T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

5G ve ÖTESİNDE HİZMET SÜREKLİLİĞİ İÇİN KARASAL OLMAYAN AĞLAR (NTN)

Yusuf İslam DEMİR

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Bahattin KARAKAYA

II. DANIŞMAN
Prof. Dr. Hüseyin ARSLAN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

Haziran, 2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Yusuf İslam DEMİR tarafından, **Dr. Öğr. Üyesi Bahattin KARAKAYA** danışmanlığında hazırlanan **5G ve ÖTESİNDE HİZMET SÜREKLİLİĞİ İÇİN KARASAL OLMAYAN AĞLAR (NTN)** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **15/06/2022** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	**Sonuç**
DANIŞMAN	Dr. Öğr. Üyesi Bahattin KARAKAYA İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa Telekomünikasyon Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Erdoğan AYDIN İstanbul Medeniyet Üniversitesi Haberleşme Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Serap CEKLİ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Telekomünikasyon Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmamın hazırlanmasında bilgi, birikim ve tecrübeleriyle rehberlik eden ve sorunları çözmemde, hatalarımı anlamamda destek veren Dr. Öğr. Üyesi Bahattin KARAKAYA, Prof. Dr. Hüseyin ARSLAN hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans boyunca bana maddi, manevi destek olan tüm hocalarıma ve İstanbul Medipol Üniversitesindeki CoSiNC topluluğundaki arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım süresince ve hayatım boyunca beni sabırla destekleyen başta eşim ve babam olmak üzere aileme şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim.

Haziran 2022 Yusuf İslam DEMİR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **ii**
TEŞEKKÜR ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **iv**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vi**
TABLO LİSTESİ ..... **vii**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **viii**
ÖZET ..... **xi**
ABSTRACT ..... **xiii**
1. GİRİŞ **1**
1.1. 5G ve ÖTESİNDE KARASAL OLMAYAN AĞLAR 1
1.2. NTN'LER İÇİN HİZMET SÜREKLİLİĞİNİN ÖNEMİ 2
1.3. MOTİVASYON 3
1.4. TEZ YAPISI 3
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE **4**
2.1. GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ 4
2.1.1. 5G ve Ötesi 6
2.2. KARASAL OLMAYAN AĞLAR 9
2.2.1. NTN Çeşitleri 10
2.2.2. 5G ve Ötesi Sistemlerde NTN Kullanım Senaryoları 13
2.3. HİZMET SÜREKLİLİĞİ 14
2.4. HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE HAREKETLİLİK KAVRAMI 15
2.5. DEVİR TESLİM TEKNİKLERİ 16
3. YÖNTEM **19**
3.1. SİSTEM MODELİ VE VARSAYIMLAR 19
3.2. NTN KANAL MODELLENMESİ 21
3.2.1. LoS Olasılıkları 21
3.2.2. Yol Kaybı Parametreleri ve Hesabı 23
3.3. KULLANICI HAREKETLİLİK MODELLERİ 27

3.3.1. Hafızasız Hareketlilik Modeli – Rastgele Yürüyüş Modeli 27
3.3.2. Hafızalı Hareketlilik Modeli – Düzgün Rastgele Hareketlilik Modeli 28
3.4. ALTERNATİF DEVİR TESLİM GERÇEKLEMELERİ 29
3.4.1. Ölçüm Tabanlı Devir Teslim 29
3.4.2. Mesafe/Konum Tabanlı Devir Teslim 30
3.4.3. Yükseklik Açısı Tabanlı Devir Teslim 30
3.4.4. Zamanlayıcı Tabanlı Devir Teslim 31
4. BULGULAR 33
4.1. FARKLI TETİKLEME SÜRELERİ İÇİN ÖLÇÜM TABANLI DEVİR TESLİM TEKNİĞİ SONUÇLARI 34
4.1.1. Sabit Kullanıcılar için Sonuçlar 34
4.1.2. Hareketli Kullanıcılar için Sonuçlar 35
4.2. MESAFE/KONUM TABANLI DEVİR TESLİM TEKNİĞİNİN SONUÇLARI 36
4.2.1. Sabit Kullanıcılar için Sonuçlar 37
4.2.2. Hareketli Kullanıcılar için Sonuçlar 37
4.3. YÜKSEKLİK AÇISI TABANLI DEVİR TESLİM TEKNİĞİNİN SONUÇLARI 38
4.3.1. Sabit Kullanıcılar için Sonuçlar 38
4.3.2. Hareketli Kullanıcılar için Sonuçlar 39
4.4. ZAMANLAYICI TABANLI DEVİR TESLİM TEKNİĞİNİN SONUÇLARI 40
4.4.1. Sabit Kullanıcılar için Sonuçlar 40
4.4.2. Hareketli Kullanıcılar için Sonuçlar 41
5. TARTIŞMA 43
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 44
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI 47

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: 5G kullanım senaryoları 8

Şekil 2.2: NTN diyagramı 11

Şekil 2.3: Geleneksel devir teslim modelleri 17

Şekil 3.1: Simülasyon senaryosu 19

Şekil 3.2: a) Karasal ağlarda sinyal gücü b) Karasal olmayan ağlarda sinyal gücü (3GPP 38.811'den alınmıştır) 20

Şekil 3.3: Farklı ortamlar için yol kaybının karşılaştırılması 20

Şekil 3.4: Yol kaybı, gölgeleme ve çok yollu kanalın mesafeye bağlı etkisi 23

Şekil 3.5: Uydu ve mobil kullanıcı arasındaki parametreler 25

Şekil 4.1: MATLAB simülasyon şeması 33

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Geçmişten günümüze haberleşme mobil haberleşme sistemlerinin özellikleri 7

Tablo 2.2: NTN çeşitlerinin özellikleri..... 12

Tablo 3.1: Farklı ortamlar için LoS olasılıkları..... 22

Tablo 3.2: Yoğun kentsel senaryo için gölge solması ve dağınıklık kaybı 26

Tablo 3.3: Simülasyon varsayımları ve parametreleri..... 32

Tablo 4.1: Farklı TTT değerleri için sabit kullanıcılar açısından ölçüm tabanlı tekniğin sonuçları 34

Tablo 4.2: Farklı TTT değerleri için hareketli kullanıcılar açısından ölçüm tabanlı tekniğin sonuçları 36

Tablo 4.3: Farklı ofset değerleri için sabit kullanıcılar açısından mesafe/konum tabanlı tekniğin sonuçları 37

Tablo 4.4: Farklı ofset değerleri için hareketli kullanıcılar açısından mesafe/konum tabanlı tekniğin sonuçları 38

Tablo 4.5: Farklı ofset değerleri için sabit kullanıcılar açısından yükseklik açısı tabanlı tekniğin sonuçları 39

Tablo 4.6: Farklı ofset değerleri için hareketli kullanıcılar açısından yükseklik açısı tabanlı tekniğin sonuçları 40

Tablo 4.7: Farklı ofset değerleri için sabit kullanıcılar açısından zamanlayıcı tabanlı tekniğin sonuçları 41

Tablo 4.8: Farklı ofset değerleri için hareketli kullanıcılar açısından zamanlayıcı tabanlı tekniğin sonuçları 41

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
α	: Yükseklik Açısı
α_{off}	: Yükseklik Açısı Ofseti
α_s	: Kaynak Uydunun Yükseklik Açısı
α_t	: Hedef Uydunun Yükseklik Açısı
d	: Kullanıcı ve Uydu arasındaki Mesafe
d_{off}	: Mesafe Osfeti
d_s	: Kaynak Uyduya Olan Mesafe
d_t	: Hedef Uyduya Olan Mesafe
f_c	: Taşıyıcı Frekansı
$f_v(v)$	: Kullanıcı Hızının Olasılığı
h_0	: Uydunun Yerden Yüksekliği
PL_b	: Temel Yol Kaybı
PL_e	: Yapı Kaynaklı Girişim Kaybı
P_{fluc}	: Dalgalanma Kaybı
PL_g	: Atmosferik Gazlardan Kaynaklı Kayıp
PL_s	: Işıldama Kaybı
PL_{tot}	: Toplam Yol Kaybı
R_E	: Dünya Yarıçapı
t_{off}	: Zamanlama Ofseti
$V(t)$	: Kullanıcının Zamana Bağlı Hızı
V_{max}	: Kullanıcının Maksimum Hızı
V_{min}	: Kullanıcının Minimum Hızı
V_{pref}	: Kullanıcının Referans Hızı
Q_t	: Hedef Uydu Sinyal Gücü
Q_s	: Kaynak Uydu Sinyal Gücü
Q_{hyst}	: Sinyal Gücü Histerezis (Eşik) Değeri
Q_{off}	: Sinyal Gücü Ofseti

Kısaltmalar	Açıklama
3GPP	: Üçüncü Nesil Mobil İletişim Ortaklık Projesi
CDMA	: Kod Bölmeli Çoklu Erişim
CHO	: Koşullu Devir Teslimi
CL	: Dağınıklık Kaybı
EIRP	: İzotropik Olarak Yayılan Güç
eMBB	: Gelişmiş Mobil Geniş Bant
FSPL	: Sinyalin Boş Alanındaki Yol Kaybı
GEO	: Yer Sabit Dünya Yörüngesi
GSM	: Küresel Mobil Haberleşme Sistemi
HAPS	: Yüksek İrtifa Platformları
HO	: Devir Teslim
IoT	: Nesnelerin İnterneti
ITU	: Uluslararası Telekomünikasyon Birliği
İHA	: İnsansız Hava Araçları
LEO	: Alçak Dünya Yörüngesi
LoS	: Açık Görüş Hattı
LTE	: Uzun Vadeli Evrim
MEO	: Orta Dünya Yörüngesi
MIMO	: Çoklu Giriş Çoklu Çıkış
mMTC	: Devasa Makine Tipi İletişim
mmWAVE	: Milimetre Dalga
NLoS	: Açık Olmayan Görüş Hattı
NTN	: Karasal Olmayan Ağlar
OFDM	: Ortogonal Frekans Bölmeli Çoğullama
PL	: Yol Kaybı
PP HO	: Pinpon Devir Teslim
QoS	: Hizmet Kalitesi
RLF	: Radyo Bağlantı Hatası
RSRP	: Referans Alınan Sinyal Kalitesi
RSS	: Radyo Sinyal Gücü
RSSI	: Alınan Sinyal Gücü Göstergesi
RWL	: Rastgele Yürüyüş Modeli

SF	: Gölge Solması
SINR	: Sinyal Parazit Gürültü Oranı
TTT	: Tetikleme Süresi
UAS	: İnsansız Hava Aracı Sistemleri
UAV	: İnsansız Hava Aracı
UE	: Kullanıcı Ekipmanı
UMTS	: Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi
URLLC	: Ultra Güvenilir ve Düşük Gecikmeli İletişim

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

5G ve ÖTESİNDE HİZMET SÜREKLİLİĞİ İÇİN KARASAL OLMAYAN AĞLAR (NTN)

Yusuf İslam DEMİR

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Bahattin KARAKAYA

II. Danışman : Prof. Dr. Hüseyin ARSLAN

5G ve Ötesi sistemler, karasal olmayan ağlarla beraber (NTN), hizmet verilmeyen ve izole alanlara iletişimini getirmeyi amaçlıyor. Düşük dünya yörüngeli (LEO) uyduları, NTN ve 5G aracılığıyla gerçekten sorunsuz ve her yerde kapsama alanı sağlamak için önemli bir teknoloji olarak ortaya çıktı. Karasal ağlara nazaran değişken ve daha fazla yayılma gecikmesine ve sınırlı radyo kalitesi yüzünden ve yüksek hareketlilikten kaynaklanan sorunları ortaya koymaktadır. Ancak NTN, özellikle de LEO'lar uydunun yerdeki hareketinden dolayı kapsama alanı değişikliğini ortaya çıkarmakla beraber artan devir sayısı (HO) gibi sorunları ortaya çıkarmaktadır.

Bu tez çalışmasında, ölçüm tabanlı HO mekanizmasını, mesafe/konum, yükseklik açısı ve zamanlayıcı tabanlı yöntemler gibi diğer alternatiflerle, HO sayısı, pinpon HO'ları ve radyo bağlantı arızaları (RLF) açısından karşılaştırıyoruz. Sağlam hizmet sürekliliğini ve tatmin edici kullanıcı deneyimini arttırmak için bu parametreler yorumlanmaktadır. 3GPP modelindeki parametrelere göre gerçekleştirilen simülasyonlar, histerezis/ofset ve tetikleme süresi

değerlerinin kullanılmasıyla, ölçüme dayalı tekniğin diğer alternatiflerden daha iyi olabileceğini göstermektedir. Ayrıca, bu çalışma ile ilgili temel sorunları odaklanıp geleceğe yönelik yönlendirmeler de sonda verilmiştir.

Haziran 2022 , 61 sayfa.

Anahtar kelimeler: 5G ve Ötesi, Devir Teslim (HO), Karasal Olmayan Ağlar (NTN), Radyo Bağlantı Hatası (RLF), Düşük Dünya Yörüngesi (LEO), Hizmet Sürekliliği

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

NON-TERRESTRIAL NETWORK (NTN) FOR SERVICE CONTINUITY IN 5G AND BEYOND

Yusuf İslam DEMİR

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical and Electronics Engineering

Electrical and Electronics Engineering Program

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Bahattin KARAKAYA

Co-Supervisor : Prof. Dr. Hüseyin ARSLAN

5G and Beyond systems aim to bring communication to unserved and isolated areas along with non-terrestrial networks (NTN). It has emerged as an important technology for providing truly seamless and ubiquitous coverage via low earth orbit (LEO) satellites, NTNs and 5G. It presents problems due to variable and higher propagation delay and limited radio quality and high mobility compared to terrestrial networks. However, NTNs, especially LEOs, introduce coverage variation due to the movement of the satellite on the ground, but also introduce problems such as increased handovers (HO).

In this thesis, we compare the measurement-based HO mechanism with other alternatives such as distance/position, altitude angle, and timer-based methods in terms of HO number, ping-pong HOs, and radio link failures (RLF). These parameters are interpreted to increase solid service continuity and satisfactory user experience. Simulations performed according to the parameters in the 3GPP model show that the measurement-based technique can be better than

other alternatives by using hysteresis/offset and trigger time values. In addition, the main problems related to this study are focused and future directions are given at the end.

June 2022, 61 pages.

Keywords: 5G and Beyond, Handover (HO), Non-Terrestrial Networks (NTN), Radio Link Failure (RLF), Low Earth Orbit (LEO), Service Continuity

1. GİRİŞ

1.1. 5G ve ÖTESİNDE KARASAL OLMAYAN AĞLAR

Karasal olmayan ağlar (NTN), uçan nesneleri içeren herhangi bir ağ için kullanılan genel bir terimdir. 2021 boyunca, beşinci nesil (5G) dağıtım ve kullanım durumları, düzinelerce karasal ağ operatörü ile dünya genelinde istikrarlı bir şekilde artmaya devam ediyor. Başlangıçta 5G hizmetleri tüketicilere akıllı telefonlarla sunulurken, şebeke operatörleri tarafından da 5G hizmetlerinin kurumsal ve Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Devasa Makine Tipi İletişim (mMTC) cihazlarına sunulması yönünde önemli bir istek var. Hizmet sürekliliğine yönelik talebin, ağ gelişimini ve geleneksel olmayan alanlara doğru genişlemeyi daha da ileri götürmesi bekleniyor. NTN araştırma odağının kademeli olarak değişmesinin ve altıncı nesil (6G) sistemlere giden 5G ve ötesine yönelik endüstriyel baskının bir parçası olmuştur.

Karasal olmayan ağlar, 5G'nin mevcut karasal altyapısı olmayan dünyanın uzak köşelerine erişimini arttıracak. Uydular, balonlar, insansız hava araçları gibi diğer yüksek irtifa platformlarının kullanılması, mobil ağ operatörlerinin altyapısı olmayan yerlere 5G hizmeti sunmasını sağlayabilir. Mevcut baz istasyonlarının yeterli olmadığı bölgelerde NTN konuşlandırılarak karasal ağlara destek verilerek kapsama alanı artırılabilir.

Uydu tabanlı iletişim, gelecekte 5G hizmetleri sunmak ve dijital uçurumu kapatmak için iletişim altyapısından yararlanmada potansiyel olarak önemli bir rol oynayabilir. Genel olarak, uydu tabanlı mimari, toplu olarak 36.000 km ile 400 km arasında değişen irtifalarda kapsama sağlayabilen Yer Sabit Dünya Yörüngesi (GEO), Orta Dünya Yörüngesi (MEO) ve Alçak Dünya Yörüngesi (LEO) sistemlerinden yararlanır. Bu uydular ya sabit olabilir ya da hizmet sağlamak için takımyıldızlar şeklinde dünya çevresinde yörüngede dönebilirler. Genel olarak, dikkate alınması gereken farklı uydu sistemleri (LEO, MEO, GEO) arasında performans ve dağıtım maliyetinde bağlantılar mevcuttur.

5G ve ötesi bağlamında NTN, Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) tarafından tanımlanan Gelişmiş Mobil Geniş Bant (eMBB), mMTC ve Ultra Güvenilir ve Düşük Gecikmeli İletişim (URLLC) kullanım senaryolarının tümünü destekler. Uydu yayılım gecikmeleri ve güvenilirlik, kullanılabilirlik ve gecikme gibi katı URLLC gereksinimleri

nedeniyle URLLC hizmetleri sağlamak zorlu bir görev olabileceğinden, Rinaldi ve diğ. [1]'de NTN kullanım tanımı için temel olarak eMBB ve mMTC'yi ana 5G hizmet sağlayıcıları olarak görmektedir. eMBB hizmetlerinde NTN hizmet verilmeyen yetersiz alanlarda geniş bant bağlamanın yanı sıra karasal ve karasal olmaya sistemleri birleştirerek ağ esnekliği sunmaya çalışır. NTN hem geniş hem de yerel IoT hizmetleri için bağlantıyı destekler. Bu nedenle, NTN, 5G hedeflenen performans (yani, deneyimli veri hızı ve güvenilirlik) açısından kentsel ve kırsal alanlara göre faydalar sunmayı ve ayrıca yetersiz hizmet verilen alanlarda bağlantı sağlamayı amaçladığından 5G sitemleri ile doğrudan ilgilidir. Bu yararlar göz önüne alındığından 5G ve Ötesi sistemlerin NTN senaryoları için kullanılması aşikâr olarak büyük katkı sağlamaktadır.

