



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



HAPS AĞLARI İÇİN OPTİMİZASYON
UYGULAMALARI

Battal Bura ÜRKÜT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Battal Bura ÜRKÜT tarafından hazırlanan “HAPS AĞLARI İÇİN OPTİMİZASYON UYGULAMALARI” adlı tez çalışması 06/01/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Muhammed Fahri ÜNLERŞEN

.....

Danışman

Doç. Dr. Ayşe Elif CANBİLEN

.....

Üye

Doç. Dr. Hasan KOYUNCU

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Battal Bura ÜRKÜT

Tarih: 06/01/2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAPS AĞLARI İÇİN OPTİMİZASYON UYGULAMALARI

Battal Bura ÜRKÜT

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Ayşe Elif CANBİLEN

2025, 61 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Ayşe Elif CANBİLEN
Doç. Dr. Muhammed Fahri ÜNLERŞEN
Doç. Dr. Hasan KOYUNCU**

İletişimin insan yaşamındaki vazgeçilmez önemi her geçen gün daha da artırmaktadır. Bu durum, iletişim alanında yeni teknolojilerin geliştirilmesini teşvik etmektedir. Kablosuz iletişimde yaygın olarak kullanılan teknolojilerden bir tanesi karasal ağlar (terrestrial networks, TN) olarak bilinmektedir. Ancak, modern dünyada değişen yaşam koşulları ve özellikle şehir merkezlerinden uzak bölgelerde TN teknolojisinin yetersiz kalması, karasal olmayan ağların (non-terrestrial networks, NTN) önem kazanmasına yol açmıştır.

NTN, yeryüzü sınırlarının ötesinde hizmet sunan, uzay tabanlı iletişim ağlarını kullanarak bağlantı imkanı sağlayan bir iletişim altyapısını ifade eder. Bu ağlar, küresel ölçekte kapsama alanı sağlamada ve altyapının sınırlı olduğu ya da hiç bulunmadığı bölgelerde hizmet verilmesinde kritik bir rol üstlenmektedir. NTN teknolojileri arasında yer alan yüksek irtifa platform istasyonları (high altitude platform stations, HAPS) sağladıkları avantajlar sayesinde kablosuz iletişim alanında giderek daha fazla ilgi görmektedir. HAPS, TN'lere kıyasla birçok avantaj sunarak daha verimli ve etkili bir çözüm haline gelmiştir. Ancak bu teknoloji, gelişim aşamasında olup istenen seviyeye henüz tam olarak ulaşamamıştır.

HAPS sistemlerinin hedeflenen performans seviyelerine ulaşabilmesi için çeşitli optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır. Bu noktada, pil ömrünün ve hava koşullarına dayanıklılığının artırılması, iletişim sistemlerinin iyileştirilmesi gibi konular üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. İletişim kalitesinin artırılması kapsamında; daha fazla kullanıcıya hizmet sağlanması, veri iletim hızlarının artırılması ve sistem performansının iyileştirilmesi gibi hedefler ön plandadır. Bu tez çalışmasında, HAPS sistemlerindeki kablosuz iletişimde önemli bir performans göstergesi olan toplam oran (sum-rate) parametresi parçacık sürü optimizasyonu (partial swarm optimization, PSO), yapay arı kolonisi optimizasyonu (artificial bee colony, ABC) ve gri kurt optimizasyonu (gray wolf optimization, GWO) algoritmaları kullanılarak optimize edilmiş; GWO algoritması için, farklı hava koşulları, farklı baz istasyonu sayıları, bina içi ve bina dışı kullanıcı durumları, farklı çalışma frekansları gibi farklı senaryolar değerlendirilerek elde edilen optimizasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gri Kurt Optimizasyonu (GWO), Karasal Olmayan Ağlar (NTN), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Yapay Arı Kolonisi Optimizasyonu (ABC), Yüksek İrtifa Platform İstasyonu (HAPS).

ABSTRACT

MS THESIS

OPTIMIZATION APPLICATIONS FOR HAPS NETWORKS

Battal Bura ÜRKÜT

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ayşe Elif CANBİLEN

2025, 61 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Ayşe Elif CANBİLEN
Assoc. Prof. Dr. Muhammed Fahri ÜNLERŞEN
Assoc. Prof. Dr. Hasan KOYUNCU**

The indispensable importance of communication in human life is increasing with each passing day. This situation encourages the development of new technologies in the field of communication. One of the commonly used technologies in wireless communication is terrestrial networks (TN). However, in the modern world, changing living conditions, particularly in regions far from city centers, highlight the inadequacies of TN technology and lead to the growing importance of non-terrestrial networks (NTN).

NTN refers to a communication infrastructure that provides connectivity using space-based communication networks beyond terrestrial boundaries. These networks play a critical role in providing global coverage and offering services in regions where infrastructure is limited or nonexistent. Among NTN technologies, high altitude platform stations (HAPS) are gaining increasing attention in the field of wireless communication due to their advantages. Compared to TNs, HAPS offers numerous benefits, making it a more efficient and effective solution. However, this technology is still in the development stage and has not yet reached the desired level.

To achieve the targeted performance levels of HAPS systems, various optimization algorithms are utilized. At this point, significant efforts are being made to enhance battery life, improve resilience to weather conditions, and optimize communication systems. In the context of improving communication quality, objectives such as serving more users, increasing data transmission rates, and enhancing system performance are prioritized. In this thesis, the sum-rate parameter, a key performance indicator in wireless communication within HAPS systems, was optimized using particle swarm optimization (PSO), artificial bee colony optimization (ABC), and gray wolf optimization (GWO) algorithms. For the GWO algorithm, optimization results were compared under various scenarios, including different weather conditions, varying numbers of base stations, indoor and outdoor user conditions, and different operating frequencies.

Keywords: Artificial Bee Colony Optimization (ABC), Gray Wolf Optimization (GWO), High Altitude Platform Station (HAPS), Non-Terrestrial Networks (NTN), Particle Swarm Optimization (PSO).

ÖNSÖZ

Tüm çalışmalarında değerli bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, araştırma ve geliştirme çabalarımnda yardımlarını esirgemeyen ve hiçbir sorumu cevapsız bırakmayan, saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Ayşe Elif CANBİLEN'e, bölümümüzün değerli öğretim elemanlarına ve maddi, manevi katkılarını esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Battal Bura ÜRKÜT
KONYA-2025



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
Kısaltmalar.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	8
3.1. Karasal Ağlar (TN'ler).....	8
3.1.1. TN'lerin Avantajları ve Dezavantajları	8
3.2. Karasal Olmayan Ağlar (NTN'ler)	11
3.2.1. Alçak Dünya Yörüngesi (Low Earth Orbit, LEO) Uyduları	12
3.2.2. Orta Dünya Yörüngesi (Medium Earth Orbit, MEO) Uyduları.....	14
3.2.3. Statik Dünya Yörüngesi (Geostationary Earth Orbit, GEO) Uyduları	15
3.2.4. İnsansız Hava Araçları (Unmanned Aerial Vehicles, UAV).....	16
3.3. NTN'lerin Avantajları ve Dezavantajları	18
3.4. Yüksek İrtifa Platform İstasyonları (HAPS).....	19
3.4.1. HAPS'lerin Avantajları ve Dezavantajları	20
3.4.2. HAPS'e İhtiyaç Duyulma Sebepleri	21
3.5. Uyarlanabilir Akıllı Yüzeyler (RIS)	22
3.6. HAPS'in Optimizasyon İhtiyaçları	23
3.7. Optimizasyon	24
3.7.1. Kullanılan Optimizasyon Teknikleri	25
3.7.1.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO).....	25
3.7.1.2. Yapay Arı Kolonisi (ABC)	25
3.7.1.3. Gri Kurt Optimizasyonu (GWO)	25
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	30
4.1. Hücre İçi İletişim	30
4.2. Hücre Dışı İletişim.....	32
4.3. Kullanıcı Yerleşimi ve Yol Kaybı Hesaplamaları	33
4.4. PSO ile HAPS-RIS İletişim Optimizasyonu.....	37
4.5. ABC ile HAPS-RIS İletişim Optimizasyonu	39
4.6. GWO ile HAPS-RIS İletişim Optimizasyonu	41
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	48
5.1 Sonuçlar	48
5.2 Öneriler	49

KAYNAKLAR	50
------------------------	-----------



KISALTMALAR

Kısaltmalar

ABC	: Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony)
CSI	: Kanal Durum Bilgisi (Channel State Information)
FSO	: Serbest Uzay Optik (Free Space Optical)
GEO	: Jeostatik Dünya Yörüngesi (Geostationary Earth Orbit)
GWO	: Gri Kurt Optimizasyonu (Gray Wolf Optimization)
HAPS	: Yüksek İrtifa Platform İstasyonu (High Altitude Platform Station)
IoT	: Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)
LAP	: Düşük İrtifa Platformu (Low Altitude Platform)
LEO	: Alçak Dünya Yörüngesi (Low Earth Orbit)
LOS	: Direkt Görüş Hattı (Line-of-Sight)
LTE	: Uzun Vadeli Evrim (Long Term Evolution)
MEC	: Mobil Uç Bilişim (Mobile Edge Computing)
MEO	: Orta Dünya Yörüngesi (Medium Earth Orbit)
NTN	: Karasal Olmayan Ağ (Non-Terrestrial Network)
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)
RIS	: Uyarlanabilir Akıllı Yüzey (Reconfigurable Intelligent Surface)
TCP	: İletim Kontrol Protokolü (Transmission Control Protocol)
TDMA	: Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (Time Division Multiple Access)
TN	: Karasal Ağ (Terrestrial Network)
UAVs	: İnsansız Hava Araçları (Unmanned Aerial Vehicle)

1. GİRİŞ

İletişim, insan yaşamının temel ihtiyaçlarından biri olup, tarih boyunca teknolojik gelişmelerle birlikte önemi giderek artmıştır. İlk çağlardan bu yana insanlar, iletişim ihtiyaçlarını karşılamak için farklı yöntemler geliştirmişlerdir. Modern dünyada, iletişim altyapıları hızla değişmiş ve teknolojinin gelişmesiyle kablolu sistemlerden kablosuz sistemlere geçiş sağlanmıştır. Kablolu altyapılar, geçmişte iletişim için temel bir çözüm sunmuş olsa da, günümüzün dinamik ve geniş ölçekli iletişim ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Özellikle şehir merkezleri dışındaki alanlarda erişimin sınırlı olması, kablosuz iletişim teknolojilerinin günlük yaşamda vazgeçilmez bir yer edinmesine yol açmıştır.

