00	60	90	11 11 19 15 11 7 11 11 15 15 15 15 10 11 15 12 15 15 11 11
MSLA(100m)	20,43	6,50	35	90	2 4 2 10 10 18 10 2 10 2 10 18 10 2 2 3 2 10 2 10
MSLA(150m)	31,83	7,10	29	80	5 5 19 20 2 5 20 20 5 5 20 20 2 5 19 20 5 5 20 20
MSLA(200m)	25,30	7,60	24	100	16 8 16 8 8 16 16 12 8 8 8 16 8 16 16 8 8 15 16 16
MSLA(250m)	22,28	8,40	16	60	14 14 17 8 3 15 14 5 11 3 5 5 3 11 17 12 10 14 8 17
MSLA(500m)	20,08	8,10	19	100	5 5 16 16 16 5 5 5 15 16 16 16 5 5 5 16 16 16 11 5
TDA	26,90	8,70	13	100	9 9 17 9 9 9 9 9 9 9 17 17 9 17 17 17 17 17 17 17

Tablo 4.4.'de, simülatörün farklı keşif algoritmaları için elde edilen sonuçları gösterilmektedir. Simülatör sonuçları dokuz farklı keşif algoritması için ortalama çiftlerin SINR'leri, ortalama çiftlerin sayısı, hizmet verememe durumu, aynı çiftlerin bulunma yüzdesi ve çıkış indekleri bakımından elde edilmiştir.

MSNA algoritması için çiftlerin ortalama SINR değeri 26,25, ortalama çiftlerin sayısı 10 çift arasından 8,30, hizmet verememe durumu %17, aynı çiftlerin bulunma yüzdesi %100 yani tüm eşleşen çiftler bulunmuştur. Simülatörde çalıştırılan ve Tablo 4.4.'de görüldüğü gibi 10 iterasyonda her defasında bir çift bulunmuştur. İndeks numaraları ise tabloda gösterilen 20 adet D2D sayısındaki cihaz numarandırılmasıdır.

İndeks sonuçlarında tablodan görüldüğü üzere ilk kısım çift-1, ikinci çift-2 olarak temsil edilmektedir.

Tablo 4.4.'de görüleceği üzere çiftlerin ortalama SINR değerleri bakımından dokuz farklı keşif algoritması içinden 31,83 değeriyle MSLA(150m) en yüksek değere sahip olurken, 20,08 değeriyle MSLA(500m) algoritması en düşük değere sahiptir. Ortalama çiftlerin sayısı 10 çift arasından 8,70 değeriyle TDA en yüksek çift sayısı ile ilk keşif algoritması olurken, 2 adet çift sayısı ile SDA sonuncu olmuştur. Hizmet verememe durumu bakımından %13 değeriyle TDA en iyi hizmet veren yani servis verme kesintisi en az olan algoritma olurken SDA en kötü algoritma olmuştur. Aynı çifti bulma oranı bakımından %100 değerleriyle MSNA, SDA, MSLA(200m), MSLA(500m) ve TDA'nın keşif sonucunda aynı çiftleri bulunduğunu göstermektedir. MSLA(250m) algoritması aynı çiftleri bulma bakımından %60 ile simülasyonu yapılan algoritmalar arasından en kötü sonuca sahiptir.

4.3.2. D2D keşfi için senaryo-2

D2D için ikinci senaryo örneğinde Tablo 4.5.'deki bazı parametreler sabit tutularak dört farklı yol kaybı modeli için sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4.5. D2D senaryo-2 için simülasyonda sabit kabul edilen parametreler.

Parametreler	Değerler/ Modeller
Keşif Algoritması	MSNA
Bant genişliği (MHz)	10
Frekans (MHz)	2100
Verici anten yüksekliği (m)	15
Alıcı anten yüksekliği (m)	1,5
D2D Sayısı	50
Yineleme (İterasyon)	20
Gölgeleme faktörü	3
Çevresel yol kaybı değeri	Gölgeli şehirsel hücresel radyo alanı

Tablo 4.6.'de simülatör ile farklı yol kaybı modelleri için elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Simülatör sonuçları dört farklı yol kaybı modeli için çiftlerin ortalama SINR değerlerini, ortalama çiftlerin sayısı, hizmet verememe durumu, aynı çiftlerin bulunma yüzdesi ve çıkış indeksleri bakımından elde edilmiştir.

Tablo 4.6. D2D senaryo-2 için simülasyonda elde edilen sonuçlar.

D2D Kaybı Modeli	Yol	Çiftlerin SINR'lerinin ortalaması	Ortalama Çift Sayısı	SINR Hizmet kesinti yüzdesi (%)	Aynı çiftlerin bulunma yüzdesi (%)	Bulunan indeksleri	D2D	çiftlerinin
3GPP		29,17	20,65	17,40	55	1 19 37 13 13 19 37 37		
						19 1 19 37 1 28 13 13		
						19 13 1 1		
						13 37 19 1 1 37 19 19		
Cost231- HATA		33,10	19,65	21,40	80	37 13 37 19 13 2 1 1		
						37 1 13 13		
						36 3 10 36 10 10 23 10		
						10 36 21 10 10 10 19 10		
WinnerB5f		37,89	19,05	23,80	80	36 3 10 36		
						10 22 36 10 36 36 19 36		
						36 10 27 36 36 36 23 36		
						10 24 36 10		
Lee		30,76	18,10	27,60	60	28 2 2 42 5 2 2 2 5		
						5 28 5 5 21 5 2 5 5		
						25 5		
						26 5 5 21 2 5 5 5 2		
Lee		30,76	18,10	27,60	60	2 26 2 2 42 2 5 2 2		
						6 2		
						26 21 26 26 20 21 1 17		
						21 26 26 50 21 21 20 50		
Lee		30,76	18,10	27,60	60	17 26 1 46		
						21 26 21 21 11 26 17 50		
						26 21 21 1 26 26 11 1		
						1 21 17 3		

Tablo 4.6.'dan görüleceği üzere çiftlerin ortalama SINR değerleri bakımından dört farklı yol kaybı modeli içinden 37,89 değeriyle WinnerB5f en yüksek değere sahip olurken, 29,17 değeriyle 3GPP modeli en düşük değere sahiptir. Ortalama çiftlerin sayısı 25 çift arasından 20,65 değeriyle 3GPP en yüksek çift sayısı ile ilk algoritması olurken 18,10 değeriyle çift sayısı ile en düşük çift sayısı ile Lee modeli sonuncu olmuştur. Hizmet verememe durumu bakımından %17,40 değeriyle 3GPP en iyi hizmet veren yani servis verme kesintisi en az olan algoritması olurken Lee en kötü model olmuştur. Aynı çifti bulma oranı bakımından %80 değerleriyle WinnerB5f ve COST231-HATA modelleri aramada aynı çiftleri bulduğunu göstermektedir. 3GPP modeli aynı çiftleri bulma bakımından %55 ile en kötü sonuca sahiptir.

4.3.3. D2D keşfi için senaryo-3

D2D için üçüncü senaryo örneğinde Tablo 4.7.'deki bazı parametreler sabit tutularak, altı farklı çevresel etki modeli üzerinde sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4.7. D2D senaryo-3 için simülasyonda sabit kabul edilen parametreler.

Parametreler	Değerler/ Modeller
Keşif Algoritması	TDA
Bant genişliği (MHz)	10
Frekans (MHz)	2500
Yol Kaybı Modeli	3GPP
Verici anten yüksekliği (m)	15
Alıcı anten yüksekliği (m)	1,5
D2D Sayısı	50
Yineleme (İterasyon)	10
Gölgeleme faktörü	4

Tablo 4.8.'den görüleceği üzere çiftlerin ortalama SINR değerleri bakımından altı farklı yol kaybı ortam türü modeli içinden 33,60 değeriyle binalarla engellenmiş radyo alanı en yüksek değere sahip olurken, 17,79 değeriyle serbest uzay alanı modeli en düşük değere sahiptir. Ortalama çiftlerin sayısı 25 çift arasından 20,40 değeriyle binalarla engellenmiş radyo alanı modeli en yüksek çift sayısı ile ilk

algoritması olurken 17,10 değeriyle çift sayısı ile en düşük çift sayısı ile bina içi açık görüş radyo alanı modeli sonuncu olmuştur. Hizmet verememe durumu bakımından %18,40 değeriyle binalarla engellenmiş radyo alanı modeli en iyi hizmet veren yani servis verme kesintisi en az olan algoritması olurken, bina içi açık görüş radyo alanı en kötü model olmuştur. Gölgeleli şehirsel hücresel radyo alanı modeli aynı çiftleri bulma bakımından %50 ile simülasyonu yapılan algoritmalar arasından en kötü sonucu almıştır.