1.2. NTN'LER İÇİN HİZMET SÜREKLİLİĞİNİN ÖNEMİ

NTN, 5G ve ötesi sistemlerinde hizmet sürekliliğini garanti etmek için çok önemlidir. Bir NTN sistemi, 5G haberleşmenin hedefi olan performanslar (yani, deneyimli veri hızı ve güvenilirlik) açısından özellikle kentsel ve kırsal alanlarda fayda sağlar, çok yoğun kalabalıklarda (konserler, stadyumlar, şehir merkezleri, alışveriş gibi) bağlantıyı garanti eder.

5G ve ötesi gelecek nesil mobil kablosuz iletişim sistemlerini ifade eder. Bu yeni nesil sistemlerin vizyonu, büyük kapasiteye (1000 kata kadar) ve yüksek bağlantılara ulaştırmaktır. 5G ağlarının, daha iyi spektrum ve enerji verimliliğinin yanı sıra gecikme, güvenilirlik açısından Hizmet Kalitesi (QoS) elde etmek için önemli ölçüde büyük miktarda mobil veri trafiğini ve çok sayıda kablosuz bağlantıyı desteklemesi bekleniyor. Ayrıca 5G ağlarının yüksek hareketlilik senaryolarının çözüm olması beklenmektedir. Örneğin 500 km/s'ye kadar hızlarda hareket eden mobil kullanıcılara çok iyi hizmet sunacaktır. Bu kullanıcılardan biri olan yüksek hızlı trenler gibi uygulamalar için yüksek hareketlilik, güvenilir bağlantı, hizmet sürekliliği ve aksi takdirde uzak/izole alanlarda kapsama alanı gibi endişeleri gündeme getiriyor. Son zamanlarda, karasal ağlara kıyasla esnek dağıtımları ve daha geniş kapsama alanı nedeniyle NTN'lerin bu endişeleri gidermesi önerildi. Bu özellik, NTN'lerin denizcilik ve havacılık gibi çeşitli senaryolarda uygulanabilmesinin yanı sıra IoT ve mMTC uygulamaları için gereken büyük çaplı bağlantıyı desteklemesine olanak tanır. Ayrıca, 5G NTN'nin, mobil kullanıcılara ulaşımı için çok noktaya yayın kaynaklarının sağlanması nedeniyle ağ ölçeklenebilirliğinin sağlanmasının verimli bir çözüm olmasını bekliyor [2].

Sonuç olarak NTN, geniş alan kapsamı, hizmet sürekliliği ve kullanılabilirlik sayesinde geleneksel hücresel haberleşme altyapısında yüksek bir ilerleme kaydederek elde edilen faydaları vaat ediyor. Bu vaatler ışığında yazılan bu tez çalışması karasal olmayan ağlar tarafından desteklenen yüksek hızlı kullanıcılar için hizmet sürekliliği mekanizmalarına odaklanacaktır. Karasal olmayan ağlarda hizmet sürekliliği mekanizmaları geliştirilerek, 5G ve ötesi sistemlerde literatüre katkı sağlanmış olunacaktır.

1.3. MOTİVASYON

Bu tez çalışmasının arkasındaki motivasyon, son yıllarda karasal olmayan ağlara gösterilen ilgiden kaynaklanmaktadır. 5G karasal olmayan ağlar iki ana nedenden dolayı gerekli hale gelir. Bunlardan ilki, kapsama alanının olmadığı, altyapının imkansızlığı nedeniyle (kırsal alanlar, deniz senaryoları v.b) veya imkânın olduğu ancak ekonomik kolaylığın olmadığı durumlarda uydu bağlantısının vazgeçilmez hale gelmesidir. İkinci neden ise yüksek mobilite gereken yerlerde istenilen veri trafiğinin sağlanmasıdır. Karasal olmayan ağlar, doğal afetler veya saldırılar nedeniyle hizmet kesintilerine maruz kalabilecek karasal iletişimlerden farklı olarak, arıza riskini göze alamayan kritik görev uygulamalarında hizmet sürekliliğini garanti eder. Mobil kullanıcılar ve IoT cihazlarının çeşitli durumlarındaki kısıtlamalarından ötürü karasal olmayan ağlar, kendi aralarında çeşitli mekanizmalara dayanarak devir teslim (handover) gerçekleştirerek mobil kullanıcıların sürekli iletişimde kalmasını sağlar. Bu süreçte yapılacak devir teslimin hangi durumlarda daha iyi sonuçlar verdiğini ve hizmet kalitesi açısından hangi mekanizmaların kullanılabileceği yorumlanacaktır. Yapılacak tez çalışmasında bu mekanizmalardan değerlendirilerek hizmet sürekliliği sağlanması esas alınacaktır.

1.4. TEZ YAPISI

Bu tezin ana hatları şu şekildedir: Bölüm 2'de, NTN ve hizmet devamlılığı için önemli kavram ve parametreleri açıklayarak, tezin ana giriş yapılacaktır. Bölüm 3'te simülasyon çalışması yapılmış olan model için sistem parametreleri ve yöntemler tanıtılacaktır. Bölüm 4'te simülasyonlardan elde edilen sonuçlar analiz edilecektir. Bölüm 5’te literatürdeki diğer örneklerden farkları ve katkıları anlatılacaktır. Bölüm 6’da ise tez çalışması için sonuçlardan bahsedilip ve gelecekteki çalışmalar için bir taslak verilecektir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde sistem modelinin anlatımına geçmeden önce temel mobil haberleşme sistemlerinden bahsedip ardından Karasal Olmayan Ağlar ve hizmet sürekliliğinden, NTN'ler de hareketlilik sorunlarından ve bu sorunları çözebilmek adına yapılan devir-teslim (HO) mekanizmaları hakkında gerekli konularda bilgiler verilmiştir.

2.1. GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ

Kablosuz mobil haberleşmenin amacı, tıpkı kablolu iletişim gibi yüksek kaliteli, güvenilir iletişim sağlamaktır ve her yeni nesil hizmet bu yönde büyük bir adımı (daha ziyade bir sıçramayı) temsil eder. Bu evrim yolculuğu 1970'ler de 1G'den başladı ve hala 5G'ye devam ediyor. Her nesil farklı bir teknolojiler bir üst seviyeye taşıyarak şu an günümüzde kullandığımız hale geldi.

Birinci nesil (1G), cep telefonlarının ilk ortaya çıkışı oldu. Birinci nesil mobil ağlar, 1970'te tanıtılmaya başladı. 1980'ler den itibaren de boyunca tam olarak uygulamaya başladı. 1987'de Telecom (bugün Telstra olarak bilinir) firması tarafından tanıtıldı. Peral-Rosado ve diğ. [3]'de bahsettiği üzere 1G bir analog haberleşme teknolojisidir ve kullanılan cihazlardaki genellikle pil ömrü zayıftı ve ses kalitesi çok güvenli olmadan yüksekti ve bazen aramaların kesilmesiyle karşılaşabiliyordu.1980'ler de ortaya çıkan ikinci nesil (2G) dijital telekomünikasyon ile değiştirilene kadar devam eden analog haberleşmenin bir ürünüdür. 1G'nin sağladığı maksimum hız saniyede 2,4 kilo bittir.

Cep telefonları en büyük gelişmesini 1G'den 2G'ye geçtiğinde aldı. 1G ve 2G arasındaki fark, 1G haberleşmesinin tarafından kullanılan radyo sinyallerinin analog, 2G haberleşme sistemlerinin ise dijital olmasıdır. 2G'nin temel amacı, güvenli ve güvenilir bir haberleşme oluşturmaktı. 2G'de Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA) ve mobil haberleşme için Küresel Mobil Haberleşme Sistemi (GSM) konseptini hayata geçirildi. 2G hücresel haberleşme ağları, 1991 yılında Radiolinj (bugün Elisa Oyj olarak bilinir) tarafından GSM standardı olarak ortaya çıktı [4]. 2G'nin özellikleri, çoğullama yoluyla tek bir kanalda birden fazla kullanıcının

haberleşmesine izin verilerek elde edilir. 1G'den 2G'ye teknolojideki ilerleme, konferans aramaları, arama bekletme gibi bugün hala kullandığımız temel hizmetleri oluşturmuştur.

3G, şu an bildiğimiz ve sevdiğimiz kablosuz teknolojinin çoğu için standartları belirlemiştir. 21. yüzyılın ilk yıllarında 3G hizmetlerinin geliştirilmesi hem güvenilirlik hem de sesli aramalar ve yazılı mesajlaşma için kapsama alanı ve aynı zamanda internete çok daha hızlı erişim sağlaması açısından ileriye doğru atılmış büyük bir adımdı. 3G standardı, çekirdek ağ mimarisi olarak Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi (UMTS) adlı yeni bir teknolojiyi kullanır. Yaygın 3G'nin tanıtılması, " mobil geniş bant" teriminin benimsenmesine yol açtı, çünkü bu, interneti hareket halindeyken kullanmak ilk kez gerçekçi bir seçenek haline geldi; örneğin, bir trende veya bir arabada yolcu olarak. 3G hizmetleri, "hücresel" tabanlı bir teknoloji kullanarak çalışır; sinyaller telefon kulesinden telefon kulesine iletilir ve ardından telefona en yakın kule sinyali ona iletir. Bu kuleler, yaygın, güçlü ve güvenilir bir sinyalin mevcut olmasını sağlar. Bu aynı zamanda, hareket halindeyken, sinyal kuleden kuleye değişirken ve bir kuleden çok uzaklaştıkça hizmette düşüşler olabileceği anlamına gelir.

4G, 3G'den çok farklı bir teknolojidir ve pratik olarak ancak son 10 yılda teknolojideki gelişmeler sayesinde mümkün olmuştur. Hız ve güvenilirlik, 4G'nin en önemli avantajlarından ikisidir. Boyunca daha fazla trafiğe izin verir (çok fazla kullanıcıdan kaynaklanan tıkanıklığı önler) ve 3G'den çok daha güvenilirdir. 4G'yi kullanarak işletmeler güvenilir, öngörülebilir bir iletişim aracının keyfini çıkarabilirler. Kırsal alanlarda bulunan işletmeler genellikle yavaş geniş banttan muzdariptir ve bu da üretkenliği ve hizmet sunma becerinizi etkileyebilir. 4G, hala yüksek hızlı geniş bant bekleyen bölgelerde bulunan işletmeler için etkili bir geçici önlem olmaktaydı. Bunu mümkün kılan temel teknolojiler Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (MIMO) ve Ortogonal Frekans Bölmeli Çoğullamadır (OFDM). İki önemli 4G standardı, WiMAX ve Uzun Vadeli Evrimdir (LTE). LTE, mevcut UMTS teknolojisine yapılan bir dizi yükseltmedir ve mevcut 1800 MHz frekans bandında kullanıma sunulmuştur [5]. 4G ağının maksimum hızı, cihaz hareket halindeyken saniyede 100 mega bit veya 1000 mega bittir, örneğin dururken veya yürürken düşük hareketlilikten kaynaklanan gecikme süresi yaklaşık 300 milisaniyeden 100 milisaniyenin altına düşürülür ve kesintiyi önemli ölçüde azaltır. 4G, 3G ve 2G ağı üzerinden iletişim kurabilir.

Artan kullanıcı ihtiyacını karşılamak ve daha iyi kapsamı sağlamak için 4G'yi geliştirerek beşinci nesil (5G) haberleşme sistemleri ortaya konmuştur. Hem güncel olması hem de NTN'ler

ile bulanabilme durumundan ötürü bu tez çalışmasında 5G ve ötesi sistemleri ele aldık. Bölüm 2.1.1. de konu ile alakalı güncel bilgiler vermeye çalışılmıştır.

2.1.1. 5G ve Ötesi

Beşinci nesil (5G) haberleşme sistemleri, diğer nesillerden farklı olarak önemli ölçüde daha hızlı veri hızları, daha yüksek bağlantı yoğunluğu, çok daha düşük gecikme süreleri vaat ediyor. 5G için bazı planlar arasında cihazdan cihaza iletişim, daha iyi pil tüketimi ve genel kablosuz kapsama alanının iyileştirilmesi yer alıyor. 5G'nin maksimum hızı, 4G'den 35 kat daha hızlıdır [3]. 5G, önceki GSM, UMTS ve LTE mobil telekomünikasyon standartlarının halefidir. Geliştirme ve standardizasyon, 3GPP standartlar organizasyonu tarafından yürütülmektedir ve henüz sonuçlanmamıştır. Yeni iletişim standardı, dijital telefon ve hızlı mobil internetin çok ötesine geçiyor. Akış, büyük veri ve IoT gibi şeyler tarafından yönlendirilen dijitalleşme sürecinde dünya çapında artan veri trafiğine bir yanıt olarak görülüyor. 5G'nin veri hızı, ağ kapasitesi, yanıt süresi, güvenilirlik ve veri güvenliği açısından yeni standartlar belirlemesi ve ilk kez gerçek zamanlı veri iletişimine olanak sağlaması bekleniyor. Bu, IoT, kendi kendini süren arabalar IoT alanlarında olduğu gibi birçok yeni uygulama olanağı vaat ediyor. LTE ile karşılaştırıldığında, 5G için yeni frekans aralıkları ve çok daha fazla anten kullanılıyor. LTE özellikle 3 GHz'in altındaki bantları kullanırken, 5G frekans aralığı 6 GHz'e kadar uzanır ve uzun vadede 24 GHz'den maksimum 100 GHz'e kadar olan frekansları içerecek şekilde genişletilecektir. Bu, veri iletimi için önemli ölçüde daha fazla bant genişliğinin mevcut olduğu anlamına gelir. Bununla birlikte, yaygın 5G kapsama alanı, LTE'den önemli ölçüde daha fazla baz istasyonu gerektirir. Bunun nedeni, bir frekans ne kadar yüksek olursa, üzerinden o kadar fazla veri gönderilebilir. Bununla birlikte, aynı zamanda, aralık orantılı olarak azalır. Teorik olarak 5G teknolojisi, 20 Gbit/s'ye varan veri hızlarına ve dolayısıyla önceki nesle göre 20 kata kadar daha hızlı veri iletimine olanak tanır. Aynı zamanda 5G, bir milisaniyeden daha kısa gecikme süreleri vaat ediyor ve bu da ilk kez gerçek zamanlı veri iletişimine izin veriyor. Enerji tüketiminin de 4G'ye göre daha düşük olması bekleniyor ve kilometrekare başına 1000 kata kadar daha fazla cihazı ağa bağlamak mümkün olmalıdır. Bu, profesyonel ve özel ortamlarda çok sayıda yeni uygulama olanağı sunar.

5G de 4G'ye benzer çalışır, ancak daha yüksek radyo frekansları kullanır. Bu, çok daha fazla bilgiyi çok daha hızlı bir şekilde taşımasını sağlar. 5G, girişimi azaltmak için 4G gibi OFDM'e dayanmaktadır. 5G ayrıca 6 GHz altı ve Milimetre Dalga (mmWave) gibi daha geniş bant

genişliği kullanır. Bu, çok daha yüksek derecede esneklik ve ölçeklenebilirlik sağlamak için OFDM'yi daha da geliştirmeye olanak tanır.