Kablosuz iletişim, son yıllarda sağladıkları esneklik ve yüksek performans sayesinde büyük teknolojik gelişmelerin önünü açmıştır. Bu teknolojiler yaygın olarak, karasal ağları (Terrestrial Networks, TN) kullanmaktadır. TN'ler, şehir merkezleri gibi yoğun nüfuslu bölgelerde etkili bir iletişim altyapısı sağlamakla birlikte, kırsal ve uzak bölgelerde yetersiz kalabilmektedir. Bu durum, karasal olmayan ağların (Non-Terrestrial Networks, NTN) önem kazanmasına neden olmuştur. NTN'ler, iletişim teknolojilerinde bir sonraki adımı temsil eder ve kapsama alanı sağlamada, kullanıcı taleplerini karşılamada, teknolojik yeterliliklerde, dijital uçurumu kapatmada ve altyapının sınırlı olduğu yerlerde iletişim sağlamada kritik bir rol oynarlar.

NTN teknolojilerinin içinde en dikkat çeken inovasyonlardan biri, Yüksek İrtifa Platform İstasyonlarının (High Altitude Platform Stations, HAPS) geliştirilmesidir. HAPS, yerden 20 kilometre yüksekliğe kadar konuşlandırılan hava platformları aracılığıyla geniş bir kapsama alanı sunar. HAPS sistemleri, geleneksel TN'lere kıyasla birçok avantaja sahiptir. Bu avantajlar arasında hızlı konuşlanabilirlik, düşük maliyet ve felaket sonrası iletişim altyapısının hızlı bir şekilde sağlanması yer alır. Örneğin, doğal afetler sırasında yer altyapısının zarar görmesi durumunda HAPS, kesintisiz iletişim sağlayabilir ve afet bölgelerine yardım faaliyetlerini kolaylaştırabilir.

Bununla birlikte HAPS, mevcut sistemlere başarılı bir şekilde entegre edilebilmesi noktasında bazı zorluklar bulunmaktadır. Enerji tüketimi, aerodinamik dayanıklılık ve iletişim kapasitesinin artırılması gibi konular, HAPS sistemlerinin verimli bir şekilde çalışması için optimize edilmesi gereken temel unsurlar arasında yer alır. Literatürde, bu sistemlerin performansını artırmak amacıyla birçok optimizasyon çalışması yapılmıştır. Örneğin, Safi ve ark. (2020), HAPS ve serbest uzay optik (free

space optical, FSO) iletişim teknolojilerini birleştirerek, atmosferik türbülans ve geliş açısı dalgalanmaları gibi zorlukları analiz etmiş ve matematiksel modeller geliştirilerek bu bağlantıların optimal tasarımını sağlamıştır.

HAPS sistemlerinin önemli bir özelliği, kapsama alanını genişleterek daha fazla kullanıcıya hizmet sunabilmesidir. Geleneksel baz istasyonlarının sınırlı menziline kıyasla, HAPS sistemleri geniş bir coğrafi alanı kapsayabilir ve bu da özellikle kırsal bölgeler için büyük bir avantaj sağlar. Ancak, kapsama alanının genişletilmesi, iletişim kalitesini etkileyebilecek birçok teknik sorunu da beraberinde getirir. Bu bağlamda, kapsama ve kapasite optimizasyonu, HAPS sistemlerinin etkinliğini artırmak için kritik bir gereklilik haline gelmiştir (Xu ve ark., 2017).

Kablosuz iletişimde verimliliği artırmanın bir diğer önemli yolu, optimizasyon algoritmalarının kullanımıdır. Optimizasyon, belirli bir hedef doğrultusunda en iyi çözümü bulmayı amaçlayan matematiksel bir disiplindir ve mühendislikten ekonomiye, lojistikten yapay zekâya kadar birçok alanda uygulanmaktadır. HAPS sistemlerinde, optimizasyon algoritmaları, toplam oran (sum-rate) parametresini iyileştirmek, enerji tüketimini azaltmak ve veri iletim hızını artırmak gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Örneğin, Ganhao ve ark. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, HAPS üzerindeki zaman bölmeli çoklu iletişim (time division multiple access, TDMA) sistemleri için enerji ve paket gecikmesi performansları analiz edilmiş ve çapraz katman optimizasyon teknikleri kullanılarak verimlilik artırılmıştır.

Bu tez çalışmasında, HAPS sistemlerinin performansını artırmak için Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO), Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony, ABC) ve Gri Kurt Optimizasyonu (Grey Wolf Optimization, GWO) algoritmaları karşılaştırılmıştır. Bu algoritmalar, doğadan ilham alan meta-sezgisel yöntemler arasında yer almakta olup, kablosuz iletişimde etkin çözümler sunmaktadır. PSO, kuş sürülerinin yiyecek arama davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş bir algoritmadır ve sürekli problemler için etkili bir çözüm sunar. ABC, arıların yiyecek bulma davranışlarını model alırken; GWO, kurt sürülerinin avlanma stratejilerini taklit ederek çözüm arar. Literatürde, bu algoritmaların çeşitli uygulamalarla performanslarının test edildiği birçok çalışma bulunmaktadır (He ve ark., 2022; Hashmi ve ark., 2023).

HAPS sistemleri için yapılan bu optimizasyon çalışmaları, sadece teknik performansı artırmakla kalmaz, aynı zamanda bu sistemlerin ekonomik ve sürdürülebilir bir şekilde uygulanabilirliğini de sağlar. Özellikle, enerji verimliliği ve maliyet etkinliği

gibi faktörler, HAPS sistemlerinin geniş ölçekli uygulamaları için kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, enerji optimizasyonu üzerine yapılan çalışmalar, HAPS sistemlerinin daha uzun süreler boyunca çalışmasını sağlamayı hedeflemektedir. Ayrıca, yeniden yapılandırılabilir akıllı yüzeylerin (Reconfigurable Intelligent Surfaces, RIS) HAPS ile entegrasyonu, iletişim kalitesini artırmak için umut verici bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Alfattani ve ark., 2022).

Sonuç olarak, bu tez çalışması, HAPS sistemlerinin optimizasyonu konusunda literatürdeki mevcut bilgi birikimine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Çalışma, HAPS sistemlerinin farklı hava koşulları, kullanıcı yoğunluğu ve ağ yapılandırmaları altında performanslarını inceleyerek, bu sistemlerin etkinliğini artırmak için etkili stratejiler sunmayı hedeflemektedir. Bu bağlamda, HAPS teknolojisinin gelecekteki kablosuz iletişim sistemlerindeki rolünü daha iyi anlamak ve bu sistemlerin geniş ölçekli uygulamalarını desteklemek için gerekli olan bilgi temellerini sağlamayı amaçlar.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

TN'lerin özellikle doğal afetler gibi iletişimin kritik öneme sahip olduğu acil durumlarda devre dışı kalıyor olması, HAPS'lerin devreye alınmasının önemini artırmaktadır. Son yıllarda HAPS'in gittikçe daha popüler olmasıyla birlikte HAPS üzerinde gerçekleştirilen çalışmaların sayısı da hızla artmaktadır.

Alfattani ve ark. (2022), kablosuz iletişimde beşinci nesil (fifth generation, 5G) ağlardan sonraki teknolojik gelişmeleri ele almışlardır. Bu çalışmada iki ana konsept tartışılmıştır. İlki, hava platformlarının 5G ve sonrasındaki ağlarda nasıl gelişmiş ve sorunsuz bağlantı sağlayabileceği, ikincisi ise çevredeki sinyal yansımalarını akıllıca kullanarak çalışan, RIS'lerin kablosuz iletişimde yeni bir yaklaşım olarak nasıl kullanılabileceğidir.

Bir diğer çalışmada (Xu ve ark., 2017), HAPS'in etkili bir şekilde konumlandırılmasına odaklanılmaktadır. Bu konumlandırmanın etkin bir şekilde planlanması, kanal modelinin doğruluğuna bağlı olduğundan, ilk olarak istatistik ve geometri özelliklerini kapsamlı bir şekilde değerlendiren bir geometri temelli HAPS kanal modeli önerilmektedir. Önerilen kanal modeli üzerinden, hava ile yer arasındaki direkt görüş hattı (line of sight, LOS) iletim olasılığı türetilmekte ve yollardaki kayıp analitik olarak karakterize edilmektedir. Ayrıca, dağıtım verimliliğini artırmak amacıyla, HAPS'in kapsama alanının, birden fazla HAPS arası mesafeye oranının maksimize edilmesini sağlayan bir algoritma önerilmektedir.

Bir başka çalışmada (Weiqiang ve ark., 2011), HAPS ağlarının özelliklerinden dolayı geçiş kontrol protokolü (Transmission Control Protocol, TCP) performansının zorlanması sorununa odaklanılmaktadır. Bu sorunu çözmek amacıyla, TCP'nin optimize edilmesi üzerine bir araştırma yapılmıştır. Çalışmada, HAPS ağı için optimize edilmiş bir TCP sürümü olan TCP-HAPS önerilmektedir.

Bir çalışmada (Safi ve ark., 2020), HAPS ve FSO iletişiminin birleşimi incelenmiştir. Bu çalışma, gelecek nesil kablosuz ağlarda hızlı hava bağlantıları kurma potansiyelini değerlendirmiş ve geliştirilen matematiksel modeller aracılığıyla bağlantıların optimal tasarımını basitleştirmeyi hedeflemiştir. Özellikle geliş açısı dalgalanmaları ve atmosferik türbülans gibi zorluklara odaklanılarak kanal modellemesi yapılmıştır. Çalışmada, doğrusal programlama optimizasyon tekniği kullanılmıştır.

He ve ark. (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, HAPS ve düşük irtifa platformu (low altitude platrofm, LAP) işbirliği ağlarında veri hızını maksimize etmeye

odaklanılmıştır. Çalışma, kısıtlı tamsayılı doğrusal programlama tekniğini kullanarak toplam veri hızını önemli ölçüde artırabilecek bir yöntem sunmuştur.

Bir başka çalışmada (Hasmi ve ark., 2023), kablosuz ağlarda RIS aracılığıyla maliyet etkin ve yüksek verimli toplam veri hızı optimizasyonu ele alınmıştır. Bu çalışmada, tamamen pasif RIS işletimi koşulları altında kanal modeli veya ağ yapısı bilgisine ihtiyaç duymadan toplam veri hızı optimize edilmiştir. Sıfıncı dereceden optimizasyon yöntemi kullanılmıştır.

Sudhees ve ark. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, yüksek irtifa dronlarıyla maksimum iletişim hızının sağlanması üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada, bağlı balon röleleri ile optimal balon yüksekliği belirlenmiş ve kanal durum bilgisi (channel state information, CSI) olmadan müdahale hizalaması sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan özel bir optimizasyon yöntemi belirtilmemiştir.