Tablo 4.8. D2D senaryo-3 için simülasyonda elde edilen sonuçlar.

Yol kaybı		Çiftlerin	Ortalama	Çift	SINR	Aynı	Bulunan	D2D	çiftlerinin						
çevresel etki	modeli	ortalama			Hizmet					çiftlerin	indeksleri				
		SINR	Sayısı		kesinti	bulunma									
		değerleri			yüzdesi	yüzdesi (%)									
					(%)										
Serbest	uzay						3	3	3						
							3	20	3	20	3				
							20	20	20	20	20				
alanı		17,79	18,40		26,40	100	20								
Şehirsel	hücresel radyo						7	7	7	43					
							7	7	43	43	7	7			
							43	43	43	7	7	43			
alanı		33,56	19,10		23,60	100	43	43	43	43					
Gölgeli	şehirsel						39	18	23	20	23	24	24	39	24
							23								
							24	42	20	23	20	39	39	24	39
alanı		21,28	20,10		19,60	50	20								
Bina	içi açık						23	49	23	23	23	49	23	23	49
							23								
							49	23	49	49	49	23	49	49	23
alanı		18,55	17,10		31,60	100	49								
Binalarla	engellenmiş						45	45	44	44	45	44	45	44	44
							44								
							44	44	45	45	44	45	44	45	45
radyo alanı		33,60	20,40		18,40	100	45								
Fabrikalarla	engellenmiş						12	36	36	12	36	12	36	12	12
							36								
							36	12	12	36	12	36	12	36	36
radyo alanı		24,73	18,90		24,40	100	12								

4.3.4. PSN keşfi için senaryo-1

PSN için birinci senaryo örneğinde Tablo 4.9.'da gösterilen simülatörde bazı parametreler sabit tutularak dokuz farklı keşif algoritması için sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4.9. PSN senaryo-1 için simülasyonda sabit kabul edilen parametreler.

Parametreler	Değerler/ Modeller
Bant genişliği (MHz)	1,4
Frekans (MHz)	700
Yol kaybı Modeli	Log Normal Shadowing
D2D Sayısı	20
Yineleme (İterasyon)	10
Gölgeleme faktörü	4
Çevresel yol kaybı değeri	Şehirselsel hücresel radyo alanı

Tablo 4.9.'da, simülatörün farklı keşif algoritmaları için elde edilen sonuçları gösterilmektedir. Simülatör sonuçları dokuz farklı keşif algoritması için ortalama çiftlerin SINR'leri, ortalama çiftlerin sayısı, hizmet verememe durumu, aynı çiftlerin bulunma yüzdesi ve çıkış indekleri bakımından elde edilmiştir.

Tablo 4.10.'da görüleceği üzere çiftlerin ortalama SINR değerleri bakımından dokuz farklı keşif algoritması içinden 37,78 değeriyle MSLA(500m) en yüksek değere sahip olurken, MSLA(100m) ve TDA algoritması en düşük değere sahiptir. Ortalama çiftlerin sayısı 8,20 değeriyle TDA en yüksek çift sayısı ile ilk keşif algoritması olurken, SDA ve MSLA(50m) en düşük değere sahiptir. Hizmet verememe durumu bakımından %19 değeriyle TDA en iyi hizmet veren yani servis verme kesintisi en az olan algoritma olurken SDA ve MSLA(50m) en kötü algoritma olmuştur. Aynı çifti bulma oranı bakımından %100 değerleriyle SDA, MSLA(150m) ve MSLA(250m) keşif sonucunda aynı çiftleri bulduğunu göstermektedir.

Tablo 4.10. PSN senaryo-1 için simülasyonda elde edilen sonuçlar.

Keşif Algoritması	Çiftlerin SINR ortalaması	Ortalama Çift Sayısı	SINR Hizmet kesinti yüzdesi (%)	Aynı çiftlerin bulunma yüzdesi (%)	Bulunan D2D çiftlerinin indeksleri
MSNA	25,32	7,50	25	60	4 9 20 4 5 9 20 9 9 4 15 20 9 15 7 20 9 20 20 15
SDA	22,44	2,00	90	100	1 1 1 1 9 1 9 9 9 1 9 9 9 9 1 9 1 1 1 9
MSLA(50m)	24,22	6,00	40	60	4 9 17 5 4 9 10 4 2 4 5 10 2 4 5 10 9 5 17 5
MSLA(100m)	14,16	6,80	32	50	15 20 15 20 8 12 17 20 8 2 20 15 20 15 1 3 13 15 1 5
MSLA(150m)	31,47	6,70	33	100	19 13 19 13 13 13 19 19 19 19 13 19 13 19 19 19 13 13 13 13
MSLA(200m)	28,11	7,20	28	50	5 13 18 8 16 18 10 13 8 10 16 10 19 16 8 19 13 10 16 13
MSLA(250m)	32,18	7,20	28	100	13 10 10 13 10 10 13 13 10 13 10 13 13 10 13 13 10 10 13 10
MSLA(500m)	37,78	7,50	25	80	1 13 17 1 13 1 17 17 14 1 17 14 1 17 14 17 1 1 13 17
TDA	13,00	8,20	19	90	10 1 12 10 10 10 10 16 1 1 1 10 7 1 1 1 1 4 10 10

4.3.5. PSN keşfi için senaryo-2

PSN için ikinci senaryo örneğinde, Tablo 4.11.'de gösterilen bazı parametreler sabit tutularak üç farklı yol kaybı modeli üzerinde sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4.11. PSN senaryo-2 için simülasyonda sabit kabul edilen parametreler.

Parametreler	Değerler/ Modeller
Keşif Algoritması	MSLA(150m)
Bant genişliği (MHz)	20
Frekans (MHz)	700
Çevresel Yol Kaybı Modeli	Bina içi açık görüş radyo alanı
D2D Sayısı	50
Yineleme (İterasyon)	10
Gölgeleme faktörü	4

Tablo 4.12. PSN senaryo-2 için simülasyonda elde edilen sonuçlar.

PSN-Yol Kaybı Modeli	Çiftlerin SINR'lerinin ortalaması	Ortalama Çift Sayısı	SINR Hizmet kesinti yüzdesi (%)	Aynı çiftlerin bulunma yüzdesi (%)	Bulunan indeksleri	D2D	çiftlerinin
Log Normal Shadowing	15,30	11,70	53,20	80	20 20 46 20 20 20 29 11 20 20 46 46 20 46 46 46 34 48 46 46		
Winner+B1	11,62	13,00	48,00	100	4 24 24 4 24 4 24 4 24 24 24 4 4 24 4 24 4 24 4 4		
ITU-1411-6	11,35	14,20	43,20	70	42 38 34 38 42 6 37 38 42 38 38 42 27 42 38 22 7 42 38 42		

Tablo 4.12.'den görüleceği üzere çiftlerin ortalama SINR değerleri bakımından üç farklı yol kaybı ortam türü modeli içinden 15,30 değeriyle Log Normal Shadowing en yüksek değere sahip olurken, 11,35 değeriyle ITU1411-6 modeli en düşük değere sahipti. Ortalama çiftlerin sayısı 25 çift arasından 14,20 değeriyle ITU1411-6 en

yüksek çift sayısı ile ilk algoritması olurken 11,70 değeriyle çift sayısı ile en düşük çift sayısı ile Log Normal Shadowing modeli üçüncü olmuştur. Hizmet verememe durumu bakımından %43,20 değeriyle ITU-1411-6 en iyi hizmet veren yani servis verme kesintisi en az olan algoritması olurken Log Normal Shadowing en kötü model olmuştur. Aynı çiftleri bulma bakımından Winner+B1 modeli %100 ile en iyi model olurken, ITU-1411-6 modeli %70 ile simülasyonda en kötü sonucu almıştır.

4.3.6. PSN keşfi için senaryo-3

PSN için üçüncü senaryo örneğinde, Tablo 4.13.'de gösterilen bazı parametreler sabit tutularak altı farklı yol kaybı çevresel etki modeli üzerinde sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4.13. PSN senaryo-3 için simülasyonda sabit kabul edilen parametreler.