Tablo 2.1: Geçmişten günümüze haberleşme mobil haberleşme sistemlerinin özellikleri

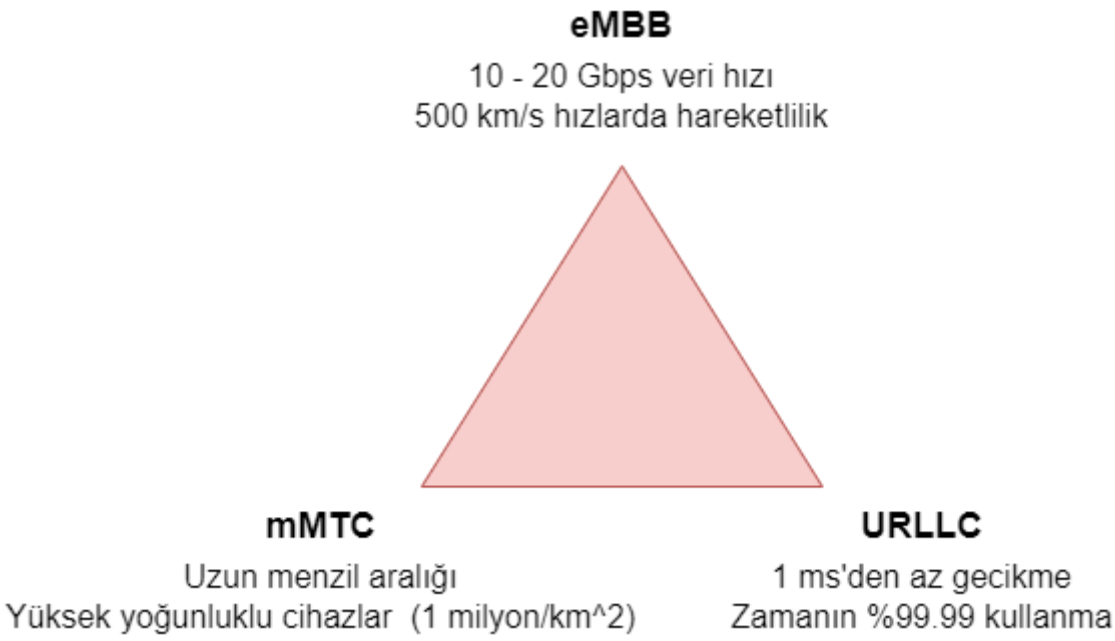
Özellikler	**1G**	**2G**	**3G**	**4G**	**5G**
Tanıtım Yılı	1970/1984	1993/1999	1995/2002	2000/2010	2010/2015
Teknoloji	AMPS	GSM	WCDMA	LTE, WiMAX	MIMO, mmWAVE
Frekans	30 KHz	1.8 KHz	2 GHz	2-8 GHz	3-30 GHz
Erişim Sistemi	FDMA	TDMA CDMA	CDMA	CDMA	OFDM, BDMA
Anahtar Tipi	Devre	Devre	Paket	İnternet	İnternet
Bant Genişliği	2 kbps	64 kbps	2 Mbps	2000 Mbps – 1 Gbps	1 Gbps ve üstü

Tablo 2.1’ de 5G ve öncesi mobile haberleşme teknolojilerine ait özet bilgiler verilmiştir. Buna dayanarak 5g ve Ötesi sistemlerinin özelliklerinin MIMO ve mmWAVE gibi teknolojileri desteklediği gözükmektedir. 5G, 4G LTE'ye kıyasla yalnızca daha hızlı ve daha iyi mobil geniş bant hizmetleri sunmak için değil, yeni alanlara da olanak tanımaktadır. Dolayısıyla bugüne kadar bireysel olan internetin daha çok endüstriyel internete dönüşmesi beklenmektedir. Ancak endüstriyel alanlarda akıllı şebekeler henüz tam olarak hayata geçirilmiş değil. Son otuz yılda mobil iletişim, basit bir analog sinyalden çok güçlü multimedya sistemlerine evirilerek günlük yaşam tarzlarını derinden etkileyen ve toplumun ilerlemesine katkı sağlamıştır. Mobil internet ve IoT geleceğin iletişiminin iki önemli unsurudur. 5G, sosyoekonomik dönüşümleri desteklerken tamamen bağlantılı ve mobil bir toplum sağlayacaktır. Giordani ve diğ. [6]’ da bahsettiği üzere 2020'lerde kullanılmaya başlanan 5G teknolojisi ve ötesi, mevcut 5G teknolojisinden daha yüksek bant genişliği ve daha düşük gecikme süresi sunarak 1 milisaniyeden daha kısa gecikme süresine ve milyarlarca cihazı bağlamaya olanak tanır. 5G mobil haberleşme sistemleri sürdürülebilir ve yenilikçi bir vizyon sunmaktır. Bu vizyon

ışığında şu anda güncel sistem olan 5G ve Ötesi sistemleri kullanarak NTN ara yüzüne entegre edilerek daha fazla kapsamı alanı ve veri hızı sağlanmaktadır. Bu başlık altında 5G ve ötesinde sistemlerden bahsettikten sonra kullanım senaryolarına bakacağız.

2.1.1.1. 5G ve Ötesi Sistemlerde Kullanım Senaryoları

Kullanım senaryoları, 5G teknolojisinin geliştirilmesinde ve buna bağlı 5G standartları geliştirme sürecinde ayrılmaz unsurlardır. Farklı kullanım durumlarının farklı ağ gereksinimleri olacaktır. Bu nedenle iş planları ve ağ yükseltmeleri birlikte hareket etmek zorundadır. 5G'nin kullanım senaryoları, gereksinimleri ve standartlarını belirleyen organlardan olan Üçüncü Nesil Mobil İletişim Ortaklık Projesi (3GPP) tarafından tanımlandı. 5G ağları, kullanıcının çeşitli Ağ İletişimi Hizmet Kalitesi (QoS) gereksinimlerine uyacaktır. 5G için önerilen üç ana kullanım durumu mevcuttur. Şekil 2.1' de bu durumlar kısaca verilmiştir.



Şekil 2.1: 5G kullanım senaryoları

Bunlardan durumlardan ilki eMBB, daha hızlı bağlantı kurulumu ve kapsamı ile hücre ucunda bile çok yüksek hızlı veri hızı ve kapasite sağlar. Örnekler, sanal gerçeklik ve yüksek doğrulukta tıbbi uygulamalar gibi gerekli performansı sağlamak için yüksek kaliteli video indirme, 3D oyun, canlı video akışı ve diğer birçok veri senaryosunu içerir. Nokia, 2020'den 2030'a kadar, mobil geniş bant uygulamalarına göre trafik gereksinimlerinde 10.000 kata kadar ciddi bir artış olabileceğini öngören bir tahminde bulunuyor [7]. İkinci önemli durum ise mMTC, on milyarlarca bağlı cihaz ve sensör içeren 5G tabanlı IoT senaryosudur. Akıllı ev otomasyonu,

akıllı giyilebilir cihazlar, akıllı cihazlar ve zamanla 5G'nin gelişmesiyle gelişecek çok daha fazlası gibi çok sayıda küçük veri paketi tabanlı uygulamayı destekliyorlar. Minimum gecikme ile hızlı iletişim gerektiren çok önemli uygulamalar düşük gecikmeli ve ultra güvenirlikli durumlar gerektirmektedir. Bunlara örnek olarak, uzaktan cerrahi ve kazaları önlemek için anında tepki veren kendi kendini süren arabalar gibi otonom araç iletişimleridir. Bu veriler, analiz için ortaya çıkan makine öğrenimi ve yapay zekâ kavramlarını kullanan 5G endüstriyel ve tıbbi uygulamalar için son derece güvenilir olmalıdır.

Üçüncü önemli durum ise URLLC, 5G sistemlerinde bir milisaniye veya daha düşük son derece düşük gecikme süreleri sunmak için son derece güvenilir bağlantının (%99,99 güvenilir) sağlanması gereken durumlara verilen isimdir. Panwar ve diğ. [8]'de bahsettiği gibi URLLC için, 5G ağlarının genel olarak bilinen yüksek veri hızları gerekli değildir, bunun yerine odak noktası, düşük veri hızlarında bağlantının güvenilirliği ve hızıdır. 5G ağları, yüksek, orta ve düşük frekans bantları dahil olmak üzere çeşitli frekans seviyelerinde çalışabilir. Daha yüksek frekanslar, daha yüksek veri hızları ve daha düşük gecikme süreleri dahil olmak üzere daha iyi genel performans sunar. Dolayısıyla, kendi kendini süren aracı bir kullanım örneği olarak alırsak, araç ile ağ arasındaki bağlantı gerçek zamanlı iletişim gerektirir, bu da gecikmelerin çok düşük olması gerektiği anlamına gelir. 5G, sürücüsüz arabalar gibi kullanım durumlarını desteklemek için 1 milisaniye veya daha düşük gecikmelere olanak sağlayabilir.

2022 yılına kadar 29 milyar bağlı cihazdan çoğunun makineden makineye cihazlar olacağı [9]'da öngörülüyor. Daha önce de bahsettiğimiz üzere 5G, kullanıcılara yüksek veri hızı, güvenilirlik ve minimum gecikme gibi çeşitli senaryolarla QoS gereksinimleri sağlamayı vaat etmektedir.

2.2. KARASAL OLMAYAN AĞLAR

5G standartlarına uydu bağlantılarını dahil etmenin birkaç nedeni vardır. Birincil motivasyon, uydu bağlantılarının karasal altyapıdan bağımsız iletişim sağlamasıdır. Mobil ağ operatörleri, uydu iletişimini kullanarak, altyapısı olmayan alanlara 5G hizmeti sunabilir. Uydu iletişimi ayrıca, doğal afet gibi karasal ağların kullanılamadığı durumlarda ağ operatörlerinin hizmet vermesini sağlar. Uydu iletişimi ayrıca 5G hizmetinin kullanılabilirliğini daha geniş bir hareketli platform dizisine genişletir. Örneğin, uydu iletişimi, karasal ağ altyapısı oluşturmanın mümkün olmadığı uzak bölgelerde hareket halindeki uçaklara, gemilere ve trenlere hizmet

verebilir. Bunların yanı sıra, mevcut ağlar kırsal bölgelere yeterli geniş bant kapsama alanı sağlamakta yetersiz kalmaktadır. Ayrıca, teknolojik olarak en gelişmiş ülkelerde bile, mevcut hücresel altyapılar, gelecekteki kablosuz uygulamaların talep ettiği güvenilirlik, kullanılabilirlik ve yanıt verme düzeyinden yoksun olabilir ve doğal afetlere karşı savunmasızlık gösterebilir. Özellikle doğal afetler sırasındaki bağlantı kesintileri uygun tepkiyi yavaşlatabilir veya engelleyebilir, önemli hasarlara ve hatta can kayıplarına neden olabilir.

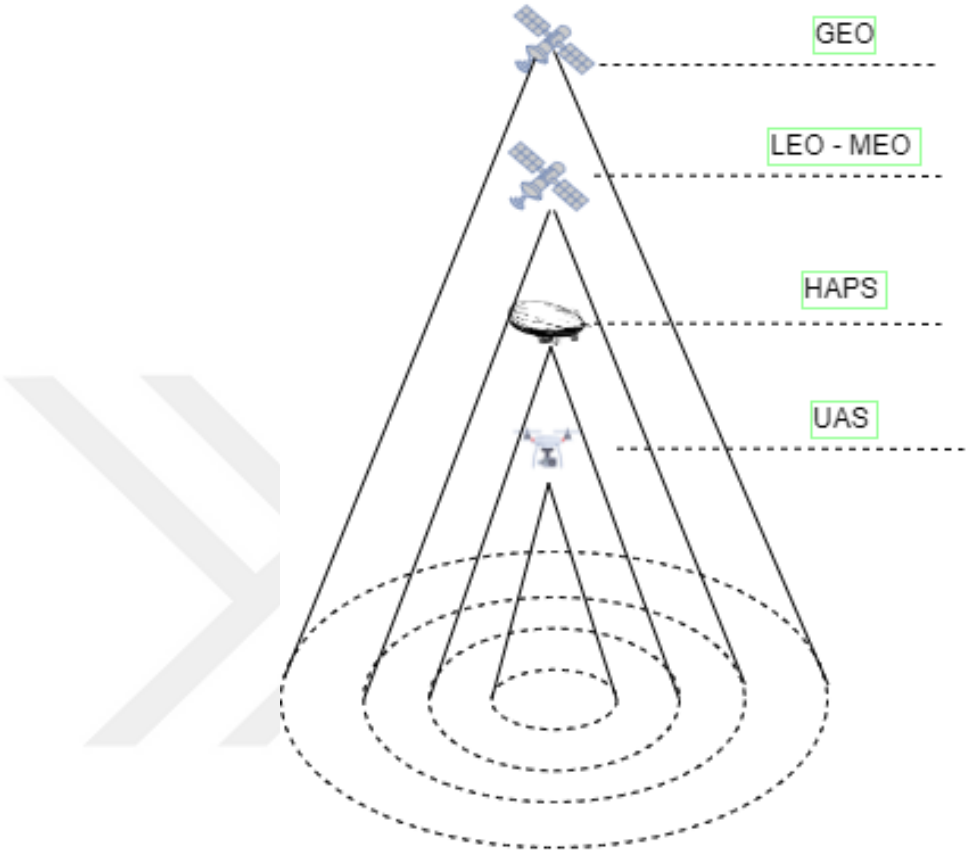
Ağ esnekliğini artırmak için bir çözüm, hücreleri yoğunlaştırmak olabilir, ancak bu, ağ operatörleri için engelleyici dağıtım ve yüksek harcamalar içerir ve yüksek kapasiteli ana taşıyıcı bağlantıları gerektirir. Ayrıca, kırsal alanlarda (yani, en az bağlantılı alanlar) ağ dağıtımı, hücresel istasyonlar arasında kablolar veya fiberler kurulurken karşılaşılabilecek değişen derecelerde arazi nedeniyle daha da karmaşık hale gelir. Ağ yoğunlaşması da kaçınılmaz olarak ciddi ekonomik ve çevresel kaygılarla bir enerji krizine yol açacaktır.

Bu sorunları ele almak için, Liberg ve diğ. [10]'da 5G ve ötesi araştırmaları şu anda her yerde ve yüksek kapasiteli küresel bağlantıyı teşvik etmek için karasal olmayan ağların geliştirilmesine odaklanmaktadır. Önceki kablosuz nesil ağlar geleneksel olarak yarı iki boyutlu bir alan için bağlantı sağlamak üzere tasarlanırken, 5G, karasal altyapıların İnsansız Hava Araçları (İHA) dahil olmak üzere karasal olmayan istasyonlarla Yüksek İrtifa Platformları (HAP) ve uydularla tamamlandığı üç boyutlu (3B) heterojen bir mimari öngörmektedir. Bu öğeler yalnızca kalabalık ve hizmet verilmeyen alanlarda isteğe bağlı uygun maliyetli kapsama alanı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda kanal açma, geri taşıma, yüksek hızlı mobilite desteği ve yüksek verimli hibrit çoklu oyun hizmetlerini de garanti edebilir. Özellikle, standart faaliyetlerde NTN'lerin potansiyeli kabul gören alanlardan olmuştur. 3GPP, sürüm 17'de 5G sistemlerinin daha da geliştirilmesi üzerinde çalışmaya başladı. 5G sistemlerinin karasal olmayan ağları desteklemesini sağlamak, 3GPP'de araştırılan yönlerden biri olmuştur.

2.2.1. NTN Çeşitleri

Bir NTN, Tablo 2.2'de listelendiği gibi, dahil olan NTN platformunun tipine göre farklı konuşlandırma seçeneklerine sahip olabilir. NTN platformları iki ana kategoriye ayrılır: uzay ve hava yoluyla. Uzayda taşınan platformların sınıflandırılması tipik olarak yükseklik, ışın ayak izi boyutu ve yörünge gibi üç ana parametreye bağlıdır. Karasal olmayan ağlar, Yer Sabit Dünya yörüngesine (GEO), Orta Dünya Yörüngesine (MEO), Düşük Dünya Yörüngesine (LEO) ve Yüksek İrtifa Platformları (HAPS) dört ana kategoride verilebilir. Bu uyduların özelliklerinden

bahsetmeden önce Şekil 2.2'de konumları görülebilir. Bu şekilde en üstte GEO uyduları yer alırken sırasıyla azalarak MEO, LEO, HAPS ve UAS sistemleri gelmektedir. Bütün uyduların kapsadığı alanlar konumuna göre değişmektedir.



Şekil 2.2: NTN diyagramı

GEO uyduları dünya ekvatorunun 35.786 kilometre üzerinde ve Dünya'nın dönüş yönünü takip eden dairesel yörünge. Bu yörüngedeki bir nesne, Dünya'nın dönme periyoduna eşit bir yörünge periyoduna sahiptir ve bu nedenle gökyüzünde sabit bir pozisyonda yer gözlemcilerine hareketsiz görünür. GEO ışın ayak izi boyutu 200 ila 3500 km arasında değişmektedir.

Durağan olmayan uydular dünyanın etrafında dönen ve gökyüzünde hareket eden uydular (LEO ve MEO). MEO tipik olarak 7.000 ila 25.000 km arasındaki bir yükseklikte ve LEO tipik olarak 300 km ila 1500 km arasındaki bir yükseklikte yörüngede döner. Ufukta hareket ederken hizmeti taşımak için birden fazla GEO oluşan bir takımyıldız gereklidir ve hizmet sürekliliğini sağlamak için devir teslim yönetimi gerektirir. HAPS, stratosferden Dünya'yı izleyen hava araçları, yani uçaklar veya balonlardır. Uydular gibi, ancak Dünya'ya daha yakın, tipik olarak 20 km yükseklikte çalışırlar, geleneksel uçakların üzerinde yüzerler ve aşağıdaki bölgenin sürekli kapsamını sunabilirler.

LEO ve MEO, dünya çevresindeki dönme süresinden daha düşük bir periyoda sahip olmaları nedeniyle GEO-olmayan uydular olarak da bilinirler; aslında, 1.5 ila 10 saat arasında değişir. Hava indirme kategorisi, tipik olarak 8 ila 50 km arasında bir irtifaya yerleştirilen İnsansız Hava Aracı Sistemleri (UAS) platformlarını kapsar ve 20 km yükseklikte HAPS içerir. GEO uydusuna benzer şekilde, UAS konumu gökyüzünde sabit tutulabilir. UAS ışın ayak izi boyutu 5 ila 200 km arasında değişmektedir.

Tablo 2.2: NTN çeşitlerinin özellikleri

NTN Çeşitleri	Yükseklik Aralığı	Yörünge	Kapsanan Hücre Boyutu Aralığı
GEO	35786 km	Dünya üzerinde belirli bir noktada	200 – 3500 km
MEO	7000 – 25000 km	Dünya etrafında dairesel hareket	100 – 1000 km
LEO	300- 1500 km	Dünya etrafında dairesel hareket	50 – 1000 km
UAS	8-50 km (HAPS için 20 km)	Dünya üzerinde belirli bir noktada	5 – 200 km

Son zamanlarda ve 90'lı yıllardan sonra, LEO uyduları büyük ilgi görüyor ve farklı şirketler onları büyük takımyıldızlarla yerleştirmeye büyük ilgi gösterdi. Bu takımyıldızlardaki uyduların sayısı fazla olduğu için genellikle mega takımyıldızlar olarak anılırlar. Bu takımyıldızların temel amacı, kullanıcılara her yerde ve her yerde internet erişimi sağlamaktır [11].