Shibata ve ark. (2022) tarafından yapılan bir başka çalışmada, HAPS'te düzensiz kullanıcı dağılımlarına karşı kapsama ve kapasite optimizasyonu üzerine yoğunlaşmıştır. Çalışma, genetik algoritma tabanlı bir hücre optimizasyon algoritması önererek, geniş kapsama alanı ve felaketlere dayanıklılık sağlamayı amaçlamıştır.

Bir başka çalışmada (Deka ve ark., 2022), HAPS destekli karasal iletişim sistemleri incelenmiştir. Çalışma, HAPS'in iki yer istasyonu arasındaki veri iletimine yardımcı olan bir röle düğümü olarak konuşlandırılmasını ele almış ve kesinti olasılığı ile bit hata oranı ifadelerini türetmiştir.

Yu ve ark. (2023) tarafından yapılan bir başka çalışmada, HAPS destekli mobil uç bilişim (mobil edge computing, MEC) ağlarında enerji tüketiminin optimizasyonu üzerinde durulmuştur. Kusurlu ardışık girişim iptali varlığında enerji tüketimini minimize etmeyi hedefleyen kaynak tahsis stratejileri önerilmiştir.

Başka bir çalışmada (Azizi ve ark., 2022), RIS'in aerodinamik HAPS üzerine monte edilerek kullanıldığı yeni bir ağ çerçevesi önerilmiştir. Bu yaklaşım, karasal olmayan RIS platformları arasında umut verici bir aday olarak değerlendirilmiştir.

Literatürde yapılan bazı çalışmalardan Çizelge 2.1.'de liste halinde detaylarıyla verilmiştir.

Çizelge 2.1. Yapılan Çalışmaların Genel Kapsamı

Yazarlar	Makale Başlığı	Çalışılan Alan	Kısaca Açıklama	Kullanılan Teknik
Safi ve ark. (2020)	Analytical Channel Model and Link Design Optimization for Ground-to-HAP Free-Space Optical Communications	Geliş Açısı Dalgalanmaları, Atmosferik Türbülans, Kanal Modelleme, Serbest Uzak Optiği, HAPS	HAPS ve FSO iletişimini birleştirerek, gelecek nesil kablosuz ağlarda hızlı hava bağlantıları kurma potansiyelini inceleyerek ve pratik zorlukları analiz ederek bu bağlantıların optimal tasarımını basitleştirmek için matematiksel modeller sunmaktadır.	Doğrusal Programlama Optimizasyon Tekniği
Alfattani ve ark. (2022)	Beyond-Cell Communications via HAPS-RIS	HAPS-RIS Aracılığıyla Hücreler Arası İletişim	Mahsur kalan kullanıcıları desteklemek amacıyla sunulan bir çözüm, özellikle RIS donanımlı bir HAPS (HAPS-RIS) üzerinden özel bir kontrol istasyonu (CS) aracılığıyla sağlanmaktadır	Geometrik Programlama
Ganhao ve ark. (2010)	Energy Per Useful Packet Optimization on a TDMA HAP Channel	Kod Birleştirme, Hibrit ARQ, HAPS	HAP üzerindeki TDMA sistemi için enerji, paket gecikmesi ve iyi transfer performanslarını analiz eder, bu analizlerle enerji optimizasyonu problemini çözerek elde edilen sonuçları simülasyonlarla doğrulamaktadır.	Çapraz Katman Optimizasyonu
He ve ark. (2022)	Downlink and Uplink Sum Rate Maximization	HAPS ve LAP üzerinde Toplam Hız Maksimizasyonu	Kısıtlı tamsayı doğrusal programlama, HAPS-LAP iş birliği ağlarında toplam veri hızını önemli ölçüde artırılabilirliğini göstermektedir.	Kısıtlı Tamsayı Doğrusal Programlama Optimizasyon Tekniği
Hasmi ve ark. (2023)	Model-Free Learning Of Optimal Beamformers For Passive IRS-Assisted Sumrate Maximization	RIS, Toplam Veri Hızı Maksimizasyonu	Kablosuz ağlarda maliyet etkin ve yüksek verimli Akıllı Yansıtıcı Yüzeylerin (IRS'ler) kullanımını ele alır. Tamamen pasif, algılama gerektirmeyen IRS işletimi koşullarında, kanal modeli veya ağ yapısı bilgisine ihtiyaç duymadan toplam veri hızı optimizasyonunu gerçekleştirmektedir.	Sıfırıncı Dereceden Optimizasyon
Deka ve ark. (2022)	On the Performance and Optimization of HAPS Assisted Dual-Hop Hybrid RF/FSO System	HAPS destekli karasal iletişim sistemleri, RF/FSO, Hibrit iletişim	HAPS'in iki yer istasyonu arasındaki veri iletimine yardımcı olan bir röle düğümü olarak konuşlandırılması ve kesinti olasılığı ile bit hata oranı ifadelerinin türetilmesi gösterilmektedir.	RF/FSO Optimizasyonu
Yu ve ark. (2023)	Joint Resource Allocations for Energy Consumption Optimization in HAPS-Aided MEC-NOMA Systems	HAPS destekli mobil edge computing, enerji optimizasyonu	Kusurlu ardışık girişim iptali varlığında enerji tüketimini minimize etmeyi hedefleyen kaynak tahsis stratejileri gösterilmektedir.	Enerji Tüketimi Optimizasyonu
Xu ve ark. (2017)	Coverage ratio optimization for HAP communications	HAPS iletişimlerinde kapsama oranı optimizasyonu	HAPS iletişimlerinde kapsama oranını optimize etmek için kanal modelleme önerilmektedir.	Kanal Modelleme Optimizasyonu

Shibata ve ark. (2022)	Two-Step Dynamic Cell Optimization Algorithm for HAPS Mobile Communications	Kapsama ve kapasite optimizasyonu, genetik algoritma	Düzensiz kullanıcı dağılımlarına karşı kapsama ve kapasite optimizasyonu için genetik algoritma tabanlı bir hücre optimizasyonu.	Genetik Algoritma
Lee ve ark. (2023)	Performance Analysis of Multiple High Altitude Platform Stations Cellular Network Coverage	HAPS baz istasyonu kapsama alanı analizi	HAPS baz istasyonlarının kapsama analizi için SINR temel alınarak değerlendirme yapılması.	SINR Analizi
Türk ve ark. (2024)	Design of Energy Efficient Multi-HAPS Assisted Hybrid RF/FSO Satellite Communication Systems With Optimal Placement	HAPS destekli hibrit RF/FSO uydu iletişim sistemleri	HAPS sistemlerinin enerji verimli tasarımı ve optimal yerleşimi	Optimal Yerleşim Optimizasyonu
Azizi ve ark. (2023)	RIS Meets Aerodynamic HAPS: A Multi-Objective Optimization Approach	RIS, aerodinamik HAPS	RIS'in aerodinamik HAPS üzerine monte edilerek kullanıldığı yeni bir ağ çerçevesi önerilmesi.	Multi-Objective Optimizasyon

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Karasal Ağlar (TN'ler)

TN'ler, karasal altyapılar üzerinde inşa edilen iletişim ağlarını ifade eder. Bu ağlar, genellikle baz istasyonları, fiber optik kablolar, antenler ve diğer karasal ekipmanlardan oluşur. TN'ler, hücresel iletişimden geniş bant internet hizmetlerine, kamu güvenliği ağlarından endüstriyel uygulamalara kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. TN teknolojileri, özellikle şehir merkezleri gibi yüksek nüfus yoğunluğuna sahip alanlarda yüksek veri iletim kapasiteleri ve düşük gecikme süreleriyle kritik bir rol oynamaktadır. Örneğin, 5G teknolojisinin gelişimi, TN altyapılarının performansını artırmış ve nesnelerin interneti (internet of things, IoT) uygulamaları için daha verimli bir temel sağlamıştır.

Bununla birlikte, TN altyapılarının etkinliği belirli coğrafi ve ekonomik faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Kırsal veya dağlık bölgelerde, altyapı kurulum maliyetleri ve doğal engeller, ağın yaygınlaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Bu gibi durumlarda, TN'lerin performansı, uydu iletişim sistemleri veya HAPS gibi tamamlayıcı teknolojilerle artırılabilir. Ayrıca, enerji tüketimi ve sürdürülebilirlik konuları da TN ağlarının operasyonel etkinliğini etkileyen faktörler arasındadır.

Günümüzde TN'ler, akıllı şehirler, otonom araçlar ve 5G teknolojisi gibi ileri düzey uygulamalarda merkezi bir rol oynamaktadır. Ancak, bu sistemlerin optimum performansı için ağ topolojisinin dinamik bir şekilde optimize edilmesi ve kullanıcı talebine uygun şekilde ölçeklendirilmesi gerekmektedir (Lee ve Kim, 2023). Dolayısıyla, TN'ler yalnızca mevcut iletişim ihtiyaçlarını karşılamakla kalmaz, aynı zamanda geleceğin dijital altyapısını inşa etmek için de bir temel oluşturur.