Parametreler	Değerler/ Modeller
Keşif Algoritması	TDA
Bant genişliği (MHz)	10
Frekans (MHz)	700
Yol Kaybı Modeli	Log Normal Shadowing
D2D Sayısı	50
Yineleme (İterasyon)	10
Gölgeleme faktörü	4

Tablo 4.14.'den görüleceği üzere çiftlerin ortalama SINR değerleri bakımından altı farklı yol kaybı çevresel etki modeli içinden 33,77 değeriyle binalarla engellenmiş radyo alanı en yüksek değere sahip olurken, 6,43 değeriyle bina içi açık görüş radyo alanı modeli en düşük değere sahiptir. Ortalama çiftlerin sayısı 25 çift arasından 21,20 değeriyle gölgeli şehirselle hücreselle radyo alanı modeli en yüksek çift sayısı ile ilk algoritması olurken 17,30 değeriyle çift sayısı ile en düşük çift sayısı ile bina içi açık görüş radyo alanı modeli sonuncu olmuştur. Hizmet verememe durumu bakımından %15,20 değeriyle gölgeli şehirselle hücreselle radyo alanı modeli en iyi hizmet veren yani servis verme kesintisi en az olan algoritması olurken, bina içi açık görüş radyo alanı en kötü model olmuştur. Bina içi açık görüş radyo alanı modeli

aynı çiftleri bulma bakımından %40 ile simülasyonu yapılan algoritmalar arasından en kötü sonucu almıştır

Tablo 4.14. PSN senaryo-3 için simülasyonda elde edilen sonuçlar.

Yol kaybı çevresel etki modeli	Çiftlerin ortalama SINR değerleri	Ortalama Çift Sayısı	SINR Hizmet kesinti yüzdesi (%)	Aynı çiftlerin bulunma yüzdesi (%)	Bulunan indeksleri	D2D	çiftlerinin
Serbest uzay alanı	17,82	18,50	26,00	100	9 24 24 24 9 24 9 9 24 24 24 9 9 9 24 9 24 24 9 9		
Şehirsel hücresele radyo alanı	15,14	19,30	22,80	50	30 15 46 47 30 30 46 30 40 16 47 29 16 30 47 47 16 47 29 46		
Gölgeli şehirsel hücresele radyo alanı	27,75	21,20	15,20	100	33 33 10 10 10 10 33 10 33 33 10 10 33 33 33 33 10 33 10 10		
Bina içi açık görüş radyo alanı	6,43	17,30	30,80	40	34 43 34 25 26 15 26 34 31 15 3 47 3 14 27 13 27 3 47 13		
Binalarla engellenmiş radyo alanı	33,77	20,20	19,20	100	3 3 23 3 23 3 3 3 23 23 23 23 3 23 3 23 23 23 3 3		
Fabrikalarla engellenmiş radyo alanı	23,46	18,90	24,40	100	46 39 46 46 39 46 46 39 46 46 39 46 39 39 46 39 39 46 39 39		

4.4. D2D ve PSN Senaryolarının Değerlendirilmesi

D2D ve PSN için toplamda altı farklı senaryo için oluşturulan özet tablo sunulmuştur (Tablo 4.15.).

Tablo 4.15. D2D ve PSN senaryoları için simülasyon sonuçlarının özet tablosu.

Senaryolar	Çiftlerin ortalama SINR değeri	Ortalama Çift Sayısı	SINR Hizmet kesinti yüzdesi (%)	Aynı çiftlerin bulunma yüzdesi (%)
D2D-Senaryo-1	MSLA(150m)	TDA	TDA	MSNA, SDA, MSLA(200m), MSLA(500m), TDA
D2D- Senaryo -2	WinnerB5f	3GPP	3GPP	WinnerB5f, COST231-HATA
D2D- Senaryo -3	Binalarla engellenmiş radyo alanı	Binalarla engellenmiş radyo alanı	Binalarla engellenmiş radyo alanı	Serbest uzay, Şehirsel hücrese radyo alanı, Bina içi açık görüş radyo alanı, Binalarla engellenmiş radyo alanı, Fabrikalarla engellenmiş radyo alanı,
PSN- Senaryo -1	MSLA(500m)	TDA	TDA	SDA, MSLA(150m), MSLA(250m), TDA
PSN- Senaryo -2	Log Normal Shadowing	ITU1411-6	ITU1411-6	Winner+B1
PSN- Senaryo -3	Binalarla engellenmiş radyo alanı	Gölgeli şehirsel hücrese radyo alanı	Gölgeli şehirsel hücrese radyo alanı	Serbest uzay, Gölgeli şehirse hücrese radyo alanı, Binalarla engellenmiş radyo alanı, Fabrikalarla engellenmiş radyo alanı,

D2D-Senaryo-1’de farklı keşif algoritmalarının cihaz keşfindeki etkisi ele alınmış olup, senaryonun sonucunda en iyi çiftlerin ortalama SINR değeri olarak MSLA(150m) bulunurken, ortalama çift sayısı ve hizmet kalitesi bakımından en iyi algoritma TDA, aynı çifti bulma bakımından ise MSNA, SDA, MSLA(200m), MSLA(500m) ve TDA bulunmuştur.

D2D-Senaryo-2’de farklı yol kaybı modelleri için GUI simülatörü çalıştırılmış ve bunun sonucu olarak en iyi çiftlerin ortalama SINR değeri WinnerB5f modeli için, en iyi ortalama çift sayısı ve hizmet kalitesi bakımından 3GPP modeli, aynı çifti bulma bakımından ise en iyi modeller WinnerB5f, COST231-Hata olarak bulunmuştur.

D2D-Senaryo-3’de GUI simülatöründe farklı ortam modellerinin etkileri incelenmiş olup, bunun sonucu olarak en iyi çiftlerin ortalama SINR değeri, ortalama çift sayısı ve hizmet kalitesi bakımından binalarla engellenmiş radyo alanı ortam modeli bulunurken, aynı çifti bulma bakımından ise gölgeli şehirselle hücreselle radyo alanı dışında diğer tüm ortam türleri başarılı olarak bulunmuştur.

PSN-Senaryo-1’de farklı keşif algoritmalarının cihaz keşfindeki etkisi ele alınmış olup, senaryonun sonucunda en iyi çiftlerin ortalama SINR değeri olarak MSLA(500m) bulunurken, ortalama çift sayısı ve hizmet kalitesi bakımından en iyi algoritma TDA, aynı çifti bulma bakımından ise SDA, MSLA(150m) ve MSLA(250m) ve TDA bulunmuştur.

PSN-Senaryo-2’de ortalama çift sayısı SINR si olarak Log Normal Shadowing modeli, ortalama çift sayısı ve hizmet kalitesi bakımından ITU1411-6 seçilirken, aynı çifti bulma parametresi bakımından ise Winner+B1 seçilmiştir.

PSN-Senaryo-3’de GUI simülatöründe farklı çevreselle etki modelleri incelenmiş olup, bunun sonucu olarak en iyi çiftlerin ortalama SINR değeri bakımından binalarla engellenmiş radyo alanı, ortalama çift sayısı ve hizmet kalitesi bakımından gölgeli şehirselle hücreselle radyo alanı ortam modeli bulunurken, aynı çifti bulma bakımından ise bina içi açık görüş radyo alanı ile şehirselle hücreselle radyo alanı dışında diğer tüm ortam türleri başarılı olarak bulunmuştur.

Özet tablodan görüldüğü üzere afet durumunda cihazların keşfi bakımından düşünüldüğünde;

D2D senaryolarında, senaryo-1 için ortalama cihaz çift sayısı ve hizmet kalitesi bakımından TDA seçilmesi açıktır. Senaryo-2 için 3GPP yol kaybı modeli ve Senaryo-3 için binalarla engellenmiş radyo alanı çevresel etki modeli bu kapsamda seçilebilir.

PSN senaryolarında, senaryo-1 için ortalama cihaz çift sayısı ve hizmet kalitesi bakımından TDA seçilmesi açıktır. Senaryo-2 için ITU1411-6 yol kaybı modeli ve Senaryo-3 için gölgeli şehirsel hücresel radyo alanı çevresel etki modeli bu kapsamda seçilebilir.