Mega takımyıldız uydu ağlarında, küresel kapsama ve kullanıcı hizmeti bağlantısı sağlamak için yüzlerce veya binlerce LEO uydusu konuşlandırılır. LEO uydularını çekici kılan birkaç neden var. Birincisi, LEO uyduları kullanılarak veri iletiminin kabul edilebilir gecikmesidir. Geleneksel GEO uydularını karasal ağlarla entegre etmenin temel kaygılarından biri, ağlar ve hizmetleri üzerinde ağır kısıtlamalar getiren büyük gidiş-dönüş süresidir. 5G'nin hizmetlerindeki gecikmeyi en aza indirmeyi amaçladığı akılda tutularak, LEO uyduları, geleneksel GEO uydularından çok daha az olan, yaklaşık 25 ms veya daha az gidiş dönüş sürelerine sahip olabilir. LEO uyduları, GEO uydularının yüksek yayılma kayıplarına ve daha

uzun gidiş-dönüş sürelerine maruz kalacağı yüksek enlemlerde daha iyi kapsama alanı sağlayabilir. LEO uydularının diğer ilginç özelliği, bu ağlar tarafından elde edilen daha iyi spektral verimliliktir. LEO'da boş alan yolu kaybı MEO veya GEO'dan daha düşüktür. Düşük sinyal enerjisi kaybının yanı sıra, hücresel bir ağ gibi yere sınırlı ayak izleri ve odaklanmış ışınlara sahip çok sayıda uydu yerleştirmek, toplam ağ ortalama spektral verimliliğini artıran daha iyi frekans yeniden kullanım yetenekleri sağlayabilir. Uydu geliştirme ve üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve uydu konuşlandırma yeteneklerindeki gelişmeler de son yıllarda LEO uydularının kullanımının teşvik edilmesine katkıda bulunuyor.

Tezimizde odak noktamız LEO uyduları ve birkaç LEO uydusunun hizmet sürekliliğini düzgün şekilde sağlaması için devir teslim algoritma tasarımını gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır.

2.2.2. 5G ve Ötesi Sistemlerde NTN Kullanım Senaryoları

Bir kullanım durumu, tipik olarak belirli bir hedefe ulaşmak için bir rol ve bir sistem arasındaki etkileşimleri ifade eder. Bu nedenle, 5G sistemine bütünleşmiş NTN'nin bir ağ bileşeni tarafından sağlanan hizmetin amacının belirlenmesi gerekmektedir. Bölüm 2.1.1.1'de verilen 5G kullanım senaryoları ile NTN servisleri mMTC, eMBB, URLLC senaryolarında etkili sonuç vermektedir. [12]'de ki 3GPP standartlarında bazıları aşağıda açıklanan birkaç 5G NTN kullanım durumu tanımlamıştır.

5G NTN'ler için birincil kullanım durumlarından biri olan çoklu bağlantı, Kullanıcı Ekipmanının (UE) aynı anda karasal ve uydu bağlantılarına bağlanmasını sağlar. Bu kullanım durumunda, zamana duyarlı düşük gecikmeli trafik karasal bağlantılardan geçerken, görev açısından daha az kritik trafik uydu bağlantılarından geçer. Sınırlı kullanıcı verimine sahip karasal kablosuz/hücresel veya kablolu hat erişimi ile, yetersiz hizmet alan alanlarda hücrelere geniş bant bağlantısı sağlar.

Bir diğer durum olan sabit hücre bağlantısı, merkez ağ ile hizmet verilmeyen alanlardaki (izole edilmiş alanlar) hücreler arasındaki geniş bant bağlantısı sağlayarak uzak bölgelerdeki veya açık deniz petrol platformları gibi endüstri tesislerinde bulunan kullanıcıların 5G hizmetlerine erişmesini sağlar.

Mobil hücre bağlantısı, sabitten farklı olarak merkez ağ ile hareketli bir platformdaki hücreler geniş bant bağlantısını sağlar. Özellikle uçak ve yüksek hızlı tren yolcuları için kesintisiz 5G

mobil hücre kapsamını kolaylaştırır. Bu işlem, uygun olduğunda karasal ağları ve karasal hücre ağlarının bulunmadığı uzak alanlarda uydu bağlantılarını kullanır.

Bunlara ek olarak 5G NTN durumları hareketli platformlarda bir hücreyi/hücre grubunu veya bağlantı noktalarını bağlamak için karasal hücresel erişimle birleştirilmiş geniş bant bağlantısı ve evlerdeki veya hareketli platformlardaki noktalara erişmek için çoklu yayın hizmeti sağlar. Tüm bu kullanım durumlarına bakıldığında NTN sistemleri 5G'nin vaat ettiği önemli hususlarda çok önemli katkılarda bulunmaktadır.

2.3. HİZMET SÜREKLİLİĞİ

Bölüm 2.2.2'de NTN kullanım senaryolarında özet şeklinde bahsedilen hizmet sürekliliği konusu bu tezin ana amacını oluşturmaktadır. Bu bölümde ise hem 5G hem de NTN için hizmet sürekliliği için tanım verilecektir.

Hizmet sürekliliği, aynı hizmet oturumunun herhangi bir kesinti olmaksızın veya mümkün olan en az kesinti ile sürekliliğini ifade eder. Kullanıcılar, hareketlilik nedeniyle sık sık yer, ağ ve cihaz değişikliği olmasına rağmen kesintisiz hizmet deneyimi ister. Bu nedenle hizmet sürekliliği bağlamdan bağımsız olma hedefine sahip olmalıdır. Günümüzde bir kullanıcı, dış mekândan iç mekâna geçerken veya dış mekânda çok hızlı hareket halindeyken sürekli olarak kaliteli bir veri akışı beklemektedir.

Kullanıcılar, daha iyi ağlar ve cihazlar sunabilecek konumlara geçerler. Noll ve Chowdhury [13]'te her yerde bulunan ortamların dinamik doğası nedeniyle sürekli hizmet erişimi, hizmetlerin dağıtımını kısıtlayan ana faktörlerden biri olduğunu belirtmiştir. Bu, her ikisi de mobil cihazın çalışma süresini sınırlayan, çevrenin sürekli izlenmesini ve aktif bir geçiş şemasını gerektirir. Ayrıca 3GPP'nin hizmet sürekliliğine ek odaklandığı bir konu daha mevcut olup bu hizmet ölçeklenebilirliğidir. Ölçeklenebilirlik uyduların geniş kapsama alanından yararlanan ve çok noktaya yayın veya benzer bir içeriği başka bir yerde yayınlamayı kullanan durumları kapsar. Bu durumlara örnek olarak yüksek çözünürlüklü televizyon sistemleri örnek olarak verilebilir. Burada 5G sistemlerde amaçlandığı gibi geniş kapsamı önemsenmektedir.

Bu tezin odaklandığı konu olan hizmet sürekliliği 5G ve ötesi sistemler itici güç olarak tanımlanmaktadır. LTE ağlarında ana zorluk özellikle iç mekân kullanıcıları için yüksek veri hızlarının sağlanması ve radyo kapsama alanını arttırılması ile ilgiliydi. 5G'de bu konuya ek

olarak artan kullanım oranında bütün kullanıcılara iyi bir QoS sağlayabilmek ve sürekliliği devam ettirmek amaçlanmıştır. NTN bu kullanım senaryoları için gelecek vadeden bir teknoloji olduğu için 3GPP sürüm 15'ten bu yana hizmet sürekliliği alanındaki çalışmalara ağırlık verilmeye başlandı.

2.4. HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE HAREKETLİLİK KAVRAMI

5G ve ötesi kablosuz iletişim ağlarının, örneğin 500 km/saate kadar hız gibi yüksek hareketliliğe sahip iletişimi desteklemesi bekleniyor [14]. Bu nedenle, 5G iletişiminin yüksek hızlı demiryolları, uydu ve İnsansız Hava Araçları (UAV) iletişimi gibi yüksek hareketlilik senaryolarında çok sayıda uygulaması olacaktır. Bu tez çalışmasının amacı ise hareketlilikten kaynaklanan sorunlardan yola çıkarak olası çözüm olan HO durumlara değinilmek olduğu için hareketlilik kavramı bizim için önemli olmaktadır.

Genel olarak, yüksek hareketlilik iletişimi sadece maksimum hızın ne kadar büyük olduğu ile ilgili değildir, daha çok hareketliliğin neden olduğu zorluklarla ilgilidir. 5G'ye yüksek haraketlilik desteği sağlamak için araştırılması gereken bir takım teknik konular var. Bu, yüksek hareketlilik söz konusu olduğunda çoklu fiziksel ve veri bağlantı katmanı işlemleri için gelişmiş sinyal işlemeyi, yüksek hareketli ortamlarının özelliklerinden yararlanabilen alıcı-verici yapılarını, yüksek hareketlilik ortamlarındaki bozulmaları azaltabilecek sinyal işleme tekniklerini, verimli hareketlilik yönetimini ve yeni ağ mimarileri. Ayrıca, çeşitli yüksek hareketlilik senaryoları altında ilgili teorik sistem performans limitleri hala çalışan güncel bir konu olmaktadır. Özetle, hareketlilik ile ilgili birçok araştırma sorunu hala mevcuttur ve 5G ve ötesinin geliştirilmesinde büyük engeller haline gelebilir.

2.4.1.1. NTN Sistemlerinde Hareketlilik Sorunu

Karasal ağlarda, hareketlilik yönetimi, sabit hücrelerle dağıtımlarda hareket eden kullanıcılar için hizmet sürekliliğini sağlamaya odaklanır. NTN sistemleri mobilite paradigmasını alt üst ediyor. Özellikle Bölüm 2.2.1. bahsedilen yüksek hızlı LEO uyduları, yerdeki UE5G bağlantısı sağlayan yüksek hızlı hareket eden hücreler olarak çalışacak. Uzun iletişim mesafeleri ile uydu hareketi, yalnızca ek hareketlilik olaylarını tetiklemekle kalmayacak, aynı zamanda UE'nin mobilite performansında düşüşe sebep olmaktadır. NTN sistemlerindeki bu hareketlilik sorunu hizmet verimi açısından kötü etkilemektedir. Wu ve Fan [15], haraketlilik ve doppler yayılmasının, kanalın zaman seçiciliği ve HO gibi sorunlara yol açtığı için geleneksel karasal ağlar için bile zorlu olduğundan bahsetmişlerdir. Bu problemler, LEO tabanlı uydularda daha

da karmaşıktır, çünkü ayak izleri, karasal kullanıcı hareketliliğinden önemli ölçüde daha hızlı olan 7,56 km/s'ye kadar hızlarda değişebildiğinden (karşılaştırma için, yüksek hızlı trenler yaklaşık 0,14 km/s hız ile hareket eder). NTN'lerin daha büyük ayak izleriyle bile, hızları potansiyel olarak artan sayıda HO'ya neden olur. Bu da oluşturulan sistemlerin verimliliğini önemli ölçüde düşürmektedir.

2.5. DEVİR TESLİM TEKNİKLERİ

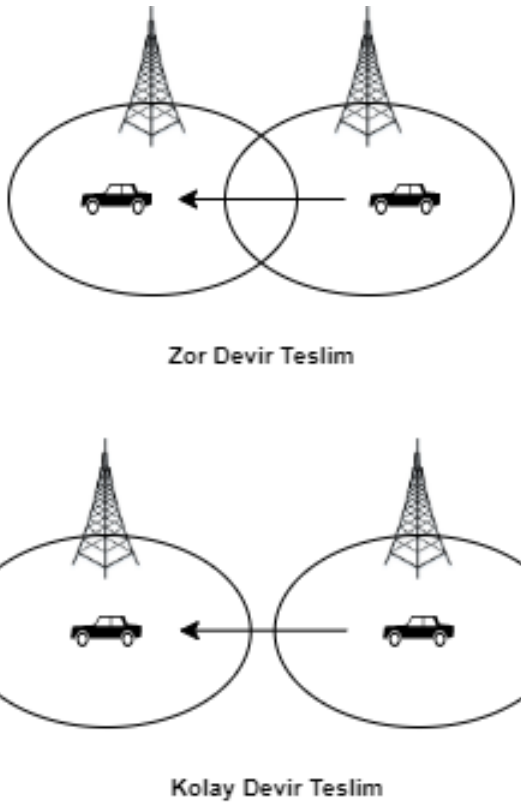
Haberleşme sistemlerinde devir teslim, bir hücresel ağdaki bir hücreden veya bir kanaldan diğerine aktif bir arama veya veri oturumu aktarma işlemidir. Uydu iletişiminde ise kontrolü bir yer istasyonundan diğerine aktarma işlemidir. Bir arayana veya bir veri oturumu kullanıcısına hizmet kesintisinin kaybolmasını önlemek için devir teslim gereklidir. Devir teslim ayrıca aktarma olarak da adlandırılır.

Bir görüşmede veya veri oturumunda bulunan bir abone, bir hücrenin kapsama alanından çıkar ve başka bir hücrenin kapsama alanına girerse, hizmet sürekliliği için bir devir teslim tetiklenir. İlk hücre tarafından gerçekleştirilen görevler, ikinci hücreyi tanımlamaktadır. Her hücrenin önceden tanımlanmış bir kapasitesi vardır, yani yalnızca belirli sayıda aboneyi idare edebilir. Belirli bir hücreyi kullanan kullanıcı sayısı maksimum kapasitesine ulaşırsa, bir devir teslim gerçekleşir. Kullanıcının her iki hücrenin örtüşen kapsama alanında olması şartıyla, çağrıların bir kısmı bitişik hücrelere aktarılır.

Hücreler genellikle mikro hücrelere bölünür. Büyük hücreden küçük hücreye bir görev aktarımı olduğunda ve bunun tersi olduğunda bir devir teslim gerçekleşebilir. Örneğin, büyük bir hücrenin yetki alanı içinde hareket eden seyahat eden bir kullanıcı var. Yolcu dururs a, büyük hücre üzerindeki yükü hafifletmek için yetki alanı bir mikro hücreye aktarılır. Devir teslim, iletişim için aynı frekansı kullanan aramalarda bir parazit olduğunda da meydana gelebilir.

Haberleşmede genel Şekil 2.3'de verilen geleneksel olarak iki tür devir teslim tekniği kullanılmaktadır. Bunlardan ilk sert handover, bir hücreden diğerine geçiş yapılırken bağlantıda gerçek bir kopma meydana gelir. Mobil istasyondan mevcut hücreye olan radyo bağlantıları, bir sonraki hücre ile bağlantı kurulmadan önce kesilir. Genellikle frekanslar arası bir geçiştir. Bu bir "yapmadan önce ara" politikasıdır. Diğer devir teslim tekniği ise yumuşak devirdir. Bu yöntemde mobil istasyona radyo bağlantıları eklendiğinde ve kaldırıldığında bağlantılardan en

az biri tutulur. Bu, aktarma sırasında herhangi bir kesinti olmamasını sağlar. Bu genellikle ortak konumlu hücrelerde benimsenir. Bu bir “aramadan önce yap” politikasıdır.



Şekil 2.3: Geleneksel devir teslim modelleri

Her küçük hücrenin çok sayıda aktarma isteği alabileceği ve ardından kabul edilen her istek için kabul kontrol algoritmasının yürütüldüğü göz önüne alındığında, aktarım gecikmesi ve sinyalleşme yükü, ultra yoğun ağlarda önemli olacaktır.

Bu aktarma isteklerinden bazıları, özellikle hücrelere hızlı bir şekilde girip çıkması beklenen gerçekten mobil kullanıcılar için gereksiz bile olabilir. Bu nedenle, (kullanıcıların konumları, hızları ve yönleri gibi bilgilerine dayalı olarak) gelişmiş hareketliliğe duyarlı aktarma prosedürleri gerekli olacaktır. Devamında, kullanıcıların yer, hız ve yönü istatistiklerini doğru bir şekilde karakterize etmek, kullanıcıların hareketlilik modelini anlamamıza, karmaşık aktarma kriterleri türetmemize ve hücresel ağların hareketlilik duyarlı performans analizi yapmamıza olanak sağlayacağından, birincil öneme sahiptir. Hareketlilik modellerinin kesinliği, kullanıcıların ve/veya farklı türdeki kablosuz düğümlerin gerçek mobilite modellerini ne kadar yakın modelleyebildikleri açısından ölçülebilir. Bununla birlikte, bu kesinliğe ulaşmak, büyük hesaplama maliyetine veya matematiksel izlenebilirliğin azalmasına neden

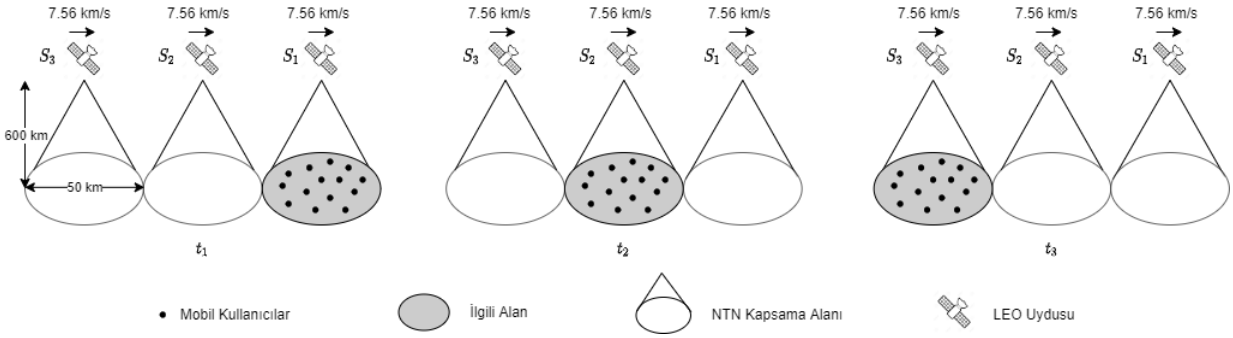
olabilir. Bu bölümde genel olarak tanımlarını yaptığımız konuların çalışmamızda kullanacağımız senaryodaki durumlarına indirgeyerek problemimizden bahsedeceğiz.

3. YÖNTEM

Bu bölümde ilk olarak tez kapsamında kullanılan ve Bölüm 2'de tanıtılan devir teslim modelleri incelenmiş olup sonrasında simülasyonda kullanılacak olan ve kanal parametreleri tanımlanıp simülasyon senaryosu verilmiştir. Simülasyonumuzda kullanılan kullanıcı hareketlilik modeli ve devir teslim mekanizmalarının ayrıntılarını vermeden önce ilk olarak kanal modelini ve bununla ilişkili olan yol kaybı parametrelerini açıklayacağız.