3.1.1. TN'lerin Avantajları ve Dezavantajları

TN'lerin avantajlarından aşağıda verilen birkaç başlık altında bahsetmek mümkündür:

- *Geniş Kapsama Alanı ve Yüksek Kapasite:* TN'ler, yoğun nüfuslu bölgelerde NTN'ler dışındaki diğer kablosuz haberleşme araçlarına kıyasla geniş bir kapsama alanı sağlayarak yüksek kullanıcı yoğunluklarına cevap verebilecek şekilde tasarlanmıştır. Özellikle 5G

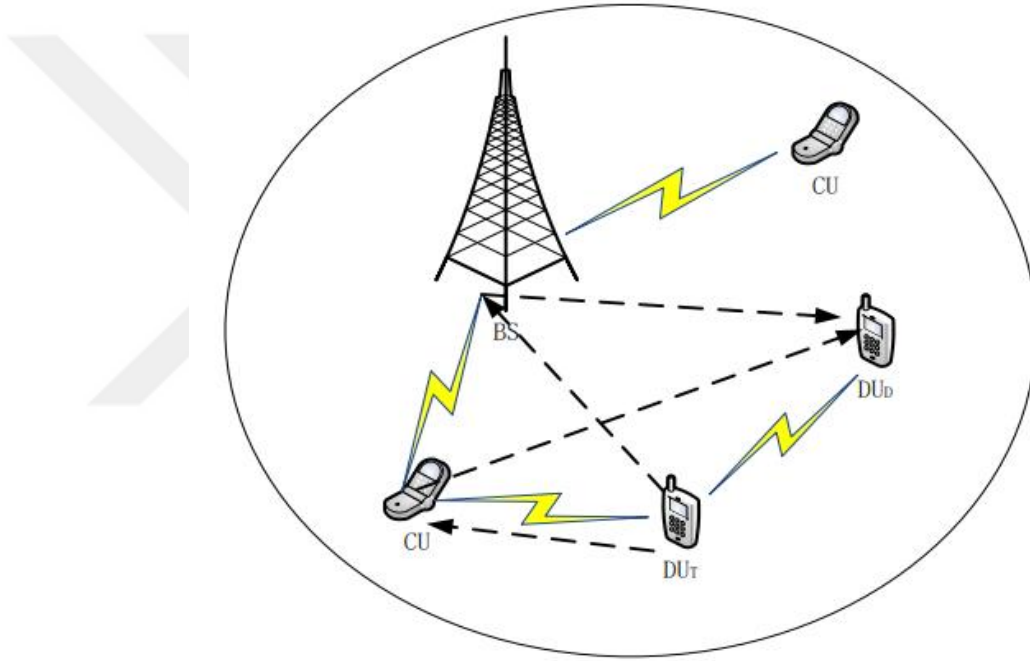
gibi ileri teknolojiler, TN'lerin sunduğu kapasiteyi artırarak hızlı veri iletimi ve yüksek bant genişliği sunmaktadır. Bu, kullanıcıların video konferans, çevrimiçi eğitim ve IoT gibi bant genişliği gerektiren uygulamaları sorunsuz bir şekilde kullanmasına olanak tanır.

- *Düşük Gecikme Süreleri:* TN'lerin coğrafi olarak yakın mesafelerde konumlanmış altyapıları sayesinde, veri iletimi sırasında düşük gecikme süreleri elde edilir. Bu durum, özellikle otonom araçlar, uzaktan cerrahi ve gerçek zamanlı oyunlar gibi düşük gecikme gereksinimi olan uygulamalar için kritik öneme sahiptir.
- *Yerleşik Güvenilirlik ve Güvenlik:* TN altyapıları, karasal ekipmanlar ve sabit bağlantılar kullanılarak yüksek düzeyde güvenilirlik sağlar. Ek olarak, şifreleme protokolleri ve ağ güvenlik mekanizmaları sayesinde veri iletimi sırasında kullanıcıların güvenliğini koruma kapasitesine sahiptir.
- *Gelişmiş Teknolojik Entegrasyon:* TN'ler, mevcut teknolojilerle kolay entegrasyon sunar. Örneğin, akıllı şehir uygulamaları ve endüstriyel otomasyon sistemleri gibi modern çözümler, TN altyapısı sayesinde sorunsuz bir şekilde çalışabilir.

TN'lerin dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- *Kırsal ve Uzak Bölgelerde Sınırlı Kapsama:* TN'ler, genellikle altyapı yatırımlarının yüksek maliyetli olması nedeniyle kırsal ve uzak bölgelerde sınırlı kapsama alanı sağlar. Dağlık bölgeler, adalar veya çöller gibi erişimi zor alanlarda TN'lerin kullanımı ekonomik olmayabilir. Bu durum, iletişim hizmetlerinden faydalanamayan bir nüfusun oluşmasına neden olmaktadır.
- *Doğal Afetlere Karşı Hassasiyet:* TN altyapıları, doğal afetler sırasında ciddi zarar görebilir. Örneğin, depremler, sel felaketleri veya şiddetli fırtınalar sırasında baz istasyonları ve fiber optik kablolar gibi ekipmanlar zarar görebilir, bu da hizmet kesintilerine yol açar. Bu durum, afet sonrası iletişim ihtiyaçlarının karşılanmasını zorlaştırır ve TN altyapılarının güvenilirliğini sorgulanır hale getirir.

- *Yüksek Kurulum ve Bakım Maliyetleri:* TN altyapısının kurulumu, özellikle dağlık veya suyla çevrili bölgelerde, maliyetli ve zorlu olabilir. Ayrıca, düzenli bakım ve güncellemeler gerektirir. Özellikle hızlı teknolojik değişimlere ayak uydurmak için gerekli olan modernizasyon çalışmaları, operatörler için ekonomik zorluklara yol açabilir.
- *Sınırlı Esneklik:* TN altyapıları, sabit bir tasarıma sahip oldukları için hızlı bir şekilde ölçeklenemez veya taşınamaz. Bu durum, özellikle yoğun nüfuslu alanlarda geçici kapasite ihtiyaçlarını karşılamada sınırlamalara neden olabilir.

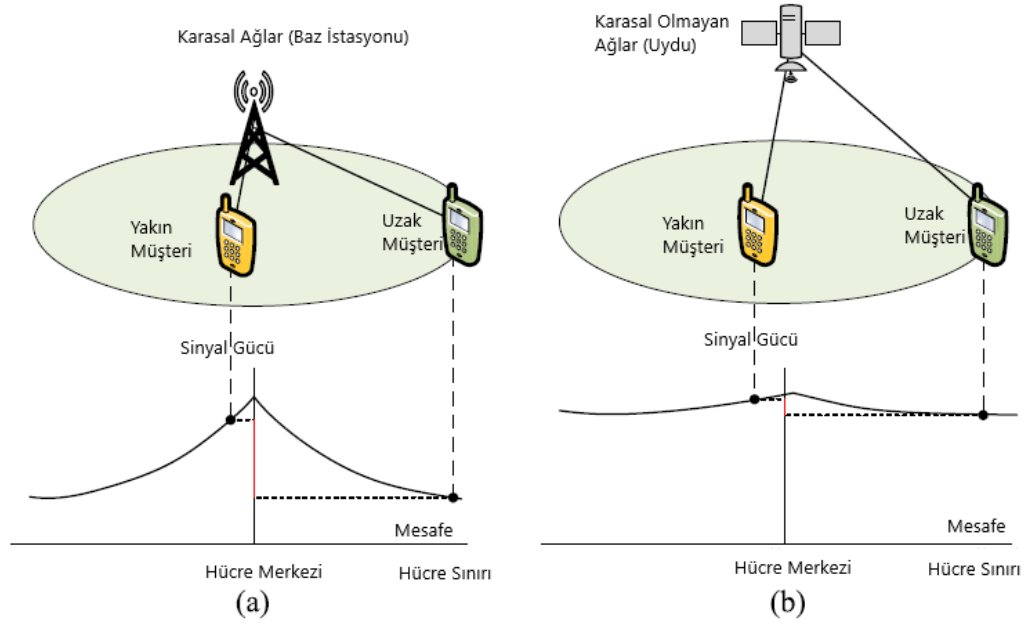


Şekil 3.1. TN-Kullanıcı Arasındaki Haberleşmenin Modellenmesi.

Sonuç olarak, TN'lerin avantajları, yoğun nüfuslu ve gelişmiş bölgelerde etkili bir iletişim altyapısı sunarken; dezavantajları, kırsal ve erişimi zor alanlarda alternatif iletişim teknolojilerinin geliştirilmesi ihtiyacını ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, NTN gibi alternatif çözümler, TN'lerin sınırlamalarını gidermek için önemli bir seçenek olarak değerlendirilmektedir. Şekil 3.1.'de (Hou ve ark., 2023) TN'lerin kullanıcılar ile olan iletişimi basit bir şekilde modellenmiştir.

3.2. Karasal Olmayan Ağlar (NTN'ler)

NTN'ler, yeryüzü sınırlarının ötesinde, uzayda hizmet veren iletişim ağlarını ifade eder. Bu ağlar, uzay platformları veya diğer yörünge altyapısı kullanarak bağlantı kurmayı ve iletişim hizmetlerini etkinleştirmeyi mümkün kılar. NTN'ler, şehir merkezleri ile merkezden uzak yerleşim yerleri arasındaki dijital uçurumu kapatmada, küresel kapsama ağı sağlamada ve yerel altyapının sınırlı olduğu veya hiç olmadığı alanlara bağlantıyı genişletmede kritik bir rol oynamaktadır. NTN'lerin bunu sağlamasındaki en etkili faktör yakın-uzak ilişkisidir. TN'lerde, istasyona en yakın noktadan en uzak noktaya doğru gidildikçe sinyal gücü azalmaktadır. NTN'lerde ise bu azalma Şekil 3.2.'de görüleceği üzere fark edilmeyecek kadar azdır. Dolayısıyla mesafe sinyal gücünü ve hizmet kalitesini etkilememektedir.



Şekil 3.2. Uzak-yakın mesafenin çekim gücüne etkisi: (a) TN, (b) NTN.

NTN'ler basit olarak 5 alt başlıkta incelenebilir. HAPS dışındaki NTN'ler bu bölümün alt başlıklarında verilmiş ve detaylandırılmıştır.

3.2.1. Alçak Dünya Yörüngesi (Low Earth Orbit, LEO) Uyduları

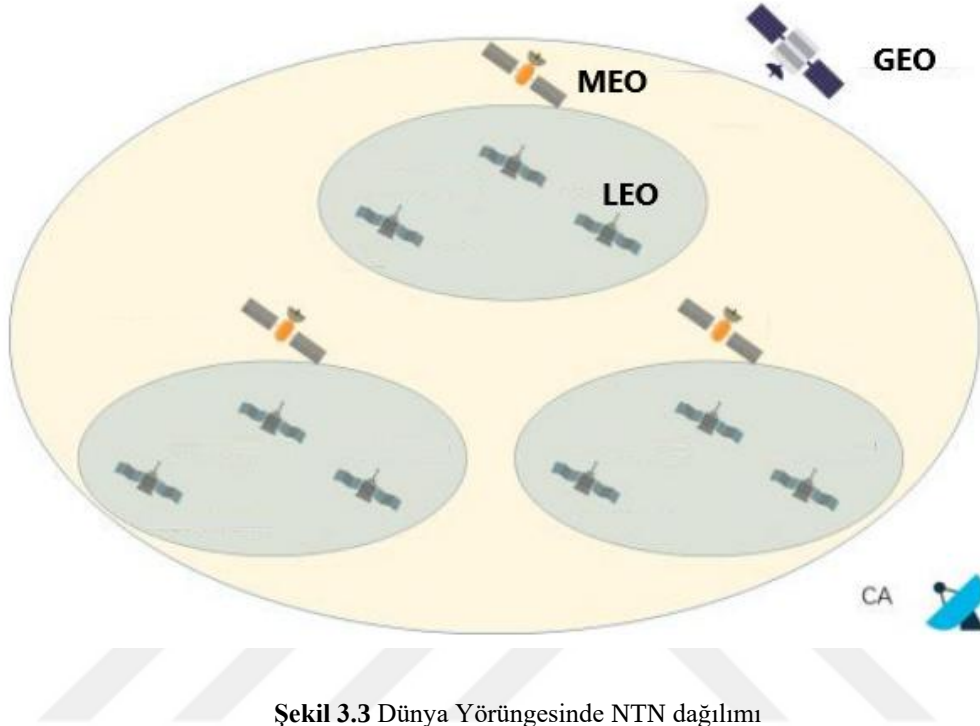
Yeryüzünden 200-3000 km yükseklikte konumlandırılan alçak yörünge uyduları (Low Earth Orbit, LEO), uydu haberleşme sistemlerinde kritik bir rol oynamaktadır. LEO uydularının kapsama alanları, orta dünya yörüngesi (Medium Earth Orbit, MEO) ve jeostatik dünya yörüngesi (Geostationary Earth Orbit, GEO) uydularına kıyasla daha dardır. Ancak, yeryüzüne yakın olmaları nedeniyle iletişimde gecikme (latency) oldukça düşük seviyelerdedir. Bu özellik, özellikle gerçek zamanlı iletişim gerektiren uygulamalar (örneğin, video konferanslar, çevrim içi oyunlar ve finansal işlemler) için büyük avantaj sağlamaktadır.