BÖLÜM 5. SONUÇ VE TARTIŞMA

D2D keşfi ve iletişimi, felaket durumunda ağ altyapısı yardımı olmadan iletişim hizmeti sağlar ve hücresel iletişim ağındaki çağrı trafiğini azaltır. Tez çalışması kapsamında PSN’de D2D eş keşfi için iş çıkarım tabanlı yeni bir keşif algoritması (TDA) önerilmiştir. TDA, keşif esnasında D2D çiftleri, minimum verim eşliğini aştıklarında belirlenmekte ve ardından maksimum iş çıkarım değerlerine sahip en iyi çiftleri bulmaktadır. Önerilen TDA yapısında, SINR tabanlı mesafe sınırı olmadan haberleşme öncesi D2D çiftlerini seçmeyi amaçlamıştır. D2D çift sayısının fazla olması afet sonrası daha fazla sayıda kullanıcıya ulaşmayı sağlayacak ve kurtarılma olasılıklarını artıracaktır.

Tez çalışmasında, 3GPP tarafından önerilen D2D senaryosu, afet sonrası cihaz keşfi için kullanılmıştır. Bu senaryoda, SINR tabanlı MSNA, SDA, MSLA(50-250m, 500m) ve önerilen TDA için ayrı ayrı testler yapılmış ve sonuçlar farklı ölçütler açısından ele alınmıştır. Simülasyon başlangıcında rastgele dağıtılan kullanıcı cihazları (UE’ler), SINR hizmet kesinti yüzdesi, enerji etkinliği, kapasite durumu afet alanı için eşleşen D2D çiftlerinin sayısı açısından incelenmiştir.

Tez kapsamında elde edilen sonuçlara göre, SDA ve MSLA (50m) iş çıkarım, enerji etkinliği ve kapasite ölçütleri açısından daha iyi sonuçlar vermektedir. Ancak SDA en yakın mesafede sadece iki çift keşfedebilmektedir. MSLA (50m), UE çiftlerinin SINR değerlerine göre 50 metre içinde keşfettiği D2D çifti iş çıkarımı, enerji etkinliği ve kapasite sonuçları yüksek olarak elde edilmiştir. SINR hizmet kesintisi ortalama değer bakımından MSLA (50m) için % 53,04 ve SDA için % 98 olarak elde edilmiştir. Bu değerler, D2D keşfi ve hizmet kalitesi açısından TDA’nın afet bölgesi senaryosu için SINR hizmet kesintisi değerlerinin gerisinde kalmaktadır. TDA, keşfedilen D2D çiftlerinin ortalama SINR hizmet kesintisi için % 32,58 ve ortalama

SINR için 33,71dB değerlerini üreterek diğer keşif algoritmalarından daha iyi sonuç elde etmiştir. Ağdaki kullanıcı sayılarına göre yapılan analizde, önerilen TDA'nın, özellikle çıkış ve SINR hizmet kesinti değerlerinde 20'den fazla cihaz olduğu durumlarda, diğer keşif algoritmalarına göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Önerilen TDA yapısının, çalışmanın amacına uygun olarak afet bölgesinde en fazla cihaz çiftini keşfettiği ve hizmet kalitesi açısından diğer algoritmalar arasında en iyisi olduğu belirlenmiştir.

Tez kapsamında keşif algoritmaları ile farklı parametrelerin tek bir arayüz yardımıyla girilebilmesi ve sonuçların tek bir arayüzden görülebilmesi için PSN-D2D Keşif Simülatörü adında bir arayüz (GUI) geliştirilmiştir. PSN-D2D Keşif Simülatörü dokuz farklı keşif algoritmasını (MSNA, SDA, MSLA(50-100-150-200-250m, 500m) ve TDA) seçerek çalıştırılabilmektedir. D2D ve PSN için ayrı taşıyıcı frekanslar üzerinde D2D için 3GPP, WinnerB5f, COST231-HATA yol kaybı modelleri ile PSN için Log Normal Shadowing, ITU1411-6, Winner+B1 yol kaybı modellerine göre sonuçlar alınabilmektedir. Yol kaybı çevresel etki modellerine (serbest uzay, şehirselle hücresel radyo alanı, gölgeli şehirselle hücresel radyo alanı, bina içi açık görüş radyo alanı, binalarla engellenmiş radyo alanı ve fabrikalarla engellenmiş radyo alanı) göre arayüz üzerinde seçimler yapılarak simülasyon çalıştırılabilmekte ve yine arayüz üzerinde grafiklerde ve sonuç ekranında çıktılar görülebilmektedir. PSN-D2D Keşif Simülatörü ile farklı senaryolarla D2D ve PSN ağların keşif algoritmaları ile farklı yol kaybı, çevresel etki değerleri gibi parametrelerin cihaz keşfi üzerine etkileri ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Simülasyonda kullanılan parametreler ve parametrelerdeki rastgelelilik farklı senaryo ve sonuçların vermesi açısından önemlidir. Simülasyonlarda girilen UE sayısı kadar her yinelemede UE'ler afet alanına rastgele dağıtılmakta ve arayüzden girilen parametrelere göre uzaklık, SINR, iş çıkarımı, enerji ve kapasite etkinliği hesaplamaları yapılmaktadır. Tez kapsamında yapılan simülasyonlar ilgili simülasyon parametrelerine göre kullanılan araç olan bilgisayarın fiziksel imkanları çerçevesinde elde edilen sonuçlar bu sonuçlar değerlendirilmiştir. Dolayısıyla tez kapsamında

yapılan senaryolarda aynı simülasyon parametreleri kullanılarak farklı sonuçlar da elde edilebilir.

İleriki çalışmalar için, TDA'nın enerji etkinliği, kapasite gibi ölçütlerin iyileştirilmesi bakımından çalışmalar yapılabilir. Sunulan simülasyon yöntemleri kullanılarak hizmet kalitesini artıracak gerçek zamanlı simülasyonlar ve bunların laboratuvar testleriyle karşılaştırılması yapılabilir. Simülasyon parametrelerine bağlı olarak yineleme miktarının artması simülasyon zamanını arttıracığı için sonuçların daha kısa sürelerden alınabilmesi açısından fiziksel gücü yüksek olan bilgisayar, sunucu ya da bulut hizmeti kullanılabilir.

TDA'nın farklı kanal modları, çok yönlü atlama yönlendirme teknikleri kullanımı, UE'lerin kümelenmesi ve afet alanı dışında keşfedilen UE'lerin iletişimin sağlanması gibi konulara odaklanılabilir. Afet sonrası bölgesi dışında haberleşme için çok yönlü atlama yönlendirme teknikleri, yapay zekada kullanılan sezgisel arama yöntemleriyle birleştirilebilir.

PSN-D2D Keşif Simülatörü, D2D ve PSN konularını öğrenmek isteyen akademisyenler, teknik personeller ve öğrenciler için kullanılacakları bir simülatör olması açısından önemlidir. Kullanıma bağlı ihtiyaçlara göre simülatör geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Nishiyama H, Ito M, Kato N. Relay-by-smartphone: Realizing multihop device-to-device communications. *IEEE Commun Mag.* 52(4):56-65, 2014. doi:10.1109/MCOM.2014.6807947.
- [2] Hicham, M., Abghour, N., Ouzzif M. Device-To-Device (D2D) Communication Under LTE-Advanced Networks. *Int J Wirel Mob Networks.* 8(1):11-22, 2016. doi:10.5121/ijwmn.2016.8102.
- [3] Baldini G, Karanasios S, Allen D, Vergari F. Survey of wireless communication technologies for public safety. *IEEE Commun Surv Tutorials.* 16(2):619-641, 2014. doi:10.1109/SURV.2013.082713.00034.
- [4] He, D., Chan, S., Guizani M. Drone-Assisted Public Safety Networks: The Security Aspect. *IEEE Commun Mag.*;55(8):218-244, 2017. doi: 10.1109/MCOM.2017.1600799CM.
- [5] Shah ST, Hasan SF, Seet BC, Chong PHJ, Chung MY. Device-to-Device Communications: A Contemporary Survey. *Wirel Pers Commun.*; 98:1247–1284, 2018. doi:10.1007/s11277-017-4918-4.
- [6] Kumbhar A, Koohifar F, Güvenç I, Mueller B. A Survey on Legacy and Emerging Technologies for Public Safety Communications. *IEEE Commun Surv Tutorials.*;19(1):97-124, 2017. doi:10.1109/COMST.2016.2612223.
- [7] Yu W, Xu H, Nguyen J, Blasch E, Hematian A, Gao W. Survey of Public Safety Communications: User-Side and Network-Side Solutions and Future Directions. *IEEE Access* ;6:70397-70425, 2018. doi:10.1109/ACCESS.2018.2879760.
- [8] Pinelli, J. P., Esteva, M., Rathje, E. M., Roueche, D., Brandenburg, S. J., Mosqueda, G., Haan F. Disaster Risk Management Through the DesignSafe Cyberinfrastructure. *Int J Disaster Risk Sci.*;11(6):719-734, 2020. doi: 10.1007/s13753-020-00320-8.