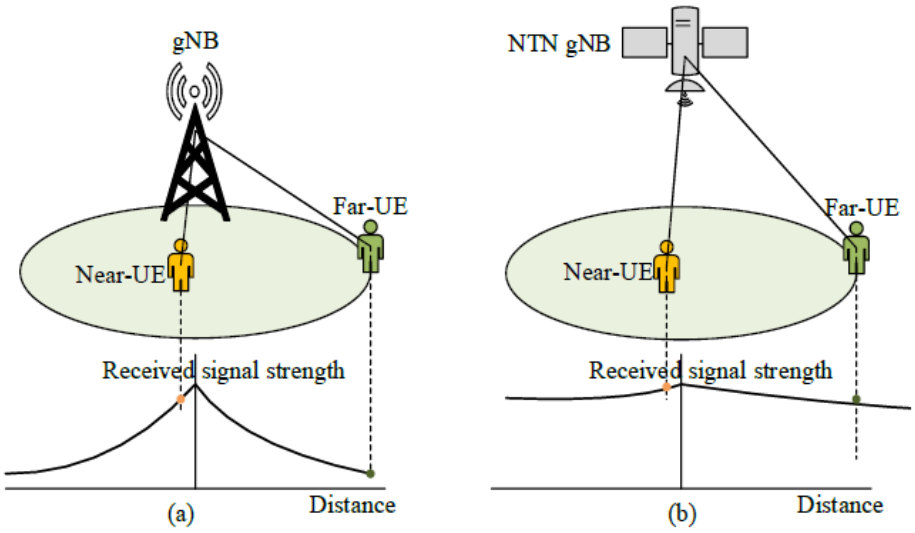
3.1. SİSTEM MODELİ VE VARSAYIMLAR

Bu tez çalışmasında, Şekil 3.1'de gösterildiği gibi, üç LEO uydusu tepede hareket ederken, hücre içinde rastgele dağılmış dış mekân kullanıcıları ile yerde tek bir dairesel hücre varsayıyoruz. Simülasyonun, S_1 uydusunun hücre merkezinin hemen yukarısında olduğu t_1 zamanında başladığı varsayılmaktadır. LEO yüksek hızlı hareketinin, S_3 uydusu hücre merkezinin üstüne gelene kadar saniyede 7,56 kilometre (3GPP'de LEO'lar için tanımlanan hız) hızla lineer olarak devam ettiği varsayılmaktadır.



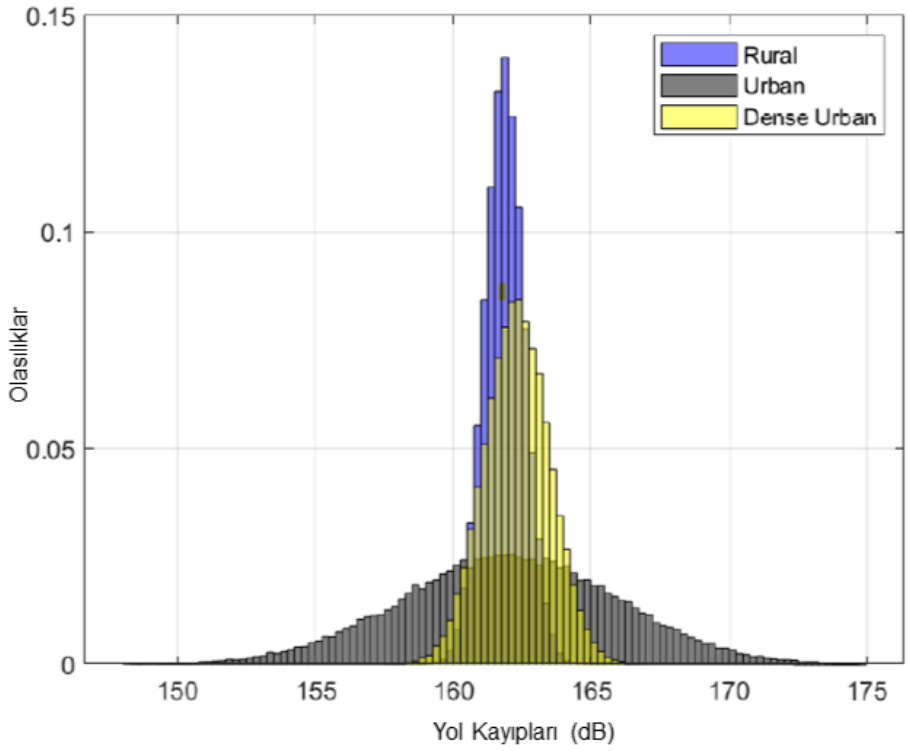
Şekil 3.1: Simülasyon senaryosu

Birincil hedefimiz, NTN'lerin sağladığı zorlu koşullarda farklı HO mekanizmalarının performansını değerlendirmek olduğundan, en kötü durumu, yani en düşük irtifa yani 600 km ve en küçük hücre çapı olan 50 km'yi seçtik. Düşük irtifa, hızlı hareket eden bir kapsama alanına yol açarken, küçük hücre boyutu, Radyo Sinyal Gücü (RSS) varyasyonunun azalmasına yol açar. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi NTN durumunun RSS varyasyonu hücre kenarında ve hücre içinde nerdeyse aynı gücü sağlamaktadır. NTN'lerin daha büyük ayak izleriyle bile, hızları potansiyel olarak artan sayıda HO'ya neden olur. Ayrıca, uydudan yere yayılma mesafesi HO'ya neden olur.



Şekil 3.2: a) Karasal ağlarda sinyal gücü b) Karasal olmayan ağlarda sinyal gücü (3GPP 38.811'den alınmıştır)

Ayrıca, uydudan yere yayılma mesafesi, kapsama alanı ayak izine kıyasla çok daha yüksek olabilir, bu da karasal ağlara kıyasla bu ağlarda RSS varyasyonunun azalmasına yol açacaktır [16].



Şekil 3.3: Farklı ortamlar için yol kaybının karşılaştırılması

Bu durum Şekil 3.3'te farklı ortamlar için gösterilmektedir. Kentsel ortam hala yaklaşık 20 dB'lik bir RSS aralığı sergilerken, bu değişiklik kırsal ve yoğun kentsel ortamlarda 4-5 dB ile sınırlıdır. Simülasyon çalışmamızda yoğun kentsel senaryoları ele alarak, kullanıcıların yoğun olduğu durumlarda HO, Pinpon Devir Teslim (PP HO), Radyo Bağlantı Hatası (RLF) performanslarına bakarak analiz yapılmıştır. Bu bölümün geri kalanında, analizimizde kullanılan kullanıcı hareketlilik modellerinden bahsetmeden önce ilk olarak yol kaybı modelini ve bununla ilişkili parametreleri açıklayacağız.

3.2. NTN KANAL MODELLENMESİ

Kablosuz radyo kanalı, güvenilir yüksek hızlı iletişim için bir ortam olarak ciddi bir zorluk teşkil etmektedir. Yalnızca gürültü, parazit ve diğer kanal engellerine duyarlı olmakla kalmaz, aynı zamanda bu engeller, kullanıcı hareketi nedeniyle zaman içinde öngörülemeyen şekillerde değişir. Yol kaybı, verici tarafından yayılan gücün dağılmasının yanı sıra yayılma kanalının etkilerinden kaynaklanır. Yol kaybı modelleri genellikle yol kaybının belirli bir gönderme-alma mesafesinde aynı olduğunu varsayar. Gölgelenme, verici ve alıcı arasındaki, yansıma, saçılma ve kırınım yoluyla sinyal gücünü azaltan engellerden kaynaklanır. Zayıflama çok güçlü olduğunda, sinyal engellenir. Yol kaybına bağlı değişim çok büyük mesafelerde (100-1000 metre) meydana gelirken, gölgelemeye bağlı değişim, engelleyici cismin uzunluğu ile orantılı mesafelerde (dış ortamlarda 10-100 metre ve iç ortamlarda daha az) meydana gelir. Yol kaybı ve gölgelemeden kaynaklanan değişiklikler nispeten büyük mesafelerde meydana geldiğinden, bu değişiklik bazen büyük ölçekli yayılma etkileri olarak adlandırılır. Sistemde kullanacağımız LEO senaryosunun yerden yüksekliği 600 km olduğundan hem çok yollu yayılım hem de diğer yol kayıpları istemin performansında düşüklük gösterecektir.

3.2.1. LoS Olasılıkları

Bu bölümde NTN sistemleri için yayılım modelleri ve performans analizlerine bakıp buradan elde edeceğimiz sonuçlara göre HO tetikleme mekanizmalarımızı kullanacağız. Açık Görüş Hattının (LoS) en basit tanımı, ufuk tarafından engellenmediğinde iki veya üç boyutlu uzayda iki sabit nokta arasındaki düz yoldur. Öte yandan, Açık Olmayan Görüş Hattı (NLoS), iki veya üç boyutlu uzayda bir noktadan diğer noktalara dolaylı yoldur. LoS, mobil yer iletişimi için ideal bir koşuldur, çünkü iletilen sinyal, herhangi bir engele maruz kalmadan mümkün olan en iyi sinyal gücüyle alınır. NLoS parametresi binalar, ağaçlar, ormanlar, direkler, tüneller ve trafik ışıkları gibi birçok engeli içinde barındırıyor. Bu durumda iletilen sinyal zayıflayarak

alıcıya ulaşır. Bunların dışında, iletilen sinyal de yağmur nedeniyle zayıflar. Kent tipi ortamlarda, sinyal özellikle binalar tarafından zayıflatılır. Kent tipi çevre, birbirine ve sokaklara yakın konumlanmış yoğun yapılardan oluşur. Bu nedenle iletilen sinyal, bu binaların neden olduğu kırınım ve yansıma sonucu zayıflar.

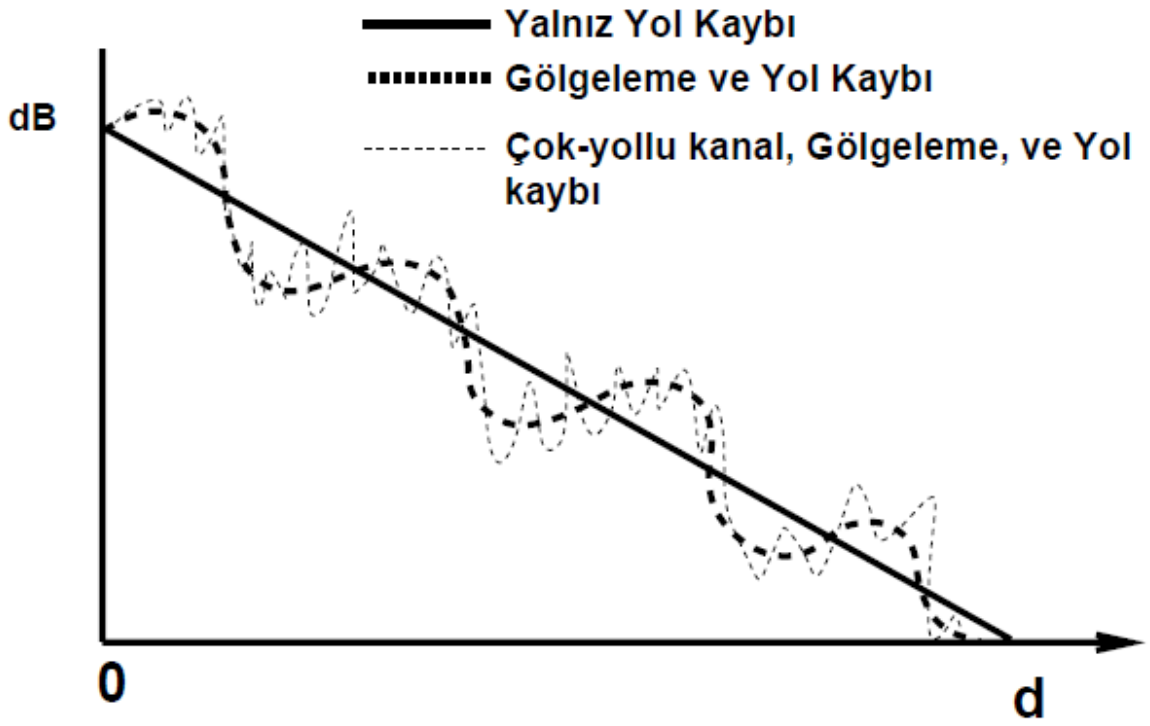
Tablo 3.1: Farklı ortamlar için LoS olasılıkları

Yükseklik Açısı (α)	Yoğun Kentsel Senaryo	Kentsel Senaryo	Kırsal Senaryo
10°	28.2 %	24.6 %	78.2 %
20°	33.1 %	38.6 %	86.9 %
30°	39.8 %	49.3 %	91.9 %
40°	46.8 %	61.3 %	92.9 %
50°	53.7 %	72.6 %	93.5 %
60°	61.2 %	80.5 %	94.0 %
70°	73.8 %	91.9 %	94.9 %
80°	82.0 %	96.8 %	95.2 %
90°	98.1 %	99.2 %	99.8 %

Bu tanıtımları yaptıktan sonra aşağıdaki Tabloda verilen farklı NTN açılarına göre farklı çevrelerdeki LoS olasılıkları verilmiştir. Tablo 3.1'de görüldüğü üzere LoS olasılığı UE ortamına ve yükselme açısına bağlıdır. Her 10 derecelik artışlarda LoS olasılığını arttığını gözlemleyebiliriz. Bunun sebebi ise 90° yaklaştıkça NTN konumu en dik konumda olacaktır. En dik konumda kullanıcı ile NTN arasındaki mesafe ve diğer parametrelerinin azalması buna sebebiyet vermektedir. Bu durumda bize en yüksek LoS olasılığını NTN en dik konumda olduğunda ve kayıpların en az olduğu durumlarda vermiş olacaktır. Yine aynı tabloya bakıldığında kırsal alanlarda LoS olasılığının kentsel ve yoğun kentsel alanlara nazaran daha yüksek olduğu gözükmektedir. Kırsal alanlarda sinyalin çok fazla kayba maruz kalmadığını söyleyebiliriz. Bunun sebebi ise sinyalin kırsal alanlarda pek bir kayba uğramamasından kaynaklanmaktadır. Yukarıdaki olasılıkları NTN'nin açısına göre yol kaybını hesaplarken kullanacağız. NTN hareketinden bulunan açıyı eğer ondalık bir kısmı bulunuyorsa tablodaki en yakın değerine yuvarlayarak bulacağız. Aynı durumu diğer parametreler içinde gerçekleştireceğiz. Bölüm 3.2.2. açıklanan yol kaybı formüllerinde bu durumdan bahsedeceğiz.

3.2.2. Yol Kaybı Parametreleri ve Hesabı

Bölüm 3.2.'nin devamı olan bu bölümde simülasyonda kullanacağımız yol kaybı formüllerinden bahsedeceğiz. Yol kaybı hesabı yaparken kullandığımız senaryomuzda hücre içinde belirlediğimiz kullanıcı sayısına göre yol kayıpları bulunup bunlar arasında karar verme işlemimiz gerçekleşmiştir. Denklemlerdeki açıklamalara geçmeden önce Şekil 3.4'te klasik bir yol kaybının hem mesafe bağlı hem de açıklanacak olan parametrelerin etkisinden dolayı azaldığı ve düzensiz olduğu gözükmektedir.



Şekil 3.4: Yol kaybı, gölgeleme ve çok yollu kanalın mesafeye bağlı etkisi

Bir NTN vericisi ile bir UE arasındaki sinyal yolu, çeşitli yayılma ve zayıflama aşamalarından geçtiğinden bahsetmiştik. Bunların ışığında yol kaybı aşağıdaki gibi bileşenlerden oluşur:

$$PL = PL_b + PL_g + PL_s + PL_e \tag{3.1}$$

burada PL, desibel (dB) cinsinde toplam yol kaybını vermektedir. PL_b temel yol kaybı, PL_g atmosferik gazlardan kaynaklanan zayıflamayı, PL_s iyonosferik veya troposferik ışıldamadan kaynaklanan zayıflamayı, PL_e ise yapılardan kaynaklı girişim kaybını belirtmektedir. PL_b toplam yol kaybı, Sinyalin Boş Alanındaki Yol Kaybı (FSPL), dağınıklık kaybını (CL) ve

Gölge Solmasını (SF) kapsar. Toplam yol kaybının açıklamak için öncelikle sinyalin boş alandaki yol kaybından bahsetmek gerekir. FSPL formülü şu şekilde verilmektedir:

$$FSPL(d, f_c) = 32.45 + 20\log_{10} f_c + 20\log_{10} d \tag{3.2}$$

(3.2)'de verilen formülde f_c, GHz cinsinde taşıyıcı frekansımızı belirtmektedir. d, metre cinsinden UE ile NTN arasındaki mesafedir. Simülasyonumuzda üç NTN hareket halinde olduğundan bu mesafe açıya göre sürekli değişmektedir. UE ve NTN arasındaki mesafe olan d şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$d = \sqrt{R_E^2 sin^2 a + h_0^2 + 2\, h_0 R_E} \; - \; R_E sin a \tag{3.3}$$

burada R_E, dünya yarıçapını vermektedir. a, NTN ile UE arasındaki açıyı temsil etmektedir. Formülün daha iyi anlaşılması için aşağıdaki Şekil 3.5'te NTN ve UE arasındaki parametreler gösterilmektedir.

FSPL'den bahsettik sonra temek yol kaybı için önemli olan diğer parametre olan dağınıklık kaybından bahsetmemiz gerekmektedir. CL, çevredeki binaların ve yerdeki nesnelerin neden olduğu sinyal gücünün zayıflamasıdır. Yükseltme açısı α, taşıyıcı frekansı f_c ve çevreye bağlıdır.