LEO uyduları, sürekli hareket ettikleri için kullanıcılar arasında sık sık el değiştirme (handover) yaşanır. Bu durum, iletişim ağlarının tasarımını ve yönetimini zorlaştırır da, modern teknolojiler sayesinde bu sorunlar giderek daha etkili bir şekilde yönetilmektedir. Tam bir kapsama alanı sağlanabilmesi için Şekil 3.3'te (Rui ve ark., 2022) gösterildiği gibi çok sayıda LEO uydusunun kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür büyük uydu takımları, global internet hizmetlerinin sunulmasında kullanılmakta olup, Starlink ve OneWeb gibi projeler bunun önde gelen örneklerindendir.

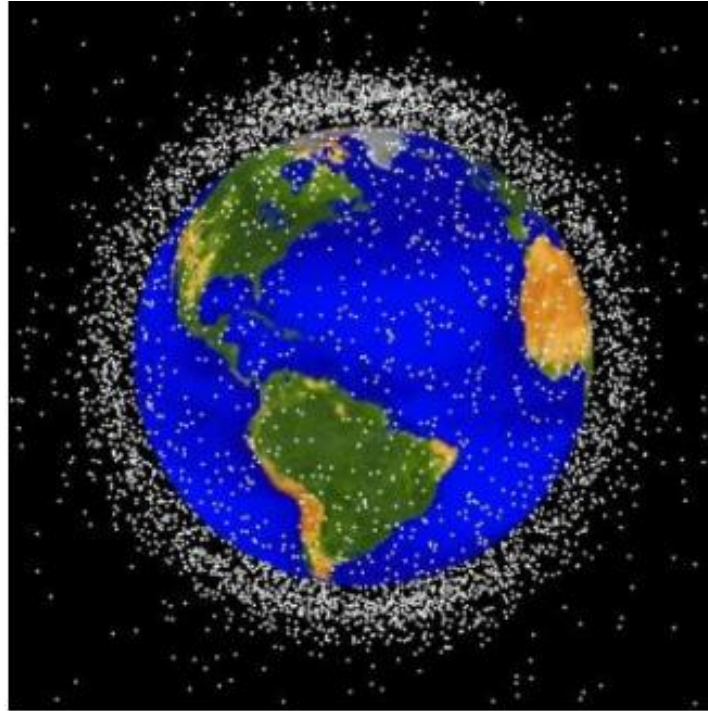
LEO uydularının bir diğer dezavantajı ise atmosferik sürüklenme gibi etkilere sürekli maruz kalmaları nedeniyle ömürlerinin kısa olmasıdır. Ortalama ömürleri genellikle 5-10 yıl arasında değişmektedir. Arızalanan ya da ömrü sona eren uydular, uzay çöprü sorununa ciddi katkıda bulunmaktadır. Dünyanın çevresinde Şekil 3.4'te gösterildiği gibi çok sayıda LEO uydusu bulunmaktadır (Abay, 2016). Bu durum, uydu çarpışma riskini artırmakta ve uzay operasyonlarının sürdürülebilirliği açısından endişe yaratmaktadır.

Buna karşın, LEO uyduları düşük üretim ve fırlatma maliyetleriyle de öne çıkmaktadır. Küçük uydular kullanılarak maliyetler daha da azaltılmakta ve uydu takımlarının hızlı bir şekilde inşa edilmesine olanak tanınmaktadır. Bu durum, LEO uydularını hem ticari hem de bilimsel amaçlar için oldukça cazip hale getirmektedir. Örneğin, LEO uyduları yalnızca iletişim değil, aynı zamanda hava durumu tahminleri, çevresel izleme, doğal afet gözlemleri ve askeri gözetim gibi birçok alanda da kullanılmaktadır.

LEO uydularının sunduğu bu avantajlar ve dezavantajlar, gelecekteki uzay teknolojileri ve yörünge yönetim stratejilerinin geliştirilmesi için önemli bir çalışma alanı oluşturmaktadır.



Şekil 3.3 Dünya Yörüngesinde NTN dağılımı



Şekil 3.4. Dünya Yörüngesinde LEO dağılımı

3.2.2. Orta Dünya Yörüngesi (Medium Earth Orbit, MEO) Uyduları

Şekil 3.5.'te (Blumenthal ve ark., 2013) dünya yörüngesi üzerinde konumlandırılmış MEO uydularının dağılımı gösterilmiştir. 5000-15000 km yükseklikte bulunan MEO uyduları, uydu haberleşme ve navigasyon sistemlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Kapsama alanları, LEO uydularına oranla daha geniştir ve bu nedenle global kapsama alanı sağlamak için daha az sayıda uydu gerekmektedir. Evrensel hizmet sağlanabilmesi için genellikle 10-15 adet MEO uydu yeterli olmaktadır. Bu durum, MEO uydularını maliyet etkin bir çözüm haline getirmektedir.



Şekil 3.5. Dünya Yörüngesinde MEO dağılımı

MEO uyduları ağırlıklı olarak yayın, iletişim, uzaktan algılama, navigasyon ve veri aktarımı gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Özellikle navigasyon sistemlerinde, MEO yörüngesi büyük bir öneme sahiptir. Yörüngeye dünya yüzeyine olan mesafesi, sinyal gecikmesinin makul bir seviyede kalmasını sağlarken aynı zamanda geniş bir kapsama alanı sunar.

MEO uyduları, enerji tüketimi açısından LEO uydularına kıyasla daha verimlidir; çünkü sinyal güçlerinin dünya yüzeyine ulaşması için daha az enerji gerektirir. Ancak, yörünge yüksekliği nedeniyle sinyallerin LEO uydularına oranla daha uzun bir mesafe kat etmesi gerektiğinden gecikme süresi bir miktar artar. Bu durum, gerçek zamanlı iletişim gerektiren uygulamalarda sınırlayıcı bir etken olabilir.

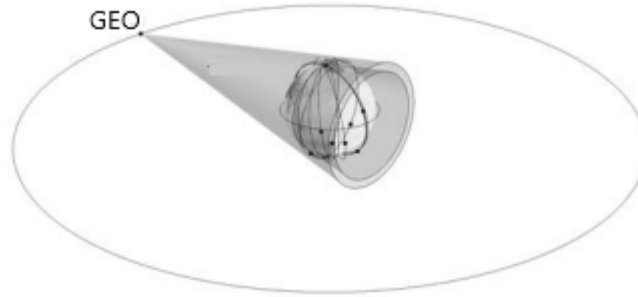
Bir diğer avantajı, GEO uydularına göre daha düşük bir yörüngede bulunmaları nedeniyle sinyal gücü kaybının daha az olmasıdır. Bu durum, özellikle hassas veri aktarımı veya yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda MEO uydularını ideal bir seçenek haline getirir. Bununla birlikte, MEO yörüngesindeki uydular, LEO uydularına

kıyasla daha az atmosferik etkilerle karşılaşsalar da, uzun süreli radyasyon ve Van Allen radyasyon kuşakları gibi faktörlerden etkilenebilir. Bu durum, uyduların tasarımında ek önlemler alınmasını gerektirir.

Sonuç olarak, MEO uyduları hem navigasyon hem de iletişim uygulamaları için dengeli bir çözüm sunmaktadır. 8Yörünge'nin kendine has avantajları ve sınırlamaları, bu uyduların spesifik ihtiyaçlara yönelik olarak optimize edilmesini sağlamaktadır.

3.2.3. Statik Dünya Yörüngesi (Geostationary Earth Orbit, GEO) Uyduları

Yaklaşık olarak 36.000 km yükseklikte, ekvator düzleminde bulunan GEO uyduları, uydu haberleşme sistemlerinin en önemli unsurlarından biridir. Dönme periyotlarının dünyanın dönüş periyoduna eşit olması sebebiyle, yeryüzündeki bir gözlemci tarafından durağan olarak görünürler. Bu özellik, GEO uydularının sabit bir konumda sürekli hizmet sunmasını mümkün kılar. Evrensel hizmet kalitesi sağlanabilmesi için genellikle 3 adet GEO uydusu yeterli olmaktadır. Bu uydular, Şekil 3.6.'da (Knogl ve ark., 2012) görüleceği üzere dünya yüzeyinin büyük bir kısmını kapsayarak küresel iletişim ve yayıncılık için ideal bir çözüm sunmaktadır.



Şekil 3.6. Dünya Yörüngesinde GEO Uyduları

GEO uydularının en önemli avantajlarından biri, sürekli ve kesintisiz bir hizmet sağlayabilmeleridir. Sabit konumda olmaları, sabit uydu antenleriyle kolay bir şekilde iletişim kurulmasını sağlar. Bu durum, özellikle televizyon yayını, hava durumu tahminleri ve geniş alan iletişim uygulamaları için büyük bir avantajdır. Ayrıca, GEO uyduları düşük bir uydu sayısıyla geniş bir kapsama alanı sunarak maliyet etkin bir çözüm sunar.

GEO yörüngesindeki uydular, genellikle haberleşme, yayıncılık, askeri gözetim, meteoroloji ve afet yönetimi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Örneğin, hava durumu

tahminleri için kullanılan METEOSAT ve GOES gibi meteoroloji uyduları, GEO yörüngesindedir. Benzer şekilde, küresel televizyon yayıncılığı ve internet altyapısı için de GEO uyduları önemli bir rol oynamaktadır.