- [9] Qadir, Z., Ullah, F., Munawar, H. S., Al-Turjman F. Addressing disasters in smart cities through UAVs path planning and 5G communications: A systematic review. *Comput Commun.*;168:114-135, 2021.
doi: 10.1016/j.comcom.2021.01.003.
- [10] Ali K, Nguyen HX, Shah P, Vien QT. Energy efficient and scalable D2D architecture design for public safety network. *Int Conf Adv Commun Syst Inf Secur ACOSIS 2016 - Proc.* 2017:0-5, 2016 .
doi:10.1109/ACOSIS.2016.7843929.
- [11] Kar UN, Sanyal DK. A Critical Review of 3GPP Standardization of Device-to-Device Communication in Cellular Networks. *SN Comput Sci.*;1(1):1-18, 2020.
doi:10.1007/s42979-019-0045-5.
- [12] Akyildiz IF, Nie S, Lin SC, Chandrasekaran M. 5G Roadmap: 10 Key Enabling Technologies. *Computer Networks.*;106:17-48, Elsevier, 2016.
doi:10.1016/j.comnet.2016.06.010.
- [13] Gandotra P, Jha RK. Device-to-Device Communication in Cellular Networks: A Survey. *Journal of Network and Computer Applications*; 71: 99–117, Elsevier ,2016.
doi:10.1016/j.jnca.2016.06.004.
- [14] Mukherjee, P., De T. Content Independent Location Based Clustering for 5G Device to Device Communications. *Wirel Pers Commun.*;118:2573-2599, Springer, 2021.
doi:https://doi.org/10.1007/s11277-021-08143-6.
- [15] Chakraborty, C., & Rodrigues JJCP. A Comprehensive Review on Device-to-Device Communication Paradigm: Trends, Challenges and Applications. *Wirel Pers Commun*, Springer, 2020.
doi:https://doi.org/10.1007/s11277-020-07358-3.
- [16] Hayat O, Ngah R, Zahedi Y. In-Band Device to Device (D2D) Communication and Device Discovery: A Survey. *Wirel Pers Commun*;106(2):451-472, Springer, 2019.
doi:10.1007/s11277-019-06173-9.
- [17] Lin X, Andrews JG, Ghosh A, Ratasuk R. An overview of 3GPP device-to-device proximity services. *IEEE Commun Mag*;52(4):40-48, 2014.
doi:10.1109/MCOM.2014.6807945.
- [18] Osman EAM. Device Discovery Methods in D2D Communications for 5G Communications System. *Tallinn Teknoloji Üniversitesi, Bilgi Teknolojileri, Yüksek Lisans Tezi*, 2018.

- [19] Gomez K, Goratti L, Rasheed T, Reynaud L. Enabling disaster-resilient 4G mobile communication networks. *IEEE Commun Mag.*;52(12):66-73, 2014. doi:10.1109/MCOM.2014.6979954.
- [20] Ben Halima, N., & Boujemâa H. Optimal routing and one hop routing for D2D communications in the presence of mutual interference. *Telecommun Syst.*;71(1):55-64, 2019. doi:https://doi.org/10.1007/s11235-018-0512-7.
- [21] Chen, G., Tang, J., & Coon JP. Optimal routing for multihop social-based D2D communications in the internet of things. *IEEE Internet Things J.*;5(3):1880–1889, 2018. doi:https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2817024.
- [22] Shaikh, F. & & RW. Routing in multi-hop cellular device-to-device (D2D) networks: A survey. *IEEE Commun Surv Tutorials.*20(4):2622-2657, 2018. doi:https://doi.org/10.1109/COMST.2018.2848108.
- [23] Babun L, Yürekli AI, Güvenç I. Multi-hop and D2D communications for extending coverage in public safety scenarios. *IEEE 40th Local Computer Networks Conference Workshops (LCN Workshops)*, Decem.:912-919, ABD, 2015. doi:10.1109/LCNW.2015.7365946.
- [24] Ali K, Nguyen HX, Vien QT, Shah P, Chu Z. Disaster Management Using D2D Communication with Power Transfer and Clustering Techniques. *IEEE Access.*;6(January):14643-14654, 2018. doi:10.1109/ACCESS.2018.2793532.
- [25] Fodor G, Parkvall S, Sorrentino S, Wallentin P, Lu Q, Brahmi N. Device-to-device communications for national security and public safety. *IEEE Access.* 2:1510-1520, 2014. doi:10.1109/ACCESS.2014.2379938.
- [26] Kuang, Z., Liu, G., Li, G., & Deng X. Energy Efficient Resource Allocation Algorithm in Energy Harvesting-Based D2D Heterogeneous Networks. *IEEE Internet Things J.*;6(1): 557-567, 2019. doi:https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2842738.
- [27] Marttin V, Yüzgeç U, Bayılmış C. Device to Device (D2D) Communication Technologies for Post-Disaster Communication Afet Sonrası İletişim İçin Cihazdan Cihaza Haberleşme Teknolojisi. *ISHAD2018* ;687-696,Sakarya, 2018.
- [28] Kwak, Y., Ro, S., Kim, S., Kim, Y., & Lee J. Performance evaluation of D2D discovery with eNB based power control in LTE-advanced. In: *IEEE 80th Vehicular Technology Conference (VTC2014-Fall)*;1-5, 2014. doi:https://doi.org/10.1109/VTCFall.2014.6966122.

- [29] Ever E, Gemikonakli E, Nguyen HX, Al-Turjman F, Yazici A. Performance evaluation of hybrid disaster recovery framework with D2D communications. *Comput Commun*, 152:81-92, Elsevier, 2020.
doi:10.1016/j.comcom.2020.01.021.
- [30] Hayat, O., Ngah, R., & Mohd Hashim SZ. Performance Analysis of Device Discovery Algorithms for D2D Communication. *Arab J Sci Eng.*;45(3):1457-1471, 2020.
doi:https://doi.org/10.1007/s13369-019-04006-2.
- [31] Hayat O, Ngah R, Hashim SZM. Sector Scanning Algorithm (SSA) for device discovery in D2D communication. *Int J Electron.*;108(1):45-66, 2021.
doi:10.1080/00207217.2020.1756453.
- [32] Marttin V, Yüzgeç U, Bayılmış C. Yeni Nesil Mobil Kablosuz Ağlar : 4 . 5G Üzerine Bir Araştırma New Generation Mobile Wireless Networks, International Conference on Computer Science and Engineering, UBMK2016: 666-670, Tekirdağ, 2016.
- [33] Zarrinkoub H. Understanding LTE with MATLAB : From Mathematical Foundation to Simulation, Performance Evaluation and Implementation. USA: John Wiley & Sons, Ltd; 2014.
- [34] Marttin V, Yuzgec U, Bayilmis C, Kucuk K, D2D Communication and Energy Efficiency on LTE for Public Safety Networks. 3rd International Conference on Computer Science and Engineering. UBMK 2018:547-551, Bosna Hersek, 2018.
doi:10.1109/UBMK.2018.8566602.
- [35] Radio G, Network A. 3gpp tr 36.843. 2014;0(Release 12), Teknik Rapor, Erişim Tarihi: 15.05.2021.
- [36] Türkiye Bilişim Derneği. Bilişim Sözlüğü. <https://eski.tbd.org.tr/index.php?sayfa=sozluk&mi1>, Erişim Tarihi: 15.05.2021.
- [37] 3GPP Public Safety (individual to-from authority) communications_20140316,2014. Teknik Rapor, Erişim Tarihi: 15.05.2021.
- [38] Ahmad H, Agiwal M, Saxena N, Roy A. D2D-based Survival on Sharing for critical communications. *Wirel Networks.*;24(6):2283-2295, 2018
doi:10.1007/s11276-017-1469-2.
- [39] Gandotra P, Jha RK. Device-to-Device Communication in Cellular Networks : A Survey. Vol 16. Elsevier, 2014.
doi:10.1016/j.jnca.2016.06.004.