Bir diğer parametre olan gölge sönümlemesi, hava durumu ve çok yollu yayılımdan kaynaklanan bir kayıp olarak nitelendirilir. Desibel biriminde ifade edildiğinde,

$$SF \sim \mathrm{N}(0, \sigma_{SF}^2) \tag{3.4}$$

yani standart sapma ile sıfır ortalamalı bir normal dağılım olan bir log-normal dağılım ile modellenir. SF genellikle rastgele bir süreç olarak adlandırılır. Tüm bu parametreler göz önünde bulundurularak PL_b şu şekilde yazılabilir:

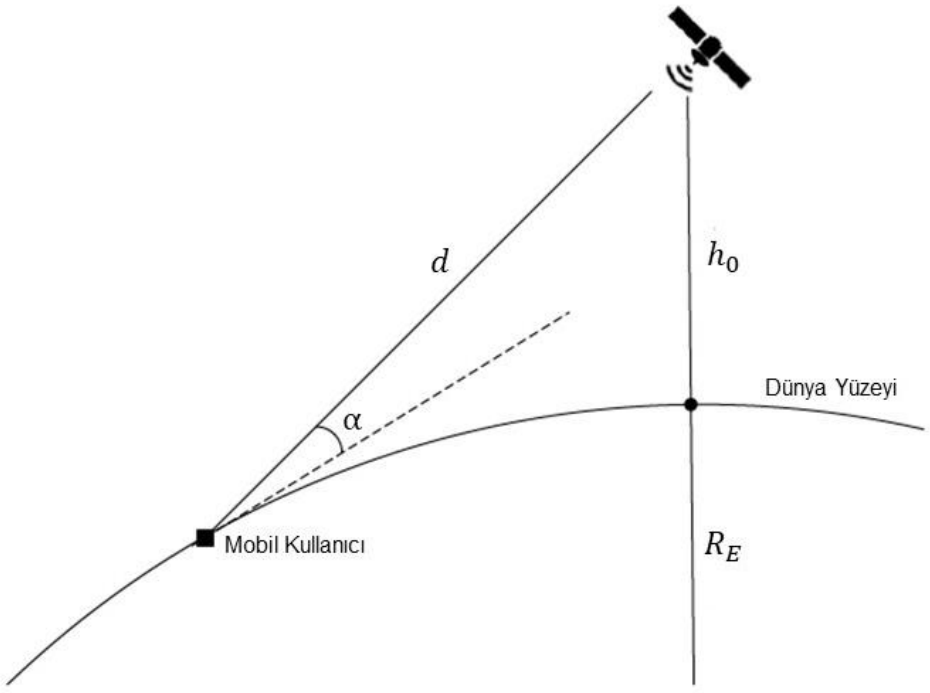
$$PL_b = FSPL(d, f_c) + SF + CL(\alpha, f_c) \tag{3.5}$$

Temel yol kaybını bulduktan sonra NTN konumuna göre LoS olasılığı belirlenerek PL_b (3.6)' de ki gibi Solaija ve diğ. [17]'te açıkladığı gibi şu şekilde yazılması gerekmektedir. Bu nedenle genel etki, bize etkin yol kaybını veren ilgili olasılıklarına göre LoS ve NLoS bileşenlerinin bir kombinasyonudur.

$$PL_b = \mathbf{P}(LOS) * PL_{LOS} + \mathbf{P}(NLOS) * PL_{NLOS} \quad (3.6)$$

Simülasyonumuzda kullanacağımız yoğun kentsel alanlar için S-bandına göre SF ve CL değerleri Tablo 2.1'de verilmiştir. Buradaki değerlere göre yükseklik açısı arttıkça LoS ve NLoS durumlarında dB cinsinden SF değerlerinin azaldığını söyleyebiliriz. Bunun sebebi ise yol kaybı veya diğer kayıpların NTN dik konumda olduğunda az olmasından kaynaklanmaktadır.

(3.1)'de eşitlikte verilen PL_e yapılardan kaynaklı girişim kaybı bina tipine, bina içindeki konumuna ve binadaki harekete bağlı olarak değişecektir. Yapı girişim kaybı dağılımı, iki log-normal dağılımın bir kombinasyonu ile verilir. Simülasyon da kullanacağımız senaryo dış mekânda geçtiğinden bu efekti sıfır olarak kabul edip bu şekilde gerçeklemelerimizi yapacağız.



Şekil 3.5: Uydu ve mobil kullanıcı arasındaki parametreler

PL_g, tamamen sönümlenmesinden kaynaklanan atmosferik gazların zayıflaması, esas olarak frekansa, yükseklik açısına, deniz seviyesinden yüksekliğe ve su buharı yoğunluğuna (mutlak nem) bağlıdır. 10 GHz altındaki frekanslarda normalde ihmal edilebilir. Ancak 10 derecenin altındaki yükselme açıları için hesaplamanın 1 GHz üzerindeki herhangi bir frekans için

yapılması tavsiye edilir. Bizim kullandığımız senaryo 2 GHz bandında gerçekleştiği için bu değeri sıfır olarak kabul edeceğiz.

(3.1)'de eşitlikte verilen PL_s yani ışıldama, alınan sinyal genliği ve fazındaki hızlı dalgalanmalara karşılık gelir. İyonosfer yayılımı yalnızca 6 GHz'in altındaki frekanslar için dikkate alınmaktadır. Bu fenomenler, 3 GHz'in altındaki sinyaller için bir trans-iyonosferik yayılma yolu boyunca en ciddi bozulmalar arasındadır ve bazen 10 GHz'e kadar gözlemlenebilir [12]. Parıldamalar konuma, günün mevsime, güneşe ve jeomanyetik aktiviteye bağlıdır. Bu etkiler dikkate alınarak aşağıdaki denklem 3GPP dokümanından alınmıştır:

$$PL_s = \frac{P_{Fluc}}{\sqrt{2}} \tag{3.7}$$

Burada P_{Fluc} dalgalanma kaybını vermektedir. Bu değer 3GPP [12]'de verilen tablodaki değerlere göre 11 olarak seçilmiştir. Bu bölümde yol kaybı için bütün değerlerin nasıl hesaplanacağı ve simülasyonumuz için gerekli olan parametreler açıklanmıştır. Bölüm 3.3'te verilecek olan UE hareketlilik modelleri açıklandıktan sonra, belirlediğimizi sayıdaki UE ve üç farklı NTN için yol kayıpları hesaplanıp bir matris oluşturulacaktır.

Tablo 3.2: Yoğun kentsel senaryo için gölge solması ve dağınıklık kaybı

Yükseklik Açısı (α)	**LoS Olasılıkları**	**Gölge Solması (σ_{SF})**		**Dağınıklık Kaybı (CL)**
		LoS	**NLoS**	
10°	28.2 %	3.5	15.5	34.3
20°	33.1 %	3.4	13.9	30.9
30°	39.8 %	2.9	12.4	29.0
40°	46.8 %	3.0	11.7	27.7
50°	53.7 %	3.1	10.6	26.8
60°	61.2 %	2.7	10.5	26.2
70°	73.8 %	2.5	10.1	25.8
80°	82.0 %	2.3	9.2	25.5
90°	98.1 %	1.2	9.2	25.5

"

3.3. KULLANICI HAREKETLİLİK MODELLERİ

Bu çalışmada hem sabit hem de mobil kullanıcılar ele alınmıştır. Mobil kullanıcılar için hafızalı ve hafızasız hareketlilik modeli kullanılmıştır. Sabit kullanıcılar hücre boyutu içerisinde rastgele bir noktada belirlenerek hesaplamalara dahil edilmiştir. Hareketli UE'ler için ise literatürde mevcut olan modellerden esinlenilmiştir. Bu bölümde bu iki model için açıklamalar verilmiştir.

3.3.1. Hafızasız Hareketlilik Modeli – Rastgele Yürüyüş Modeli

Hafızasız (Uzay-Zaman korelasyonu olmayan) hareketlilik modellerinde, UE diğer düğümlerden bağımsız hareket eder. Bir UE'nin konumu, hızı ve hareket yönü ne çevresindeki diğer düğümlerden ne de önceki hız ve konumlarının bir işlevinden etkilenmez. Bu modeller genellikle izlenebilir ancak gerçeğe yakın olmayabilir. Örneğin, bir yolda çarpışmayı önlemek için bir aracın hızı, önündeki aracın hızını aşamaz. Bu nedenle, kullanıcıların hareketliliğinin, mobil düğümler arasında uzaysal korelasyon veya uzaysal bağımlılık ile sonuçlanan diğer komşu düğümler tarafından etkilenebileceği 3GPP standardı olan [12]'de açıklanmıştır. Ayrıca bu modeller ani duruşlara, ani hızlanmaya ve keskin dönüşlere karşı hassastır. Tipik olarak, araçların ve yayaların hızı rastgele değil kademeli olarak hızlanır ve yön değişiklikleri de hareketlilik yönüne göre rastgele olarak belirli bir çerçevede değişmektedir.

Simülasyonda kullandığımız hafızasız tekniklerden olan Rastgele Yürüyüş Modelinde (RWL) bir kullanıcı rastgele bir yön θ ve hız V seçer. Her yeni hareket için, mobil düğüm rastgele ve düzgün bir şekilde $\theta \in [0\ 2\pi]$ aralığında yön seçer. Mobil düğümün duraklama süresi $T_p = 0$'dır. Hız, düzgün bir dağılımı veya Gauss dağılımını takip eder ve $V \in [v_{min}, v_{max}]$ aralığında seçilir. Hareket sırasında düğüm hız vektörü $[Vcos\theta, Vsin\theta]$ ile hareket eder. Mobil düğüm daha sonra olasılık dağılım fonksiyonu (PDF) ile hesaplanarak konumu belirlenir.

$$L = VT \tag{3.8}$$

L mesafesi boyunca hareket eder. Burada L bize UE'nin gideceği konumu verir. RWL modeli en popüler hareketlilik modellerinden biri olmasına rağmen, gerçekçi insan/araç hareket modellerini yakalayamıyor. Fakat bizim simülasyonumuz için güzel bir yaklaşım olduğundan bunu tercih ettik.

3.3.2. Hafızalı Hareketlilik Modeli – Düzgün Rastgele Hareketlilik Modeli

Yukarıda bahsedilen hareketlilik modellerinin hafızasız doğası nedeniyle, zamansal bağımlılığı yakalamak zordur. Örneğin, bir mobil düğümün mevcut hızı veya yönü, önceki hız ve yöne bağlı olabilir. Bu nedenle, farklı zaman dönemlerindeki hızlar ilişkilendirilebilir. Aşağıda, insan hareketlilik modellerine biraz yakın olan ve/veya uzamsal ve zamansal korelasyonları dikkate alan bu hafızalı hareketlilik modellerinde verilen bir düğümün hızı ve yönü rastgele kademeli ve düzgün bir şekilde değişmektedir. Bu bağlamda, düzgün rastgele hareketlilik modeli olarak adlandırılan rastgele yürüyüş modeli aynı zamanda "geliştirilmiş RWL hareketlilik modeli olarak da bilinir.

Simülasyonda kullandığımız hafızalı hareketlilik modellerinden olan düzgün rastgele hareketlilik modelin hareket konsepti, yeni değerlerin öncekilerle ilişkilendirildiği hız ve yön kontrolü için rastgele süreçlere dayanmaktadır. Bir hız değişikliği olayı üzerine, yeni bir hedef hız olayı seçilir ve bu hedef hıza ulaşmak için hızlanma ayarlanır. Yön değişikliklerinin ilkeleri de hız değişiminin ilkelerine benzer. Hem hız hem de yön değişimleri sorunsuz çünkü bu model ve hız ve yöndeki ani değişimler gerçekçi olmayan hareket davranışına neden olmamaktadır.

Bir mobil düğümün dönmesi amaçlandığında, yönün de dönmesi amaçlanır; yön, genel olarak, yeni yön elde edilene kadar birkaç zaman adımında hareket etmektedir. Bu, keskin bir dönüş yerine yumuşak bir eğri oluşturmaktadır. Model hem ayrık zamanlı hem de sürekli zamanlı simülasyonlar için kullanılabilir.

Düğümlerin hız davranışını modelleme konsepti, hedef hızların (bir düğümün elde etmeyi amaçladığı hız) ve doğrusal ivmenin kullanımına dayanmaktadır. Bir düğüm, rastgele süreç tarafından yeni bir hedef hıza karar verilene kadar sabit hız v ile gider. Düğüm daha sonra bu istenen hıza ulaşılana kadar (veya bu arada yine yeni bir hedef hız seçilene kadar) hızlanır veya yavaşlar. Bu çalışmada UE'ler herhangi bir t anında,

$$0 \leq v_{(t)} \leq v_{max} \tag{3.9}$$

eşitlik (3.9)'de ki gibi sağlanmalıdır Gerçek hayatta mobil düğümlerin, $[0, v_{max}]$ aralığında tamamen eşit olarak dağıtılan hızlardan ziyade, belirli tercih edilen hızlarda $\{v_{pref0}, v_{pref1}, v_{pref2}, \dots\}$ hareket etme eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Simülasyonun başlangıcında, tüm düğümler belirli bir PDF $f_V(v)$ seçilen bir başlangıç hızı, $v(t = 0)$ ile oluşturulur. Burada V, $v \in V$, rastgele değişkendir.

Bu çalışmada $v_{pref0} = 0$, $v_{pref1} = \left(\frac{3}{5}\right) v_{max}$, $v_{pref2} = v_{max}$ hız için tercih edilen üç hız vardır. Bu bağlamda, $f_V(v)$ dağılımı aşağıdaki gibi sağlanır:

$$f_V(v) = \begin{cases} f_V(v=0)\delta(v), & v = 0 \\ f_V\left(v = \frac{3v_{max}}{5}\right)\delta\left(v - \frac{3v_{max}}{5}\right), & v = \frac{3v_{max}}{5} \\ f_V(v = v_{max})\delta(v - v_{max}), & v = v_{max} \\ \frac{1 - f_V(v_{\text{pref}})}{v_{max}}, & 0 < v < v_{max} \\ 0 & \text{kalan} \end{cases} \tag{3.10}$$

Düzgün rastgele hareketlilik modelinde, bir düğüm, bir değişiklik meydana gelene kadar sabit v hızıyla gider. Bu olay üzerine, Denklem (3.8)'den yeni bir hedef hız v seçilir. Aynı durum yön içinde gerçekleştirilir. Bu sebeple elde edilen parametreler denklem (3.10)'da ki gibi konumu hesaplanarak hafızalı teknik olasılıklara bağlı olarak uygulanmış olur.

Bununla birlikte, sabit kullanıcı durumu ile hareketli ve hareketsiz modellerin adil bir karşılaştırma sağlamak için kullanıcı hareketliliğinin, dikkate alınan hücre bölgesi ile sınırlandırdık. Eğer ki bir kullanıcı hücre kenarına ulaşırsa, kullanıcı yönünü π radyan kaydırmasıyla değiştirmek için yukarıda belirtilen modeli modifiye ettik. Belirli sayıdaki kullanıcılarımızın hepsi için senaryodaki NTN'nin hareket süresi boyunca konumlarını belirleyerek bunların NTN'lerin konumlarına göre yol kayıplarını hesapladık.

3.4. ALTERNATİF DEVİR TESLİM GERÇEKLEMELERİ

Bu bölümde Bölüm 3.2.'de verilen yol kaybı değerlerine göre değerlendirme yaparak, 3GPP tartışmalarında potansiyel HO tetikleyicileri olarak tanımlanan mesafe, zamanlayıcı ve yükselme açısı gibi diğer ölçümlere dayanarak HO durumlarına karar verdik. Çeşitli HO mekanizmaları kullanarak hangi modelin daha iyi olacağını Bölüm 5'te tartıştık.

3.4.1. Ölçüm Tabanlı Devir Teslim

Genel olarak, ölçüme dayalı HO teknikleri, HO'ları tetiklemek için alınan sinyalin sinyal gücüne dayanır. Belirli ölçülen miktar değişebilir, örneğin Referans Alınan Sinyalin Gücü (RSRP), Referans Alınan Sinyal Kalitesi RSRQ veya Alınan Sinyal Gücü Göstergesi (RSSI) kullanılabilir [18]. Ölçüme dayalı HO tetikleme olaylarının farklı varyantları olsa da kendimizi tartışmasız en popüler olan A3 olayıyla sınırlayacağız. A3 olayı komşu hücre, hizmet veren hücreden daha iyi bağlantıya sahipse HO'ya yol açar. Ölçülen sinyal gücüne ek olarak, A3

ölçümlerinde kullanılan bazı ek parametreler, yani histerezis/ofset marjları ve Tetikleme Süresi (TTT) vardır. Histerezis ve ofset marjları, gereksiz HO'lardan kaçınmak için gerçek sinyal gücünden daha güçlü görünmesini sağlayarak hizmet veren hücreye doğru kullanıcı hücresi ilişkisini saptırmak için kullanılır. Buna ek olarak, TTT parametresi, PP HO'lardan kaçınmak için sinyal gücü koşulunun ne kadar süreceğini belirler. Matematiksel olarak, ölçüme dayalı HO tetikleyicisi şu şekilde yazılabilir:

$$Q_t > Q_s + Q_{hys} + Q_{off} \tag{3.11}$$

burada Q, RSRP, RSRQ veya RSSI gibi herhangi bir sinyal gücü ölçümüne atıfta bulunabilir. Ancak bu çalışmada RSS üzerine odaklanacağız. t ve s alt simgeleri sırasıyla hedef ve kaynak hücrelere atıfta bulunur ve Q_{hys}, Q_{off}, ilgili histerezis ve ofset marjlarıdır. Daha önce belirtildiği gibi, HO'nun tetiklenmesi için minimum TTT süresi verilerek koşul sağlanmalıdır. Bu değer ise Bölüm 4'te verilmiştir. Çalışmamız için önemli bir parametre olan RSS şu şekilde hesaplanır:

$$Q = EIRP - PL_{\text{tot}} \tag{3.12}$$

burada eşdeğer İzotropik Olarak Yayılan Güç (EIRP), iletim gücünün ve iletim anten kazancının bir fonksiyonu iken, PL ise Bölüm 3.2'de açıklandığı gibi toplam yol kaybıdır.