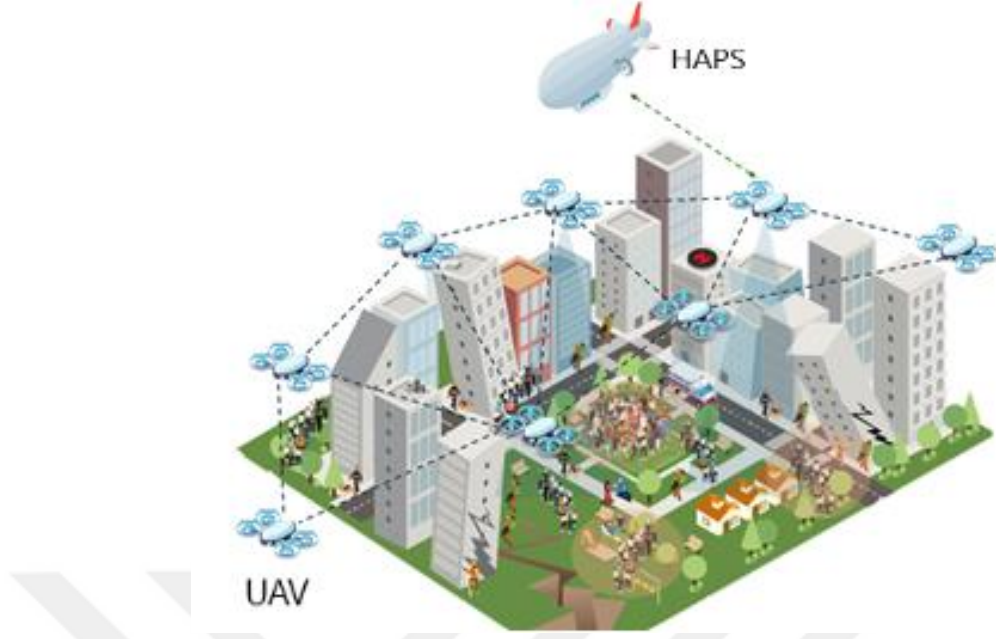
GEO uydularının bazı sınırlamaları da bulunmaktadır. Yörüngelerinin yüksekliği nedeniyle, sinyalin yeryüzüne ulaşması için daha uzun bir mesafe kat etmesi gerekmektedir. Bu durum, özellikle gerçek zamanlı iletişim gerektiren uygulamalar için belirgin bir gecikme (yaklaşık 250-300 ms) oluşturur. Ayrıca, kutup bölgeleri gibi yüksek enlemlerde bulunan alanlar, GEO uydularının kapsama alanı dışında kalmaktadır.

Ayrıca GEO uyduları, radyasyon ve yörüngesel bozulmalar nedeniyle tasarım ve operasyon aşamalarında özel önlemler gerektirir. Yörüngenin sabit bir yüksekliği olduğundan, bu alandaki sınırlı yerleşim kapasitesi, yoğunlaşma (congestion) sorunlarına yol açabilir. Bu nedenle, GEO yörüngesi uluslararası düzenlemelere ve koordinasyona tabidir.

Özetle, GEO uyduları, geniş kapsama alanı ve sabit hizmet sağlama kabiliyeti ile uydu teknolojilerinin en önemli bileşenlerinden biridir. Özellikle iletişim ve yayıncılık sektöründe vazgeçilmez bir konuma sahip olan bu uydular, yörüngenin kendine özgü avantaj ve sınırlamaları doğrultusunda tasarlanmakta ve işletilmektedir.

3.2.4. İnsansız Hava Araçları (Unmanned Aerial Vehicles, UAV)

Son zamanlarda popülerliği giderek artan insansız hava araçları (Unmanned Aerial Vehicles, UAV), birçok sektörde çığır açan yeniliklere öncülük etmektedir. Özellikle askeri ve savunma alanlarında hızla gelişen bu teknoloji; gözetim, keşif, lojistik ve hedef angajmanı gibi çeşitli görevlerde kullanılmaktadır. Şekil 3.7.'de (Öztürk ve ark., 2024) örnek bir UAV ve HAPS iletişim sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.7. UAV ve HAPS İletişim Sistemi

UAV'ler, yalnızca askeri ve savunma uygulamalarıyla sınırlı kalmamakta; sivil alanlarda da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Örneğin, tarım sektöründe bitki sağlığını izlemek, ilaçlama yapmak ve mahsul verimliliğini artırmak amacıyla UAV'lerden yararlanılmaktadır. Aynı zamanda afet yönetimi ve acil durum müdahalelerinde, UAV'ler kritik bilgi toplamak, lojistik destek sağlamak ve kayıp kişileri aramak için önemli bir rol oynamaktadır. Ticari uygulamalarda, kargo taşımacılığı ve teslimat hizmetlerinde UAV'lerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Amazon, DHL ve diğer lojistik firmaları, özellikle kısa mesafeli teslimatlar için UAV'lerin potansiyelini araştırmaktadır. Ayrıca, inşaat, enerji ve madencilik sektörlerinde kullanılan UAV'ler, altyapıların izlenmesi, haritalama ve veri toplama süreçlerinde önemli bir avantaj sağlamaktadır.

UAV'lerin en önemli avantajlarından biri, operasyonel esneklik sağlamalarıdır. İnsan operatörlere ihtiyaç duymadan uzaktan kontrol edilebilmeleri veya tamamen otonom çalışabilmeleri, riskli görevlerin güvenli bir şekilde yerine getirilmesine olanak tanır. Ayrıca, görece düşük maliyetleri ve kolay erişilebilirlikleri sayesinde, hem küçük ölçekli kullanıcılar hem de büyük endüstriyel uygulamalar için cazip bir çözüm sunmaktadır.

Ancak, UAV'lerin yaygınlaşmasıyla birlikte bazı zorluklar da gündeme gelmektedir. Özellikle hava sahası yönetimi, güvenlik ve veri mahremiyeti konularında

düzenlemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, enerji verimliliği ve uçuş süreleri, UAV'lerin performansını sınırlayan faktörler arasında yer almaktadır. Bu sorunların çözülmesi, batarya teknolojilerindeki ilerlemeler ve yeni nesil kontrol sistemlerinin geliştirilmesiyle mümkün olacaktır.

Gelecekte, UAV'lerin yapay zeka ve makine öğrenimi ile entegrasyonu, daha karmaşık ve otonom görevlerin gerçekleştirilmesine olanak tanıyacaktır. Özellikle UAV'lerin, HAPS'lerin ve diğer hava araçlarıyla birlikte çalışarak geniş kapsamlı iletişim ağları oluşturması, bu teknolojinin önemini daha da artıracaktır.

3.3. NTN'lerin Avantajları ve Dezavantajları

NTN'ler, TN'ler ile kıyaslandığında aşağıda sıralı halde verilen avantajlara sahip oldukları söylenebilir:

- *Geniş kapsama alanı:* Dünya yörüngesinde bulunması sebebiyle çok daha geniş bir kapsama alanına sahiptir.
- *Hareketlilik:* Sabit bir yerleşkede olmaması, gerektiği durumlarda ihtiyaç duyulan bölgeye çok düşük maliyetler ile taşınabilir olmasını ve yeni bir baz istasyonu kurulumunun maliyetinin önüne geçilmesini sağlar.
- *Bant Genişliği:* NTN'ler, TN'lere göre daha yüksek bant genişliğine sahiptir. Bunun başlıca sebebi NTN'lerin ışık veya radyo dalgaları gibi kablosuz sinyaller kullanmasıdır. Bu sinyaller elektrik sinyallerinden daha hızlı hareket eder ve daha fazla veri taşıyabilir.
- *Afet yönetimi:* Özellikle deprem durumlarında, baz istasyonlarının hasar görmesi sebebiyle iletişim kopukluğu yaşanırken, NTN'ler yörüngede dolaştıkları için bu ve benzeri afetlerden etkilenmez.
- *LOS:* TN'lerde, baz istasyonu ile kullanıcı arasına engel girdiği durumlarda ve kapsama alanından uzaklaşıldıkça sinyal gücünde ciddi düşüşler meydana gelmektedir. NTN'lerde ise son kullanıcılarla arasına herhangi bir engel giremediği ve kapsama alanı TN'ler gibi kısıtlı olmadığı için şehir yapılanmalarından etkilenmez.

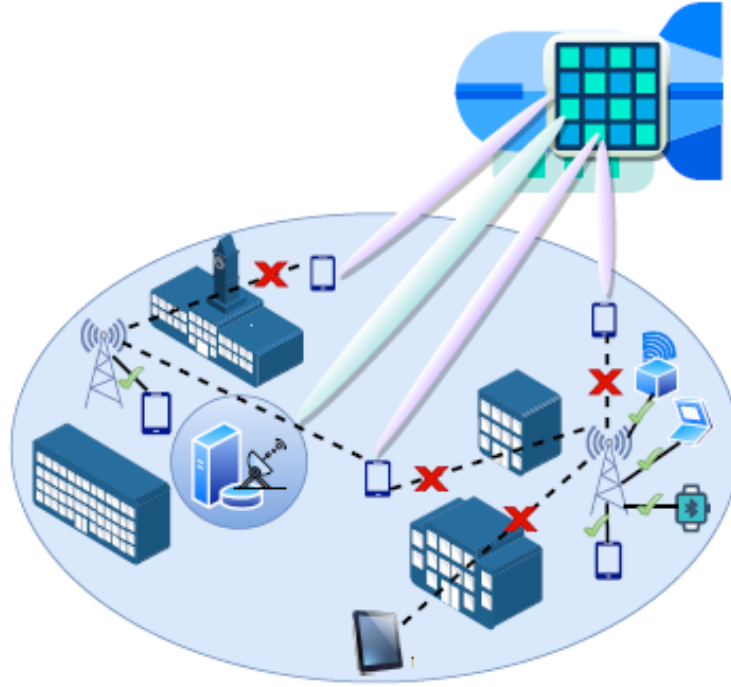
NTN'lerin birtakım dezavantajları da mevcuttur. Bunlardan biri; NTN'lerin, uyduların yörüngedeki konumundan dolayı, TN'lere göre daha yüksek gecikme süresine

sahip olmalarıdır. Örneğin GEO uyduları için gidiş dönüş gecikme süresi yaklaşık olarak 250 milisaniyedir. Bu, gerçek zamanlı uygulamalar için bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Fakat HAPS, NTN'lerin gecikme dezavantajını ortadan kaldırmaktadır. Yeryüzüne çok daha yakın olmaları ve yavaş hareket etmeleri hem gecikme süresi hem de el değiştirme etkisini minimuma indirmektedir.