- [40] Araniti G, Raschellá A, Orsino A, Militano L, Condoluci M. Device-to-Device communications over 5G systems: Standardization, challenges and open issues. In: 5G Mobile Communications:337-360, 2016.
doi:10.1007/978-3-319-34208-5_12.
- [41] Qualcomm. <https://www.qualcomm.com>., Erişim Tarihi: 15.05.2021.
- [42] Xinzhou W.,Tavildar S., Shakkottai S., Richardson T. , Junyi L. , Laroia R. JA. FlashLinQ: a synchronous distributed scheduler for peer-to-peer ad hoc networks. IEEE/ACM Trans Netw. 21(4):1215–1228, 2013.
- [43] Asadi A, Wang Q, Mancuso V. A survey on device-to-device communication in cellular networks. IEEE Commun Surv Tutorials.16(4):1801-1819, 2014.
doi:10.1109/COMST.2014.2319555.
- [44] IEEE. Wi-Fi (Wireless Fidelity). <https://www.ieee802.org/11/>., Erişim Tarihi: 15.05.2021.
- [45] Zigbee. <https://zigbeealliance.org>. , Erişim Tarihi: 15.05.2021.
- [46] Bluetooth. <https://www.bluetooth.com>. , Erişim Tarihi: 15.05.2021.
- [47] Kar UN, Sanyal DK. An overview of device-to-device communication in cellular networks. ICT Express; 4(4):203-208, 2018.
doi:10.1016/j.ict.2017.08.002.
- [48] Doppler K, Rinne M, Wijting C, Ribeiro CB, Hug K. Device-to-device communication as an underlay to LTE-advanced networks. IEEE Commun Mag.;47(12):42-49, 2009.
doi:10.1109/MCOM.2009.5350367.
- [49] Doppler K, Ribeiro CB, Knecht J. Advances in D2D communications: Energy efficient service and device discovery radio. 2nd Int Conf Wirel Commun Veh Technol Inf Theory Aerosp Electron Syst Technol, Wirel VITAE 2011:1-6 , 2011.
doi:10.1109/WIRELESSVITAE.2011.5940857.
- [50] Tang H, Ding Z, Levy BC. Enabling D2D Communications through Neighbor Discovery in LTE Cellular Networks. IEEE Transactions on Signal Processing ;62(19): 5157 - 5170, 2014.
doi:10.1109/TSP.2014.2348950.
- [51] Simsek M, Merwaday A, Correal N, Güvenç I. Device-to-device discovery based on 3GPP system level simulations. IEEE Globecom Work GC Wkshps 2013:555-560, ABD, 2013.
doi:10.1109/GLOCOMW.2013.6825046.

- [52] Vasudevan S, Adler M, Goeckel D, Towsley D. Efficient algorithms for neighbor discovery in wireless networks. *IEEE/ACM Trans Netw.*;21(1):69-83, 2013.
doi:10.1109/TNET.2012.2189892.
- [53] Sun G, Wu F, Gao X, Chen G, Wang W. Time-efficient protocols for neighbor discovery in wireless Ad Hoc networks. *IEEE Trans Veh Technol.*;62(6):2780-2791, 2013.
doi:10.1109/TVT.2013.2246204.
- [54] Yang ZJ, Huang JC, Chou CT, et al. Peer Discovery for Device-to-Device (D2D) communication in LTE in LTE-A networks. *IEEE Globecom Work GC Wkshps 2013*:665-670, ABD, 2013.
doi:10.1109/GLOCOMW.2013.6825064.
- [55] Zou J, Wang M, Zhang J, et al. Discovery Signal design and its application to peer-to-peer communications in OFDMA cellular networks. *IEEE Trans Wirel Commun.*12(8):3995-4009, 2013.
doi:10.1109/TWC.2013.071613.121395.
- [56] Zou KJ, Wang MW, Yang K, et al. Proximity Discovery for Device-to-Device Communications over a Cellular Network.; 52(6):98-107, 2014.
doi:10.1109/MCOM.2014.6829951.
- [57] Yang K, Wang M, Zou K, et al. Device discovery for multihop cellular networks with its application in LTE. *IEEE Wirel Commun.*21(5):24-34, 2014.
doi:10.1109/MWC.2014.6940430.
- [58] Hayat O, Ngah R, Zahedi Y. Device discovery for D2D communication in in-band cellular networks using sphere decoder like (SDL) algorithm. *Eurasip J Wirel Commun Netw.* 74(1), 2018;
doi:10.1186/s13638-018-1083-8.
- [59] Jarwan A, Sabbah A, Ibnkahla M, Issa O. LTE-Based Public Safety Networks: A Survey. *IEEE Commun Surv Tutorials.* 21(2):1165-1187, 2019.
doi:10.1109/COMST.2019.2895658.
- [60] Simic MB. Feasibility of long term evolution (LTE) as technology for public safety. In: 20th Telecommun. Forum (TELFOR),158–161, Srbistan, 2012.
- [61] Yuan H, Guo W, Wang S. Emergency route selection for D2D cellular communications during an urban terrorist attack. 2014 *IEEE Int Conf Commun Work ICC 2014*:237-242, Avustralya, 2014.
doi:10.1109/ICCW.2014.6881202.

- [62] Ali K, Nguyen HX, Shah P, Vien QT, Bhuvanasundaram N. Architecture for public safety network using D2D communication. In: 2016 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops, WCNCW 2016; 206-211, Katar, 2016:.
doi:10.1109/WCNCW.2016.7552700.
- [63] Wang X, Zhou H, Zhong L, et al. Capacity-aware cost-efficient network reconstruction for post-disaster scenario. IEEE 27th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC):1-6; İspanya, 2016.
doi:10.1109/PIMRC.2016.7794910.
- [64] Hossain MA, Ray SK, Lota J. SmartDR:A device-to-device communication for post-disaster recovery. J Netw Comput Appl.;171:102813, 2020.
doi:https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102813.
- [65] Rappaport TS. Wireless Communications: Principles and Practice (Prentice Hall Communications Engineering & Emerging Technologies Series), 2001.
- [66] Wu Y, Liu W, Wang S, Guo W, Chu X. Network coding in device-to-device (D2D) communications underlaying cellular networks. IEEE International Conference on Communications; (ICC):2072-2077, Birleşik Krallık-İngilere, 2015.
doi:10.1109/ICC.2015.7248631.
- [67] Marttin V, Yüzgeç U, Bayılmış C, Küçük K. A Novel Approach to D2D Discovery on PSN for Post- Disaster: Throughput Based Discovery Algorithm (TDA). Wirel Pers Commun.,2021
doi:https://doi.org/10.1007/s11277-021-08407-1.
- [68] Researcher I, Hentila L, Zhao X. WINNER II channel models IST-4-027756 WINNER II, 2008. Teknik Rapor, Erişim Tarihi: 15.05.2021.
- [69] Series P. ITU-R P.1411-6_Propagation Data and Prediction Methods for the Planning of Short-Range Outdoor Radiocommunication Systems and Radio Local Area Networks in the Frequency Range 300 MHz to 100 GHz P Series Radiowave Propagation. Vol 6.,2012. Teknik Rapor, Erişim Tarihi: 15.05.2021.
- [70] 3GPP TR 36843_Technical Specification Group Radio Access Network; Study on LTE Device to Device Proximity Services; Radio Aspects (Release 12),2014. Teknik Rapor, Erişim Tarihi: 15.05.2021.
- [71] Hamid M, Kostanic I. Path Loss Models for LTE and LTE-A Relay Stations.;1(4):119-126, 2013.
doi:10.13189/ujcn.2013.010401.

- [72] COST Action 231. Digital Mobile Radio towards Future Generation Systems, Final Report, Tech. Rep., European Communities, EUR 18957., 1999. Teknik Rapor, Erişim Tarihi: 15.05.2021.
- [73] Lee WCY. Mobile Communications Design Fundamentals. Kanada, John Wiley & Sons, Ltd; 1993.