3.4.2. Mesafe/Konum Tabanlı Devir Teslim

Mesafeye dayalı yaklaşımda, Kullanıcıların ilk bağlantısı mesafeye dayalı olarak yapılır, yani UE kendisini en yakın uydu ile ilişkilendirir. Bu, UE ve NTN uydusunun konumunun tam olarak bilindiği ve bundan uzaklığın hesaplanabileceği varsayımıyla yapılır. Ölçüme dayalı yaklaşıma benzer şekilde, HO koşulunu tetiklerken mesafeye dayalı yöntemde bir histerezis marjı kullanırız. Bu şu şekilde gösterilebilir:

$$d_t < d_s - d_{off} \tag{3.13}$$

burada $d_t$ve d_s, UE'nin sırasıyla hedef ve kaynak uydulara olan mesafeleridir ve d_{off}, ofset parametresidir.

3.4.3. Yükseklik Açısı Tabanlı Devir Teslim

Mesafe tabanlı yönteme benzer şekilde, yükseklik açısı tabanlı yaklaşımda UE, en büyük yükseklik açısına (α) sahip olan uydu ile ilişkilendirilir. Burada yine, daha sonra α'yı

hesaplamak için kullanılabilecek UE ve uydu konumlarının mevcudiyetini varsayıyoruz. İlkinin konumu, Kodheli ve diğ. [19]'da bahsettiği üzere Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) koordinatları kullanılarak elde edilebilirken, ikincisi için efemeris verileri kullanılabilir. HO tetiklemesi için aşağıdaki gibi bir ofset parametresi kullanılır:

$$\alpha_t > \alpha_s + \alpha_{off} \tag{3.14}$$

burada α_t ve α_s sırasıyla hedef ve kaynak uydulara göre UE'nin yükselme açılarıdır ve α_{off} ofset parametresidir.

3.4.4. Zamanlayıcı Tabanlı Devir Teslim

Zamanlayıcı tabanlı HO tetikleyicisi, uydunun ayak izinin yerdeki belirli bir hücreyi kapsadığı süreyi tahmin etmek için uydu hızı/yörüngesi bilgisini kullanmayı amaçlar. Örneğin, uydu hızı 7,56 km/s olarak düşünüldüğünde, 50 km çapındaki bir hücre belirli bir uydu tarafından sadece 50/7,56 = 6,61 saniye boyunca kapsanacaktır. Bu nedenle, kullanıcı bir uydu ile ilk ilişkilendirmesini yaptıktan sonra bir zamanlayıcı başlatmak ve her $t_{off} \approx 6.61$ s'den sonra HO'yu başlatmak mümkündür. Bölüm 3.1'de açıklandığı gibi, S_1 uydusunun t_1 zamanında hücre merkezi ile aynı hizada olduğunu varsayıyoruz. Bu nedenle, ilk kullanıcı hücre ilişkisine göre zamanlayıcıyı, t_{off}'u başlatamıyoruz. Adaleti korumak için, ilk aşamada, yani HO'dan önce S_1'den S_2'ye kadar mesafeye dayalı HO ile aynı metodolojiyi kullanıyoruz. UE, S_2'ye teslim edildiğinde, zamanlayıcı t_{off} başlatılır ve zamanlayıcı eşiğine ulaştığında devir teslim S_3'e gerçekleşir.

Bir sonraki bulgular bölümüne geçmeden senaryoyu şu şekilde özetleyebiliriz; Şekil 3.1'de bahsedildiği gibi 3 tane LEO uydumuz aynı eksende hareket ettiğinden her 5 milisaniyede bir NTN konumları veri olarak hesaplanmıştır. Bu veri dizisi ve UE'ler için oluşturduğumuz konum bilgileri alınarak yol kayıpları hesaplanmıştır. Bu yol kayıplarından bulduğumuz değerlere göre Tablo 3.3'de verilen parametreler ışığında bu bölümde belirtilen denklemlere göre HO için hesaplamalar gerçekleşmiştir.

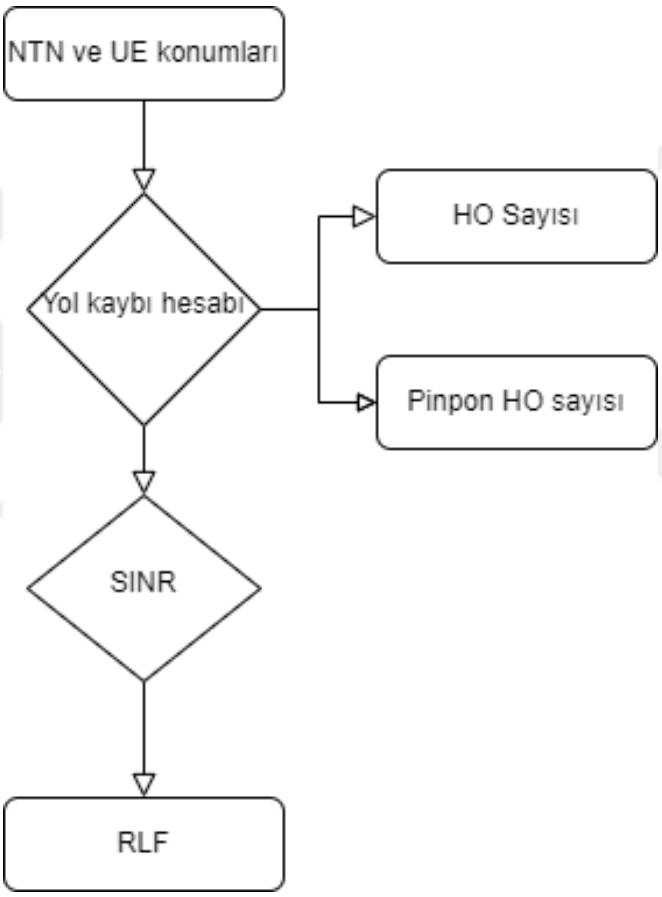
Simülasyonda HO yapabilme kapasitesini anlamak için belirli ofset değerleri tanımlanıp Bölüm 4'te bu bulgulara göre sonuçlar açıklanıp yorumlanmıştır.

Tablo 3.3: Simülasyon varsayımları ve parametreleri

Parametreler	**Değerler**
Senaryo	Yoğun Kentsel
NTN yüksekliği	600 km
Hücre çapı	50 km
EIRP yoğunluğu	34 dBW/MHz
Taşıyıcı Frekansı	2 GHz (S-Bandı)
P_{fluc}	11
Radyo Bağlantı Hatası (RLF)	Q_{in} = -6 dB Q_{out} = -8 dB T310 zamanlayıcı = 500 ms
TTT (ms)	20,40,60,80,100
Q_{hyst} + Q_{off}	1,2,3,4
α_{off}	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
t_{off}	6.4, 6.45, 6.5, 6.55, 6.6, 6.65, 6.7, 6.75, 6.8
d_{off}	1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5
v_{max}	10 m/s

4. BULGULAR

Bu bölümde devir teslim mekanizmalarının yol kaybına göre simülasyonların nasıl gerçekleştirildiği anlatılmış ve simülasyon parametreleri verilip sonuçlar paylaşılmıştır. Sonuçlarla ilgili önemli noktalara ise bu bölümde değinilmektedir.



Şekil 4.1: MATLAB simülasyon şeması

Şekil 4.1'de verilen simülasyon şemasında görüldüğü üzere ilk olarak NTN ve UE'nin hücreyi terk edene kadar geçen sürede konumları bulunmuştur. Oluşturulan matris yol kaybı hesabına koyulduktan sonra HO mekanizmasına göre HO ve PP HO sayıları bulunmuştur. RLF ise Sinyal Parazit Gürültü Oranı (SINR) bulunduktan sonra sonuçlandırılmıştır.

Bu tez kapsamında farklı HO mekanizmaların farklı parametrelere göre performans sonuçları elde edilmiştir. Yapılan simülasyonlar $MATLAB^{®}$ R2021a programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4.1. FARKLI TETİKLEME SÜRELERİ İÇİN ÖLÇÜM TABANLI DEVİR TESLİM TEKNİĞİ SONUÇLARI

4.1.1. Sabit Kullanıcılar için Sonuçlar

Ölçüme tabanlı devir teslim teknikleri için histerezis/ofset değerleri literatürden alınırken, alternatif HO yöntemlerinin değerlerinin simülasyonlarda bu değişkenlerin aralıkları gözlemlendikten sonra sezgisel olarak tasarlanmıştır. Tablo 4.1'de verilen değerlere göre bu sabit kullanıcılar için ölçüm tabanlı metodun performansı HO'lar, PP HO ve RLF'lerin sayısı açısından değerlendirilmesi gerekmektedir.

Tablo 4.1: Farklı TTT değerleri için sabit kullanıcılar açısından ölçüm tabanlı tekniğin sonuçları

TTT (ms)	$Q_{hyst} + Q_{off}$ (dB)	Sabit UE		
		HO	PP HO	RLF
20	1	28426	13318	0
	2	9966	16	0
	3	9606	0	0
	4	9291	0	5
40	1	9719	8	0
	2	9411	0	0
	3	8944	0	50
	4	7784	0	1211
60	1	9421	0	0
	2	9009	0	29
	3	7931	0	1009
	4	1668	0	4105
80	1	9188	0	1
	2	8482	0	307
	3	3869	0	3230

	4	131	0	4615
100	**1**	8953	0	29
	2	7517	0	1241
	3	1004	0	4332
	4	9	0	4675

Tablo 4.1' deki değerler beklendiği gibi, histerezis/ofset değerleri ve TTT değerlerindeki artışla HO'ların sayısı azalır ve RLF'ler artar. TTT süresi az olduğunda değerlendirme aralığımız azlığından dolayı HO sayısı çok fazla çıkmıştır. 5 saniye içinde bir UE hedef hücreden tekrar hizmet veren hücreye geri dönerse Pinpon HO yapmış sayıldığından TTT süresi arttığından bu sayının da arttığına görebiliriz. Ek olarak, HO parametrelerinin belirli değerlerinde ($TTT = 20,\ Q_{hyst} + Q_{off} = 3;\ TTT = 40,\ Q_{hyst} + Q_{off} = 2;\ TTT = 60,\ Q_{hyst} + Q_{off} = 1$) pinpon HO'nun sayısı ve RLF'ler sıfırdır. Tablo 4.4: Farklı ofset değerleri için hareketli kullanıcılar açısından mesafe/konum tabanlı tekniğin sonuçlarıTablo 4.1' de verilen en düşük TTT ve ofset değerindeki ile aynı TTT değeri ile yüksek ofset değeri alındığında HO sayısı yaklaşık 3 kat azalmıştır.

4.1.2. Hareketli Kullanıcılar için Sonuçlar

Hareketli kullanıcılar için Bölüm 3.3'te verilen iki hareketlilik modeli simüle edilip Bölüm 4.1.1'de ki gibi HO, PP HO ve RLF sayılarına bakılmıştır.

Tablo 4.2' de verilmiş olan iki farklı hareketlilik modeli için aynı sabit kullanıcılar olduğu gibi TTT değerlerinin artışıyla HO sayılarının azaldığını ve RLF'lerin arttığını görebiliriz. Ancak burada asıl önemli nokta ise hem sabit hem de hareketli kullanıcıların performans sonuçlarının hemen hemen aynı olduğu görülebilir. Bunun nedeni, LEO uydusunun hareketliliğinin kullanıcı hareketliliğinden çok daha yüksek olmasıdır (10 m/s'ye karşı 7,56 km/s). Yine sabit kullanıcılarda olduğu gibi TTT'nin belirli değerlerinde (Bölüm 4.1.1'de ki ile aynı değerler) PP HO ve RLF sıfır değerini alır.

Tablo 4.2: Farklı TTT değerleri için hareketli kullanıcılar açısından ölçüm tabanlı tekniğin sonuçları

TTT (ms)	$Q_{hyst} + Q_{off}$ (dB)	Hafızalı Hareketli UE			Hafızasız Hareketli UE		
		HO	PP HO	RLF	HO	PP HO	RLF
20	1	28550	13386	0	28368	13271	0
	2	9994	26	0	10025	23	0
	3	9615	0	0	9690	0	0
	4	9307	0	6	9338	0	7
40	1	9738	0	0	9726	9	0
	2	9450	0	0	9416	0	0
	3	8941	0	62	8974	0	62
	4	7749	0	1253	7772	0	1183
60	1	9422	0	0	9403	0	0
	2	8985	0	30	8950	0	36
	3	7915	0	1025	7984	0	1008
	4	1674	0	4092	1688	0	4165
80	1	9194	0	2	9213	0	3
	2	8521	0	317	8544	0	321
	3	3966	0	3228	3996	0	3256
	4	137	0	4630	121	0	4716
100	1	8919	0	22	8960	0	28
	2	7611	0	1264	7654	0	1192
	3	997	0	4336	978	0	4411
	4	16	0	4671	8	0	4754

4.2. MESAFE/KONUM TABANLI DEVİR TESLİM TEKNİĞİNİN SONUÇLARI

Mesafe ve konum tabanlı tekniklerde ölçüme dayalı tekniğe nazaran sinyal gücünden ziyade NTN ve UE arasındaki mesafeye odaklanmıştır. Kabaca mesafenin düşük olduğu yerlerde yol kaybının azalmasıyla daha iyi bağlantı olduğu söylenebilir. Simülasyonu gerçekleştirirken UE konumlarını sabit ve mobil kullanıcılara göre bulduktan sonra klasik Pisagor bağlantısından arasındaki mesafeyi bulduk.

4.2.1. Sabit Kullanıcılar için Sonuçlar

Bölüm 4.1'de açıklanan ölçüm tabanlı yaklaşıma benzer şekilde, mesafe ve konum tabanlı teknikte de belirli ofset değerleri kullanarak HO sayılarına ve RLF'lere bakıyoruz. Bu modelde TTT değerlerine bakmamıza gerek yoktur. Bunun sebebi ise mesafe tabanlı yöntem sadece UE ve NTN arasındaki en kısa mesafeye göre değerlendirilmesidir. Sabit kullanıcının senaryomuzda verilen hareketli NTN'nin konumu arasındaki mesafe esas alınmıştır. Fakat ofset değerlerini hesaba katarak sabit kullanıcılar için HO gerçekleşme durumlarını gözlemek daha kolaylaşmıştır.

Tablo 4.3: Farklı ofset değerleri için sabit kullanıcılar açısından mesafe/konum tabanlı tekniğin sonuçları

Ofset (km)	Sabit Kullanıcı		
	HO	**PP HO**	**RLF**
1	14655	0	0
1.5	13524	0	0
2	11149	0	0
2.5	9572	0	255
3	8594	0	970
3.5	7990	0	1627
4	7830	0	2194
4.5	7648	0	2547
5	7385	0	2893

Örneğin Tablo 4.3' te görüldüğü üzere mesafe/konum tabanlı sabit kullanıcıların, ölçüme dayalı yöntemdeki gibi ofset değerlerinin artmasıyla HO'ların sayısı azalır ve RLF'ler artar. Sonuçlarda da görüldüğü üzere belirli ofset değerlerinde $(1, 1.5, 2\ km)$ PP HO ve RLF sıfır olarak gözükmektedir. Fakat bu durumda da HO sayıları yüksek olduğundan sistemin performansının azalması demektir. HO sayısını azaltmak istediğimizde ofset değerini azaltıyoruz fakat bu da çok yüksek bağlantı hatalarına sebep oluyor.

4.2.2. Hareketli Kullanıcılar için Sonuçlar

Bu bölümde de mesafe/konum tabanlı teknikler için kullanıcıların haraketli olduğu durumlar simüle edilmiştir.

Tablo 4.4: Farklı ofset değerleri için hareketli kullanıcılar açısından mesafe/konum tabanlı tekniğin sonuçları

Ofset (km)	Hafızalı Hareketli UE			Hafızasız Hareketli UE		
	HO	PP HO	RLF	HO	PP HO	RLF
1	14656	0	0	14659	0	0
1.5	13523	0	0	13524	0	0
2	11149	0	0	11149	0	0
2.5	9572	0	271	9572	0	247
3	8594	0	1012	8597	0	947
3.5	7991	0	1684	7992	0	1652
4	7830	0	2254	7830	0	2300
4.5	7648	0	2598	7647	0	2582
5	7385	0	2969	7383	0	2992

Yine benzer şekilde Tablo 4.4'te verilen farklı ofset değerlerinin HO sayılarını azalttığını ve RLF'ler de artışa sebep olduğunu görüyoruz. PP HO sıfır olmasının sebebi ofset değerlerinin bu durumu engellemesinde kaynaklamaktadır. Eğer ki ofset değerlerini 1 km'den küçük değeler seçersek bu durumda PP HO oluşacaktır. Fakat çalışmadaki amacımız az sayıda HO ile sinyal performansı yüksek sistemler elde etmek olduğundan bu durumu ele almadık. Bu teknikte de ölçüme dayalı teknikte olduğu gibi sabit kullanıcıların hareketli kullanıcılarla çok yakın sonuçlar getirdiğini görüyoruz. Bölüm 4.2.1' de vermiş olduğumu ofset değerlerindeki gibi hareketli kullanıcılarda da PP HO ve RLF aynı anda sıfır değerini almıştır.

4.3. YÜKSEKLİK AÇISI TABANLI DEVİR TESLİM TEKNİĞİNİN SONUÇLARI

4.3.1. Sabit Kullanıcılar için Sonuçlar

Bölün 4.2.1'de ki sabit kullanıcılar için mesafeye dayalı tekniğe benzer şekilde, bu modelde Şekil 3.1'de yükseklik açısı parametresi ele alınarak sonuçlar verilmiştir. Modelde (3.12)'de ki eşitlik kullanılarak UE ile NTN arsındaki açı arttıkça NTN'ler arası hedef NTN ile merkez NTN arasında HO yapılmaktadır.