3.4. Yüksek İrtifa Platform İstasyonları (HAPS)

HAPS, yapısı ve yeryüzüne göre konumu dikkate alındığında; TN'lere kıyasla daha geniş kapsama alanı, NTN'lere kıyasla ise daha düşük gecikme süresi ve daha yüksek veri hızı gibi önemli avantajlara sahiptir. Şekil 3.8.'de (Alfattani ve ark., 2022) görüleceği üzere, tasarımı itibarıyla uydu ve kara tabanlı ağların avantajlarını birleştirerek hibrit bir çözüm sunmaktadır.



Şekil 3.8. RIS İle Donatılmış Örnek Bir HAPS İletişim Sistemi

HAPS, genellikle 20-50 km irtifada, stratosferde konumlandırılan, güneş enerjisiyle çalışan uçaklar, balonlar veya hava araçlarıdır. Bu yükseklik, onları hem troposferik hava koşullarından korur hem de geniş bir kapsama alanı sunmalarını sağlar.

HAPS, iletişim, gözetim ve veri aktarımı gibi uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Yüksek irtifa sayesinde, yerleşim bölgelerine ve kırsal alanlara eşit hizmet sağlayarak dijital uçurumun kapatılmasına yardımcı olmaktadır.

HAPS'in en önemli avantajlarından biri, düşük gecikme süreleriyle uydu haberleşme sistemlerini tamamlamalarıdır. Bu durum, gerçek zamanlı iletişim ve yüksek bant genişliği gerektiren uygulamalar için kritik bir öneme sahiptir. Örneğin, 5G ve IoT ağlarının genişletilmesinde HAPS önemli bir rol oynayabilir. Ayrıca, afet yönetimi gibi acil durumlarda, kara tabanlı altyapının zarar görmesi durumunda HAPS hızlı bir şekilde devreye alınarak iletişim ağlarını destekleyebilir. HAPS'in diğer bir avantajı, yeniden konumlandırılabilir olmalarıdır. Uydu sistemlerinden farklı olarak, bir HAPS ihtiyaç duyulan bölgelere taşınabilir ve esnek bir şekilde hizmet verebilir. Bu özellik, askeri ve kritik uygulamalar için de büyük bir avantaj sağlamaktadır. HAPS, gözetim, keşif ve sınır güvenliği gibi görevlerde etkili bir şekilde kullanılabilir.

Bununla birlikte, HAPS'in operasyonel sürekliliği ve enerji yönetimi, bu teknolojinin önemli zorluklarından biridir. Güneş enerjisiyle çalışan bu platformların, kesintisiz çalışabilmeleri için enerji depolama sistemlerinin ve aerodinamik tasarımlarının optimize edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, stratosferik rüzgarlar ve hava koşulları, HAPS'in stabilitesini ve uzun süreli operasyon kabiliyetini etkileyebilir.

Gelecekte, HAPS'in uydu sistemleri ve TN'lerle entegre edilerek hibrit ağ yapılarının oluşturulması hedeflenmektedir. Bu entegrasyon, iletişim ağlarının kapsama alanını artırırken, veri iletimini hızlandıracak ve daha düşük maliyetlerle daha fazla kullanıcıya hizmet sunulmasını sağlayacaktır. Ayrıca, HAPS'ler üzerinden gerçekleştirilecek gözlem ve veri toplama sistemleri, çevresel izleme, tarım ve meteoroloji gibi birçok alanda yenilikçi çözümler sunabilir.

3.4.1. HAPS'in Avantajları ve Dezavantajları

HAPS'in diğer NTN'lere ve TN'lere göre üstün ve zayıf yanları aşağıda sıralanmıştır:

- *Geniş kapsama alanı:* HAPS, TN'lere kıyasla çok daha geniş bir kapsama alanına sahiptir. Fakat uydulara kıyasla yeryüzüne çok daha yakın olduğu için kapsama alanları uydulara göre daha dardır.

- *Düşük gecikme süresi:* HAPS, uydulara kıyasla çok daha düşük gecikme süresine sahiptir. Fakat TN'lere göre yüksek bir gecikme süresine sahiptir.
- *Yüksek veri hızı:* HAPS diğer NTN'lere kıyasla çok daha yüksek veri aktarım hızına sahiptir. Bu özellik video akışı ve büyük dosya aktarımı gibi uygulamalar için önemlidir. Örneğin uzaktan canlı ameliyat gibi çok hassas konularda öne çıkmaktadır. Bu özelliğin geliştirilmesindeki en önemli tekniklerden biri uzun süreli gelişimdir (Long Time Evolution, LTE) (Waluyo ve ark., 2017).
- *Maliyet:* Uydular ile kıyaslandığı zaman çok daha ucuzdurlar. Fakat yerden 15-30 km yükseklikte dolaşmak zorunda olduğu için TN'lerden daha maliyetlidir.
- *Yeşil enerji:* Güneş enerjisi gibi yenilenebilir bir enerji kaynağıyla beslenirler. Bu da onları çevre dostu bir iletişim çözümü haline getirir. Öte yandan TN'ler, sürekli elektrik ile beslenerek çalışırlar, enerji kesildiğinde ise akü ve jeneratör teknolojileri ile kısa bir süre çalışmaya devam ederler.

Bu avantajları sayesinde kırsal alanlarda ve şehirlerin dışındaki dağlık bölgelerde internet erişimi sağlamak için kullanılabileceği gibi, yüksek kaliteli telekonferans görüşmeleri için de tercih edilmektedir. İş toplantıları, eğitim dersleri ve uzaktan sağlık hizmetleri gibi uygulamalar için fayda sunmaktadır.

3.4.2. HAPS'e İhtiyaç Duyulma Sebepleri

HAPS'in, sahip oldukları özellikler sayesinde yakın gelecekte TN'lere olan ihtiyacı tamamen ortadan kaldırılabileceği yönünde görüşler mevcuttur. Günümüzde, iletişim teknolojilerinin hızla gelişmesi, insanlığın daha geniş kapsamlı, güvenilir ve etkili bir bağlantı ihtiyacını beraberinde getirmiştir. Bu bağlamda HAPS gibi yenilikçi teknolojiler, küresel iletişim altyapısının sınırlarını genişleterek, bir dizi önemli avantaj sunmaktadır.

Birincil olarak, HAPS teknolojisi, kara bazlı alt yapının erişim sağlayamadığı veya maliyetli olduğu bölgelerde iletişim kapsama alanını genişleterek, kırsal bölgeler, dağlık araziler ve adalar gibi uzak coğrafyalardaki insanlara etkili bir bağlantı imkanı

tanır. Ayrıca, felaket durumları, afet müdahaleleri veya özel etkinlikler gibi hızlı ve geçici iletişim altyapısı kurma ihtiyacı olan durumlarda HAPS teknolojisi, acil durum müdahale ekiplerine hızlı ve güvenilir bir iletişim platformu sağlar. Teknolojik olarak HAPS, yüksek veri transfer hızları, geniş bant genişliği ve düşük gecikme süreleri sunarak günümüzdeki yüksek hızlı iletişim ihtiyaçlarına cevap verir.

Stratosferde konumlandığından geniş alanları sürekli olarak gözlemleme yeteneği sayesinde, tarım izlemesi, çevresel gözlem ve sınırlı erişim alanlarındaki denetimler gibi uygulama alanlarında önemli avantajlar sunar. Çevresel etki açısından, HAPS teknolojisi kara bazlı altyapıya kıyasla daha düşük çevresel etki sağlayarak sürdürülebilir bir iletişim çözümü sunar. Son olarak, rekabetin ve teknolojik inovasyonun tetikleyicisi olarak, HAPS teknolojisi, iletişim sektöründeki gelişmeleri hızlandırabilir ve bu alandaki şirketleri daha rekabetçi hale getirebilir. Bu sebepler, insanlığın HAPS teknolojisine duyduğu ihtiyacı temellendirir ve bu yenilikçi teknolojinin çeşitli alanlarda etkili bir çözüm sunduğunu vurgular.

3.5. Uyarlanabilir Akıllı Yüzeyler (RIS)

RIS, son yıllarda kablosuz haberleşme sistemlerinde performans iyileştirmesi için kullanılan yenilikçi bir teknoloji olarak öne çıkmıştır. Elektromanyetik dalgaların yayılma ortamını pasif olarak kontrol edebilme yeteneği sayesinde geleneksel kablosuz haberleşme sistemlerine yeni bir boyut kazandırmaktadır. Bu yüzeyler, elektromanyetik dalgaların fazını, genliğini, polarizasyonunu ve yönünü değiştirebilme kapasitesine sahip olan çok sayıda düşük güçlü yansıtıcı elemandan oluşur. Böylece, çevresel ortamı akıllıca manipüle ederek haberleşme kanallarında yüksek performans elde edilmesini sağlar (Kubullek ve ark., 2020).

RIS teknolojisi, genellikle pasif modüllerle çalışır ve geleneksel aktif röle sistemlerine kıyasla enerji tüketimini önemli ölçüde azaltır. Bununla birlikte, RIS'in esnekliği, fiziksel olarak yerleştirildiği ortamlarda radyo dalgalarını yeniden yönlendirebilmesi sayesinde daha güçlü sinyal kapsama alanları sunar. Bu durum, özellikle 5G ve ötesi kablosuz haberleşme sistemlerinde RIS'i önemli bir bileşen haline getirmiştir (Renzo ve ark., 2001).

RIS'in temel avantajları arasında enerji verimliliği, düşük donanım maliyeti ve çevresel etkiyi en aza indirme yer alır. Bu teknolojinin sağladığı pasif yeniden yapılandırılabilirlik, elektromanyetik dalgaları kullanıcıların ihtiyaçlarına göre

yönlendirerek hücresel ağlarda kapsama alanını artırmakta ve sinyal parazitlerini azaltmaktadır. Örneğin, kentsel alanlardaki yüksek binaların oluşturduğu sinyal engelleri, RIS ile kolayca aşılabılır. Bu da hem kullanıcılar için daha güvenilir bir bağlantı sağlar hem de baz istasyonlarının yükünü azaltır.

Bunun yanı sıra, RIS'in optimizasyon algoritmalarıyla birleşimi, kablosuz haberleşme sistemlerinde performansı daha da artırmaktadır. Örneğin, PSO ve ABC gibi algoritmalar, RIS'in faz kaymalarını optimize ederek toplam veri hızını (sum-rate) artırabilir. Bu yöntemler, özellikle düşük veri hızına sahip kullanıcıların (örneğin, sinyal engelleri nedeniyle zayıf kapsama alanında bulunanlar) hizmet kalitesini iyileştirmek için kullanılmaktadır (Başar ve ark., 2019).