EKLER

EK 1: MSNA Keşif Algoritması

```
function [output]= MSNA(D2D,sinr,C,EE)
% Maximum SINR with no limit on distance of discovery algorithm (MSNA)
% number of pairs
pairsnum=0;
mincom=0;
n=D2D/2;
tmp=sinr;
tmp( tmp<0 )=-inf;
index_i=0;
index_j=0;
% SINR degeri pozitif (>0) olan D2D eslesmeleri sayisi bulunuyor...
for i=1:1:D2D
    for j=1:1:D2D
        if tmp(i,j)>0 && tmp(j,i)>0
            pairsnum=pairsnum+1;
            tmp(i,j)=0; tmp(:,i)=0; tmp(j,:)=0;
        end
    end
end

tmp=sinr;
for i=1:1:D2D
    for j=1:1:D2D
        if tmp(i,j)>0 && tmp(j,i)>0
            if tmp(i,j)<=tmp(j,i)
```

```

        mincom(i,j)=tmp(i,j);
    else
        mincom(i,j)=tmp(j,i);
    end
end
end
end

active_pair1 = max(max(mincom));

for i=1:1:D2D
    for j=1:1:D2D
        if tmp(i,j)== active_pair1
            active_pair2=tmp(j,i); % aktif D2D çiftini buluyor...
            index_i=i; index_j=j;
        end
    end
end

outage_sinrx=(floor(n)-pairsnum)/floor(n);
outage_sinr=outage_sinrx*100;
output.outage_sinr = outage_sinr;
output.index = [index_i index_j];
output.pairs = [active_pair1 active_pair2];
output.pairsnum = pairsnum;
if index_i~=0
    output.capacity = C(index_i,index_j);
    output.energy = EE(index_i,index_j);
else
    output.capacity = 0;
    output.energy = 0;
end
end

```

EK 2: SDA Keşif Algoritması

```

function [output]= SDA(D2D,sinr,distD2D,C,EE)
% Shortest distance of discovery between D2D devices algorithm (SDA)
active_pair1=0;
active_pair2=0;
index_i=0;
index_j=0;
n=D2D/2;
countdist=0;
tmp = distD2D;
tmp(tmp==0) = Inf;
c = min(tmp,[],D2D);
[num idx] = min(c(:));
[q p] = ind2sub(size(c),idx);
if sinr(q,p)>0 && sinr(p,q)>0
    if sinr(q,p)<sinr(p,q)
        index_i=q; index_j=p;
    else
        index_i=p; index_j=q;
    end
    active_pair1=sinr(index_i,index_j);
    active_pair2=sinr(index_j,index_i);
    countdist=countdist+1;
    outage_sinrx=(floor(n)-countdist)/floor(n);
    outage_sinr= outage_sinrx*100;
    pairsnum=2;
else
    outage_sinr=100; % probability of finding active pair with respect to minimum
distance
    pairsnum=0;
end

```

```

output.outage_sinr = outage_sinr;
output.index = [index_i index_j];
output.pairs = [active_pair1 active_pair2];
output.pairsnum = pairsnum;
if index_i~=0
    output.capacity = C(index_i,index_j);
    output.energy = EE(index_i,index_j);
else
    output.capacity = 0;
    output.energy = 0;
end

```

EK 3: MSLA Keşif Algoritması

```

function [output]= MSLA(D2D,sinr,distD2D,threshold,C,EE)
% Maximum SINR with limit on distance of discovery = XXX m algorithm(MSLA)
n=D2D/2;
active_pair1=0;
active_pair2=0;
% threshold=threshold/1000;
pairsnum=0;
hypmincom=-inf;
tmp=sinr; tmp1=sinr;
index_i=0;
index_j=0;
for i=1:1:D2D
    for j=1:1:D2D
        if distD2D(i,j)<threshold && distD2D(j,i)<threshold
            if tmp(i,j)>0 && tmp(j,i)>0
                pairsnum=pairsnum+1;
                tmp(i,j)=0; tmp(:,i)=0; tmp(j,:)=0;
            end
        end
    end
end

```

```

        end
        if tmp1(i,j)>0 && tmp1(j,i)>0
            if tmp1(i,j)<=tmp1(j,i)
                hypmincom(i,j)=tmp1(i,j);
            else
                hypmincom(i,j)=tmp1(j,i);
            end
        end
    end
end
end
end
active_pair1=max(max(hypmincom));
if active_pair1 <= 0
    active_pair1=0;
else
    for i=1:1:length(sinr)
        for j=1:1:length(sinr)
            if tmp1(i,j)== active_pair1
                active_pair2=tmp1(j,i);
                index_i=i; index_j=j;
            end
        end
    end
end
end
end
outage_sinrx=(floor(n)-pairsnum)/floor(n);
outage_sinr=abs(outage_sinrx*100);
output.outage_sinr = outage_sinr;
output.index = [index_i index_j];
output.pairs = [active_pair1 active_pair2];
output.pairsnum = pairsnum;
if index_i~=0
    output.capacity = C(index_i,index_j);
end

```



```

        output.energy = EE(index_i,index_j);
    else
        output.capacity = 0;
        output.energy = 0;
    end
end

```

EK 4: TDA Keşif Algoritması

```

function [output]= TDA(D2D,throughput,C,EE)
% Maximum throughput with no limit on distance of discovery algorithm (MTA)
% number of pairs
pairsnum=0;
mincom=0;
n=D2D/2;
tmp=throughput;
tmp( tmp<0 )=-inf;
index_i=0;
index_j=0;
% throughput degeri pozitif (>0) olan D2D eslesmeleri sayisini bulunuyor...
for i=1:1:D2D
    for j=1:1:D2D
        if tmp(i,j)>1 && tmp(j,i)>1
            pairsnum=pairsnum+1;
            tmp(i,j)=0; tmp(:,i)=0; tmp(j,:)=0;
        end
    end
end

tmp=throughput;
for i=1:1:D2D
    for j=1:1:D2D
        if tmp(i,j)>1 && tmp(j,i)>1

```

```

        if tmp(i,j)<=tmp(j,i)
            mincom(i,j)=tmp(i,j);
        else
            mincom(i,j)=tmp(j,i);
        end
    end
end
end

active_pair1 = max(max(mincom));

for i=1:1:D2D
    for j=1:1:D2D
        if tmp(i,j)== active_pair1
            active_pair2=tmp(j,i); % aktif D2D çiftini buluyor...
            index_i=i; index_j=j;
        end
    end
end

outage_sinrx=(floor(n)-pairsnum)/floor(n);
outage_sinr=outage_sinrx*100;
output.outage_sinr = outage_sinr;
output.index = [index_i index_j];
output.pairs = [active_pair1 active_pair2];
output.pairsnum = pairsnum;
if index_i~=0
    output.capacity = C(index_i,index_j);
    output.energy = EE(index_i,index_j);
else
    output.capacity = 0;
    output.energy = 0;
end
end

```

EK 5: Girişim Hesabı Fonksiyonu

```

function [interference] = cal_interference_d2d(d2d_tr, d2d_rc, d2d_tp,pathloss, freq,
alpha, N_SC)

% constants
TOTAL_BS_POWER = d2d_tp;

%% calculate distances between users...
dist_users = abs(d2d_tr-d2d_rc);

%% calculate pathloss and shadowing
pathloss = alpha*10*log10(dist_users/1000) + 22.7 + 26*log10(freq);
shadowing = 4*ones(size(dist_users));

pathloss = kron(pathloss, ones(1,N_SC));
shadowing = kron(shadowing, ones(1,N_SC));
shadowing = shadowing.*randn(size(shadowing));

% calculate transmit power
t_p = TOTAL_BS_POWER - pathloss;

%% calculate interference power
% calculate shadowing
sub_power_array = 10.^((t_p+shadowing)./10);
% calculate h
tmp = logical(ones(size(dist_users)));
h = cal_fading_orig(20,12,0.8,0.8, length(d2d_tr),tmp, ~tmp, 1);

% final power array
interference = (abs(h)).^2.*sub_power_array;
end

```

EK 6: D2D Çiftlerinin Alınan Güç Hesabı Fonksiyonu

```

function d2d_rp = cal_power_d2d_pair(d2d_tr, d2d_rc, d2d_tp,pathloss, freq, alpha,
N_SC)

% constants
TOTAL_BS_POWER = d2d_tp;
FREQ = freq;

%% calculate distances between users and basestations.
dist_users = abs(d2d_tr-d2d_rc);

path_loss = 10*alpha*log10(dist_users/1000) + 22.7 + 26*log10(FREQ);
shadowing = 4*ones(size(dist_users));

path_loss = kron(path_loss, ones(1,N_SC));
shadowing = kron(shadowing, ones(1,N_SC));
shadowing = shadowing.*randn(size(shadowing));

% calculate transmit power
t_p = TOTAL_BS_POWER - path_loss;

% calculate shadowing
sub_power_array = 10.^((t_p+shadowing)./10);

% calculate h
tmp = logical(ones(1, length(dist_users)));
h = cal_fading_orig(20,12,0.8,0.8,length(d2d_tr),~tmp, tmp, 1);
% final power array
d2d_rp = (abs(h)).^2.*sub_power_array;
end