Tablo 4.5: Farklı ofset değerleri için sabit kullanıcılar açısından yükseklik açısı tabanlı tekniğin sonuçları

Ofset (α)	Sabit Kullanıcı		
	HO	**PP HO**	**RLF**
1°	15460	0	0
2°	14990	0	0
3°	14273	0	0
4°	13232	0	0
5°	7831	0	2191
6°	7501	0	2739
7°	6971	0	3316
8°	6185	0	3857
9°	4952	0	4297
10°	0	0	4679

Tablo 4.5'te görüldüğü üzere açı ofset değerleri verilerek HO, PP HO ve RLF sayılarına bakılmıştır. Ölçüme dayalı yöntemdeki gibi ofset değerlerinin artmasıyla HO'ların sayısı azalır ve RLF'ler artar. Sonuçlarda da görüldüğü üzere belirli açı ofset değerlerinde $(1°, 2°, 3°, 4°)$ PP HO ve RLF sıfır olarak gözükmektedir. Ancak 10° ofset değerinde HO sıfır olmaktadır. Fakat bu durumda da RFLF sayıları yüksek olduğundan sistemin performansının azalması demektir.

Ek olarak, düşük ofset değerlerinde bile pinpon HO etkisinin olmaması ilginçtir. Bunun nedeni, gölge sönümü şeklinde bir miktar rastgeleliğin olduğu RSS'den farklı olarak, mesafe, açı veya zamanlayıcı tabanlı yaklaşımlar için ihmal edilebilir olmasıdır.

4.3.2. Hareketli Kullanıcılar için Sonuçlar

Bu bölümde de açı tabanlı teknikler için kullanıcıların haraketli olduğu durumlar simüle edilmiştir.

Yine benzer şekilde Tablo 4.6'da verilen farklı ofset değerlerinin HO sayılarını azalttığını ve RLF'ler de artışa sebep olduğunu görüyoruz. Bu teknikte de ölçüme dayalı teknikte olduğu gibi sabit kullanıcıların hareketli kullanıcılarla çok yakın sonuçlar getirdiğini görüyoruz.

Tablo 4.6: Farklı ofset değerleri için hareketli kullanıcılar açısından yükseklik açısı tabanlı tekniğin sonuçları

Ofset (α)	Hafızalı Hareketli UE			Hafızasız Hareketli UE		
	HO	PP HO	RLF	HO	PP HO	RLF
1°	15459	0	0	15458	0	0
2°	14990	0	0	14989	0	0
3°	14274	0	0	14273	0	0
4°	13231	0	0	13233	0	0
5°	7831	0	2250	7830	0	2293
6°	7501	0	2808	7500	0	2845
7°	6971	0	3351	6968	0	3409
8°	6175	0	3837	6174	0	3935
9°	4952	0	4308	4950	0	4406
10°	0	0	4678	0	0	4758

4.4. ZAMANLAYICI TABANLI DEVİR TESLİM TEKNİĞİNİN SONUÇLARI

4.4.1. Sabit Kullanıcılar için Sonuçlar

Zamanlayıcı tabanlı modeller de NTN belirlediğimiz süre (yaklaşık bir NTN'nin hücreyi geçme süresinden biraz az) boyunca HO yapmadığı varsayılmaktadır. Bu sisteme dayanarak sabit kullanıcılar için 6.4 saniyeden itibaren 6.8 saniyeye kadar olan ofset değerleri alınarak sonuçlar Tablo da verilmiştir.

Tablo 4.7'de verilen ofset değerlerinin 50 milisaniye civarlarında değişmesi HO sayısında pek bir değişiklik yaptığı gözükmektedir. Fakat HO sayısı çok yüksek çıktığı gözükmektedir. Bundan sebep RLF ve PP HO sayıları sıfır olmaktadır. HO sayısının yüksek çıkmasının sebebi diğer metotlara nazaran zamanlayıcı ile yapılan sonuçların çok kör olmasıdır. Kullanılan diğer metotlarda NTN'nin milisaniyedeki konum, açı ve ölçüm değerlerine bakarak değerlendirilmesi bu metoda nazaran daha iyi sonuçlar vermektedir.

Tablo 4.7: Farklı ofset değerleri için sabit kullanıcılar açısından zamanlayıcı tabanlı tekniğin sonuçları

Ofset (s)	Sabit Kullanıcı		
	HO	PP HO	RLF
6.4	15708	0	0
6.45	15708	0	0
6.5	15708	0	0
6.55	15708	0	0
6.6	15708	0	0
6.65	15706	0	0
6.7	15699	0	0
6.75	15690	0	0
6.8	15681	0	0

4.4.2. Hareketli Kullanıcılar için Sonuçlar

Bu bölümde ise zamanlayıcı tabanlı teknikler için kullanıcıların haraketli olduğu durumlar simüle edilmeye çalışılmıştır.

Tablo 4.8: Farklı ofset değerleri için hareketli kullanıcılar açısından zamanlayıcı tabanlı tekniğin sonuçları

Ofset (s)	Hafızalı Hareketli UE			Hafızasız Hareketli UE		
	HO	PP HO	RLF	HO	PP HO	RLF
6.4	15708	0	0	15708	0	0
6.45	15708	0	0	15708	0	0
6.5	15708	0	0	15708	0	0
6.55	15708	0	0	15708	0	0
6.6	15708	0	0	15708	0	0
6.65	15706	0	0	15706	0	0
6.7	15699	0	0	15699	0	0
6.75	15690	0	0	15690	0	0
6.8	15681	0	0	15681	0	0

Yukarıda verilen Tablo 4.8’de elde edilen sonuçlar sabit kullanıcılardakilerle birebir aynı olduğunu görebiliyoruz.

Bütün teknikler göz önüne alındığında geleneksel HO tetiklemesinin yani ölçüme dayalı tekniğin bir NTN senaryosunda hala daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.

Bu çalışmada, düşük dünya yörüngesine (LEO) dayalı bir karasal olmayan ağ senaryosundaki devir teslim performansları analiz etmiştir. 3GPP’ye dayalı parametrelerle gerçekleştirilen simülasyonlar, LEO uydularının yüksek hareketliliğinden kaynaklanan hizmet sürekliliğinde bazı sıkıntılar olduğunu göstermiştir.

5. TARTIŞMA

Bu çalışma, düşük dünya yörüngesine (LEO) dayalı bir karasal olmayan ağ senaryosundaki devir teslim performansını analiz etmiştir. Karasal ağlarda, kullanıcılar ölçülen RSS, temelinde bir hücreden bir diğerine aktarılır. Alınan sinyali belirli bir süre için hizmet verenden belirli bir histerezis(eşik) değerinden daha güçlü olduğunda HO tetiklenir [20]. Aksi takdirde, NTN'ler den kapsamı alanı genişliğinden dolayı azalan RSS varyasyonu ile HO mekanizmalarının etkinliği tehlikeye girebilir.

Buna göre, bazı yeni çalışmalar bu sorunun farklı yönlerine bakılmıştır. LEO uyduları HO mekanizmalarıyla ilgili genel eğilimler, yazarların gelecekteki ağlarda içerik ve cihaza özgü yaklaşımlara olan ihtiyacı vurguladığı Park ve Kim [21]'de ki konferansında verilmiştir. LEO tabanlı NTN'ler de geleneksel HO mekanizmasının performansı, iki karasal senaryoyla, yani kentsel makro ve yüksek hızlı trenle [22]'da Juan ve diğ. tarafından karşılaştırılmıştır ve sonuçlar, performansın kesinti, HO'lar ve RLF'ler açısından önemli ölçüde düştüğünü göstermektedir. NTN'ler de mmWave bant işlemi için ulaşılabilir veri hızları/kapasitesi [23]'te incelenmiştir. [24]'te ki Baik ve Kim tarafından, hareketli ışınlar durumunda aşırı HO'ları azaltmak için sabit ışınlı LEO uydularının kullanımını önermekte ve analiz etmektedir. Ayrıca 3GPP, CHO durumuna çözümler getirerek, geleneksel HO yöntemlerinin potansiyel olarak geliştirmiştir.

Bununla birlikte, yukarıda bahsedilen çalışmaların hiçbiri, şimdiye kadar geleneksel HO mekanizmalarına herhangi bir alternatifi değerlendirmedi. Buna göre, bu çalışmada ilk olarak 3GPP [12]'de önerilen alternatif devir mekanizmalarının bir uygulamasını sunduk. Ayrıca, bu mekanizmaların, yani mesafe/konum, yükseklik açısı ve zamanlayıcı tabanlı yöntemlerin simülasyon tabanlı karşılaştırmalı analizini gerçekleştirdik. Bu yöntemlerin performansı, HO'ların sayısı, PP HO'lar ve RLF'ler açısından değerlendirilir ve geleneksel ölçüme dayalı yaklaşımla kıyaslayarak en iyi performansı değerlendirmeye çalıştık.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu projede uydular arası geçiş tekniği önerilmiş ve performansı değerlendirilmiş, ayrıca sabit ve hareketli kullanıcılar için devir teslim değerlendirilmesi ele alınmıştır. Önerilen planın arkasındaki ana mekanizma, LEO'lar hızlı hareketinden kaynaklanan devir teslim taleplerinin en etkili yöntemi gerçekleşmesidir. Özel girişimler tarafından yönlendirilen uygun maliyetli uydu çözümleri ile birleştiğinde her yerde bulunan bağlantıya yönelik artan ihtiyaç hem endüstriyel hem de standardizasyon perspektifinden NTN'ler etrafında bir faaliyet telaşına yol açmıştır. Bununla birlikte, NTN'ler ve özellikle LEO uyduları, artan HO'lara yol açan uydunun kendisinin hareketliliği de dahil olmak üzere ek zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca, karasal muadillerine kıyasla bu ağlardaki azaltılmış RSS varyasyonu, yeni HO mekanizmalarının araştırılmasını gerektirir. Bu tez çalışmasında, geleneksel ölçüm tabanlı HO'ların performansını, konum/mesafe, yükseklik açısı ve zamanlayıcı tabanlı yöntemler gibi alternatiflerle HO, PP HO ve RLF sayısı açısından karşılaştırdık.

Bölüm 4'teki genel sonuçlara dayanarak, LEO tabanlı NTN'lerin hizmet sürekliliğini sağlamak için yeni hareketlilik çözümleri talep ettiği sonucuna varıyoruz. Umut verici bir gelişme, uydu hareketinin bilgisi ile ilgilidir. LEO takımyıldızları çeşitli zorluklara işaret eder, ancak yörüngeler belirleyicidir ve bu nedenle ağ, belirli bir UE'yi hangi ışının en iyi kapsadığını, UE'nin kapsanacağı süreyi ve devredilecek bir sonraki ışın adayının en iyi olduğunu tahmin edebilir. Bu tür bir yaklaşım, HO olaylarının tetiklenmesini optimize edebilir ve arıza durumunda bağlantının yeniden kurulması sürecini iyileştirebilir. Analizimiz, uygun parametre seçiminin yapılması koşuluyla, geleneksel HO mekanizmasının bu alternatiflerden hala daha iyi performans gösterebileceğini göstermektedir. Ancak burada yinelemek isteriz ki, bu çalışmanın amacı doğrultusunda sadece homojen bir NTN' ele aldık, yani karasal ağ veya farklı irtifalarda/yörüngelerdeki uydular dikkate alınmadı. Ek olarak, yükseklik açısı, konum veya mesafe gibi ölçümlerin elde edilmesinde fizibilite veya olası hatalara bakmadık. Aksine, bu yönler gelecekteki bir çalışma olarak bırakılmıştır. Ayrıca devir teslim algoritmalarının belli koşul altında gerçekleştirilen olan yaklaşım, koşullu HO (CHO) kullanımıyla yeni teknikler kullanılarak çalışma desteklenebilir.

KAYNAKLAR

[1] F. Rinaldi, H. L. Maattanen, J. Torsner, S. Pizzi, S. Andreev, A. Iera ve G. Araniti, Non-terrestrial networks in 5G & beyond: A survey, *IEEE Access,* cilt 8, pp. 165178-165200, 2020.

[2] Z. Zhang, Y. Xiao, Z. Ma, M. Xiao, Z. Ding, X. Lei ve P. Fan, 6G wireless networks: Vision, requirements, architecture, and key technologies, *IEEE Vehicular Technology Magazine,* cilt 14, no. 3, pp. 28-41, 2019.

[3] J. A. Del Peral-Rosado, R. Raulefs, J. A. López-Salcedo ve G. Seco-Granados, Survey of cellular mobile radio localization methods: From 1G to 5G, *IEEE Communications Surveys & Tutorials,* cilt 20, no. 2, pp. 1124-1148, 2017.

[4] A. A. Elbashir, H. H. A. Alhassan, A. G. Abdalla ve D. Samb, Location Based Services Algorithm for Teletraffic Management in Mobile Communication Networks, *In 2012 8th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing,* Shanghai, China, 2012 , September.

[5] Al-Kandari, WiMAX vs. LTE: An analytic comparison, *In 2014 Fourth International Conference on Digital Information and Communication Technology and its Applications (DICTAP),* Thailand, 2014, May.

[6] M. Giordani ve M. Zorzi, Non-terrestrial networks in the 6G era: Challenges and opportunities, *IEEE Network,* cilt 35, no. 4, pp. 244-251, 2020.

[7] V. Y. K. Loung, Capacity Estimation for 5G Cellular Networks. Turkish Journal of Computer and Mathematics Education, *TURCOMAT,* cilt 12, no. 3, pp. 4530-4537, 2021.

[8] N. Panwar, S. Sharma ve A. K. Singh, A survey on 5G: The next generation of mobile communication, *Physical Communication,* cilt 18, pp. 64-84, 2016.

[9] M. S. Mazhar, Y. Saleem, A. Almogren, J. Arshad, M. H. Jaffery, A. U. Rehman ve H. Hamam, Forensic Analysis on Internet of Things (IoT) Device Using Machine-to-Machine (M2M) Framework, *Electronics,* cilt 11, no. 7, p. 1126, 2022.

[10] O. Liberg, S. E. Löwenmark, S. Euler, B. Hofström, T. Khan, X. Lin ve J. Sedin, Narrowband internet of things for non-terrestrial networks, *IEEE Communications Standards Magazine,* cilt 4, no. 4, pp. 49-55, 2020.

[11] A. Sattarzadeh, Y. Liu, A. Mohamed, R. Song, P. Xiao, Z. Song ve C. Niu, Satellite-Based Non-Terrestrial Networks in 5G: Insights and Challenges, *IEEE Access,* cilt 10, pp. 11274-11283, 2021.

[12] 3GPP, Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks (Release 15)," Technical Report 38.811, ver 15.4.0, *3rd Generation Partnership Project,* Sept. 2020.

[13] J. Noll ve M. M. Chowdhury, 5G: Service continuity in heterogeneous environments, *Wireless Personal Communications*, cilt 57, no. 3, pp. 413-429, 2011.

[14] P. Fan, J. Zhao ve I. Chih-Lin, 5G high mobility wireless communications: Challenges and solutions, *China Communications,* cilt 13, no. 2, pp. 1-13, 2016.

[15] J. Wu ve P. Fan, A survey on high mobility wireless communications: Challenges, opportunities and solutions, *IEEE Access,* cilt 4, pp. 450-476, 2016.

[16] 3GPP, Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN) (Release 16), Technical Report 38.821, *3rd Generation Partnership Project,* May 2021.

[17] M. S. J. Solaija, S. Doğan, S. Büyükçorak ve H. Arslan, Hybrid terrestrial-aerial network for ultra-reliable low-latency communication, *In 2019 IEEE 30th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, Istanbul, Turkey, 2019, September.

[18] H. Tabassum, M. Salehi ve E. Hossain, Fundamentals of mobility-aware performance characterization of cellular networks: A tutorial, *IEEE Communications Surveys & Tutorials,* cilt 21, no. 3, pp. 2288-2308, 2019.

[19] O. Kodheli, N. Maturo, S. Chatzinotas, S. Andrenacci ve F. Zimmer, On the random access procedure of NB-IoT non-terrestrial networks, *In 2020 10th Advanced Satellite Multimedia Systems Conference and the 16th Signal Processing for Space Communications Workshop*, Graz, Austria, 2020, October.

[20] A. Khlass, D. Laselva ve R. Jarvela, On the flexible and performance-enhanced radio resource control for 5G NR networks, *In 2019 IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall)*, Honolulu, HI, USA, 2019, September.

[21] S. Park ve J. Kim, Trends in LEO Satellite Handover Algorithms, *12th International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN),* Barcelona, Spain, 2021.

[22] E. Juan, M. Lauridsen, J. Wigard ve P. E. Mogensen, 5G New Radio Mobility Performance in LEO-based Non-Terrestrial Networks, *Globecom Workshops*, Taipei, Taiwan, 2020.

[23] M. Giordani, M. Polese, M. Mezzavilla, S. Rangan ve M. Zorzi, Toward 6G networks: Use cases and technologies, *IEEE Communications Magazine,* cilt 58, no. 3, pp. 55-61, 2020.

[24] J. S. Baik ve J.-H. Kim, Analysis of the Earth Fixed Beam Duration in, *International Conference on Information Networking*, Bangkok, Thailand, 2021.

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

Yusuf_İslam_Demir

ORİJİNALLİK RAPORU

%6	%4	%0	%4
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%2
2	loranedir.com İnternet Kaynağı	%1
3	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%1
4	Submitted to Ege Üniversitesi Öğrenci Ödevi	%1
5	arxiv.org İnternet Kaynağı	<%1
6	Submitted to Istanbul Aydin University Öğrenci Ödevi	<%1
7	reberz.com İnternet Kaynağı	<%1
8	Submitted to Universiti Teknologi MARA Öğrenci Ödevi	<%1
9	ichi.pro İnternet Kaynağı	<%1