```

EK 7: SINR Dizi Fonksiyonu

```

function [SINR_array] = cal_SINR_orig(power_array, interference_array, N_SC,
BW)
%% CONSTANT
BOLTZ = 1.3806488e-23;

% CELL_IDX = kron(cell_idx, ones(1, N_SC));
%% get the idx which the user is not served by the cell
% tmp = max_idx - CELL_IDX;
% idx = (tmp < 0) & (tmp > 2);
% get users that are served by the cell
% max_power = max_power(idx);
% max_idx = max_idx(idx);
interference = sum(interference_array,1);
% sum_power_array = sum_power_array(idx);

%% [u1_sc1, u1_sc2,...u1_sc1200,u2_sc1...u2_sc1200,...u30_sc1200]
SINR_array = power_array ./ (interference + BOLTZ*293*BW/N_SC);
End

```

EK 8: Sinyal Zayıflama Etkisi Dizi Fonksiyonu

```

function [fading_array] = cal_fading_orig(n_ctlos, n_ctnlos, rho_los, rho_nlos, n,
los_idx_array, nlos_idx_array, n_base)
%% constants
% number of subcarriers
N_SC = 600;
% correlation parameter for los
RHO_LOS = rho_los;
% correlation parameter for nlos
RHO_NLOS = rho_nlos;

```

```

% n users in simulation
N_USER = n;

% How many base stations;
N_BS = n_base;

% calculate the number of correlation subcarriers.
n_corr_los = n_ctlos;
n_corr_nlos = n_ctnlos;

%% generate correlation array for los and nlos
% LOS
corr_array_los_part = repmat(RHO_LOS.^(0:n_corr_los-1),n_corr_los,1);
corr_array_los_part = corr_array_los_part ./ repmat((RHO_LOS.^(0:n_corr_los-1))',1,n_corr_los);
corr_array_los_part(corr_array_los_part > 1) = 0;
corr_array_los_part(2:end,:) = corr_array_los_part(2:end,:)*(1-RHO_LOS);
% i array of sparse matrix
i_vector = kron(1:N_SC, ones(1,n_corr_los));
j_vector = reshape(kron(reshape(1:N_SC, n_corr_los, N_SC/n_corr_los), ones(1, n_corr_los)), 1, N_SC*n_corr_los);
corr_array_los = sparse(i_vector, j_vector, repmat(reshape(corr_array_los_part',1,n_corr_los^2), 1, N_SC/n_corr_los));
% corr_array_los = sparse(kron(eye(N_SC/n_corr_los), corr_array_los_part));
% NLOS
corr_array_nlos_part = repmat(RHO_NLOS.^(0:n_corr_nlos-1),n_corr_nlos,1) ./ repmat((RHO_NLOS.^(0:n_corr_nlos-1))',1,n_corr_nlos);
corr_array_nlos_part(corr_array_nlos_part > 1) = 0;
corr_array_nlos_part(2:end,:) = corr_array_nlos_part(2:end,:)*(1-RHO_NLOS);
i_vector = kron(1:N_SC, ones(1,n_corr_nlos));
j_vector = reshape(kron(reshape(1:N_SC, n_corr_nlos, N_SC/n_corr_nlos), ones(1, n_corr_nlos)), 1, N_SC*n_corr_nlos);

```

```

corr_array_nlos          =          sparse(i_vector,          j_vector,
repmat(reshape(corr_array_nlos_part',1,n_corr_nlos^2), 1, N_SC/n_corr_nlos));
% corr_array_nlos = kron(eye(N_SC/n_corr_nlos), corr_array_nlos_part);

%% generate the correlation matrix. Need For loop for each Matrix
% set up h matrix
fading_array = ones(N_BS, N_SC*N_USER);
% set up user index array
user_idx = 1:N_USER;

% BEGIN FOR LOOP
for i = 1:N_BS
    los_idx = los_idx_array(:);
    nlos_idx = nlos_idx_array(:);
    % How many LOS users
    N_LOS = sum(los_idx);
    % group user by LOS and NLOS
    user_group_idx = [user_idx(los_idx),user_idx(nlos_idx)];
    raw_fading_array = sqrt(0.5)*randn(1, N_SC*N_USER)+sqrt(0.5)*randn(1,
N_SC*N_USER)*1j;
    % generate the los part
    for j = 1:N_LOS
        % generate raw_fading_array
        %          raw_fading_array = sqrt(0.5)*randn(N_SEC,
N_SC)+sqrt(0.5)*randn(N_SEC, N_SC);
        % original user index
        osi = user_group_idx(j);
        fading_array(i, (osi-1)*N_SC+1:osi*N_SC) = raw_fading_array((j-
1)*N_SC+1:j*N_SC) * corr_array_los;
    end
    % corr_matrix_los = kron(sparse(eye(N_LOS)), corr_array_los);
    % generate the nlos part

```

```

for j = N_LOS+1:N_USER
    % generate raw_fading_array
    %                                     raw_fading_array = sqrt(0.5)*randn(N_SEC,
N_SEC)+sqrt(0.5)*randn(N_SEC, N_SEC);
    % original user index
    osi = user_group_idx(j);
    fading_array(i, (osi-1)*N_SC+1:osi*N_SC) = raw_fading_array((j-
1)*N_SC+1:j*N_SC) * corr_array_nlos;
end
end
end

```


ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Vedat MARTTİN

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Doktora	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Bilgisayar ve Bilişim Mühendisliği	Devam ediyor
Yüksek Lisans	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Bilgisayar Mühendisliği	2014
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Teknik Eğitim Fakültesi / Elektronik Öğretmenliği (2004-2007)	2007
Lise	Kocaeli Üniversitesi / Teknik Eğitim Fakültesi / Elektronik Öğretmenliği (2001-2004)	
	Eskişehir Yunus Emre Teknik Lisesi	2000

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2010-Halen	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi	Öğretim Görevlisi
2010-2008	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	İdari Personel
2004-2008	Sakarya Üniversitesi	İdari Personel

YABANCI DİL

İngilizce

ESERLER (makale, bildiri, proje vb.)

1. Marttin V, Yüzgeç U, Bayılmış C, Küçük K. A Novel Approach to D2D Discovery on PSN for Post- Disaster: Throughput Based Discovery Algorithm (TDA). Wirel Pers Commun.,2021.
doi:<https://doi.org/10.1007/s11277-021-08407-1>.
2. Bayrak T, Marttin V, Yüzgeç U. Raspberry Pi based Object Detection and Drawing, Global Conference On Engineering Research (GLOB CER'21):194-201, Balıkesir, 2021.
3. Yılmaz B, Marttin V, Yüzgeç U. Deep Learning based Mask Detector for Coronavirus, Global Conference On Engineering Research (GLOB CER'21):212-221, Balıkesir,2021.
4. Marttin V, Yuzgec U, Bayilmis C, Kucuk K, D2D Communication and Energy Efficiency on LTE for Public Safety Networks. 3rd International Conference on Computer Science and Engineering. UBMK 2018:547-551, Bosna Hersek, 2018.
doi:10.1109/UBMK.2018.8566602.
5. Marttin V, Yüzgeç U, Bayılmış C. Device to Device (D2D) Communication Technologies for Post-Disaster Communication Afet Sonrası İletişim İçin Cihazdan Cihaza Haberleşme Teknolojisi. ISHAD2018 ;687-696,Sakarya, 2018.
6. Marttin V, Yüzgeç U, Bayılmış C. Yeni Nesil Mobil Kablosuz Ağlar : 4.5G Üzerine Bir Araştırma New Generation Mobile Wireless Networks, International Conference on Computer Science and Engineering, UBMK2016: 666-670, Tekirdağ, 2016.
7. Marttin V, İmal N. Yapay Sinir Ağları Kullanarak Bilgisayar Ağlarında Saldırı Tespit Sistemi Ve Başarımlarının İncelenmesi. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi; (11):21-40, 2015.
8. Marttin V, Pehlivan İ. ISO 27001 2005 Bilgi Güvenliği Yönetimi Standardı ve Türkiye'deki Bazı Kamu Kuruluşu Uygulamaları Üzerine Bir İnceleme. SDÜ Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi;1(1): 49-56, 2010.
9. İmal N, Özalp M., Marttin V. Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Öğrenci Profilleri. "Gelecek İçin Eğitim"-Elektrik Elektronik Bilgisayar Biyomedikal Mühendisliği Eğitimi 4.Ulusal Sempozyumu,EEBB09. Eskişehir, 2009.