Sonuç olarak RIS, kablosuz haberleşme sistemlerinde enerji verimliliği, sinyal kapsama alanı ve kanal performansını iyileştiren güçlü bir teknoloji olarak değerlendirilmektedir. Bu teknoloji, 5G ve ötesi ağların temel taşlarından biri olma potansiyeline sahiptir ve gelecekteki haberleşme sistemlerinde kritik bir rol oynamaya adaydır.

3.6. HAPS'in Optimizasyon İhtiyaçları

HAPS günümüzde hala geliştirilmekte olup, çoğu özelliği optimizasyona ihtiyaç duyar. Bu ihtiyaçlar doğrultusunda literatürde çok sayıda optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışılan başlıca optimizasyon alanları aşağıda sıralanmıştır.

- *Pil ömrü:* HAPS'in pil ömrünü uzatmak, bu platformların daha uzun süre uçuşmasına ve daha geniş bir alana hizmet vermesine olanak tanır. Bu, pil teknolojisinin geliştirilmesi, daha verimli güç sistemlerinin kullanılması ve pillerin daha az şarj gerektirecek şekilde optimize edilmesi yoluyla sağlanabilir.
- *Hava direnci:* Hava direncini azaltmak, HAPS'in daha verimli uçuşmasına ve daha az yakıt kullanmasına olanak tanır. Bu, aerodinamik tasarımların geliştirilmesi, daha hafif malzemelerin kullanılması ve hava direncini azaltan kanat ve kuyruk şekillerinin kullanılması yoluyla sağlanabilir.
- *İletişim sistemleri:* İletişim sistemlerini iyileştirmek, HAPS'in daha fazla kullanıcıya hizmet vermesine ve daha yüksek hızlarda veri aktarmasına olanak tanır. Bu, daha verimli anten tasarımlarının geliştirilmesi, daha yüksek veri oranları sağlayan iletişim protokollerinin kullanılması ve veri

kaybını azaltan sinyal işleme tekniklerinin kullanılması yoluyla sağlanabilir.

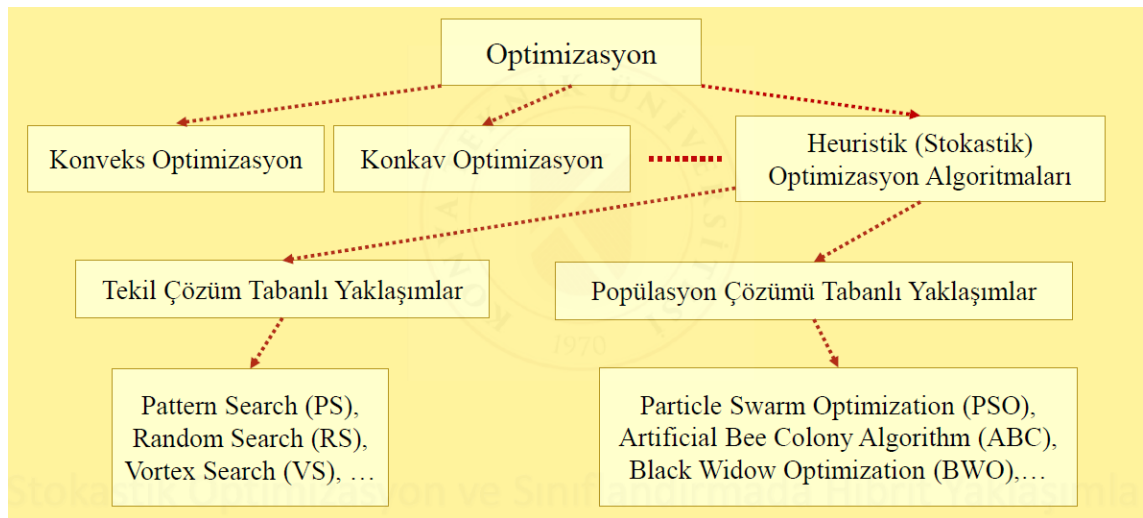
3.7. Optimizasyon

Optimizasyon; en iyi sonuçları elde etmek, sınırlı durumlar altında herhangi bir işlemi en iyi şekilde gerçekleştirmek, optimum sonuç için değişken değerlerini tespit etmek, matematiksel bir fonksiyonun minimizasyon veya maksimizasyon noktasına erişmesini sağlamaktır.

Optimizasyon teknikleri, yapılmış veya yapılmakta olan bir işin-fonksiyonun-problemin en iyi çözümünü ortaya koymayı amaçlar. Mühendislik ve diğer alanlardaki herhangi bir sorunun çözümü için genellikle birden çok çözüm yolu bulunmasına rağmen bunların tümü hedeflenen etkin sonuç değildir. Bu sebeple optimizasyon yani en uygun duruma getirme kavramı ortaya çıkmıştır (Cengiz ve ark., 2019).

Optimizasyon yöntemleri, kontrol, sınıflandırma, iletişim ve diğer alanlarda gereklilik duyulan önemli algoritmalar. Optimal çözümlere ulaşmada yakınsama gereksinimlerini karşılamaya çalışırlar. Özellikle çevrimiçi (gerçek zamanlı) uygulamalarda hızlı ve başarılı yakınsama önemlidir (Ceylan ve ark., 2018).

Optimizasyon algoritmaları, kullanılacağı problem, hedeflenen değer ve girdi sayılarına göre farklı türlere ayrılmaktadır. Şekil 3.9.'da görüldüğü gibi farklı problemler için farklı optimizasyon çözümleri sunulmaktadır.



Şekil 3.9. Optimizasyon Türleri

Matematiksel modelleme tekniği, doğrusal ve az sayıda olan değişkenlerin kullanılmasıyla başlamıştır. Bir süre sonra doğrusallık varsayımının her problem için geçerli olmadığı, bu noktada doğrusal olmayan modellemenin gerekliliği görölmüştür. Zamanla geliştirilen yöntemlerle non-lineer modellerin hızla çözümlenmesi sağlanmış ve bu durum optimizasyon teorisini ortaya çıkarmıştır.

Sezgisel optimizasyonda üç farklı kavram mevcuttur. Bunlar; maliyet/kar fonksiyonları, karar parametreleri ve kısıt fonksiyonları/sınırlamalardır.

Karşılaşılan problemde ele alınan fonksiyonun, maksimum değer üreteceği nokta aranıyor ise optimizasyon işlemleri maksimizasyonu sağlamalıdır ve denklem bir kar fonksiyonudur. Karşılaşılan problemde ele alınan fonksiyonun minimum değer üreteceği nokta aranıyor ise problem bir minimizasyon işlemidir ve denklem bir maliyet fonksiyonudur.

3.7.1. Kullanılan Optimizasyon Teknikleri

Optimizasyon teknikleri, içerdіđi formüller ve kurallar doğrultusunda, karar parametrelerinin optimum değerlerini bulmayı amaçlayan matematiksel bir disiplindir. Bu teknikler, mühendislikten ekonomiye, lojistikten yapay zekâya kadar pek çok alanda kritik bir rol oynar. Optimizasyon süreçleri genellikle biyolojik veya ekolojik sistemlerden ilham alınarak geliştirilmiştir ve problemin doğasına, kısıtlarına ve hedef fonksiyonuna bağlı olarak farklı kategorilere ayrılmaktadır.

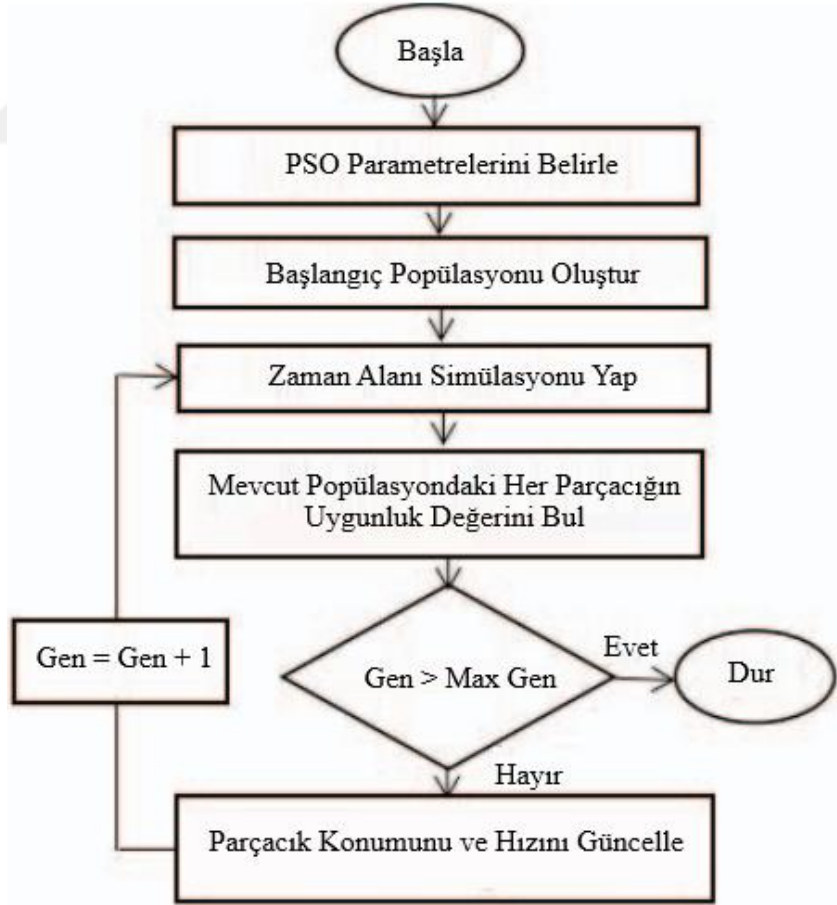
Örneğin; PSO kuş sürülerinin yiyecek arama davranışlarından esinlenerek geliştirilmiştir. ABC optimizasyonu, arıların yiyecek bulma ve bu yiyeceği kovana taşıma süreçlerinden yola çıkılarak tasarlanmıştır. GWO ise kurt sürülerinin avlanma stratejileri ve sosyal hiyerarşik düzenlerini model almıştır.

Bu optimizasyon teknikleri, doğadan ilham alan meta-sezgisel yöntemler arasında önemli bir yere sahiptir ve çeşitli optimizasyon problemlerinin çözümünde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Her biri kendine özgü avantajlara ve sınırlamalara sahip olup, spesifik problemin gereksinimlerine göre uygun algoritmanın seçimi büyük önem taşımaktadır. Aşağıda, bu üç optimizasyon algoritmasının detaylı açıklamaları verilmiştir.

3.7.1.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)

PSO, Kennedy ve Eberhart tarafından 1995 yılında geliştirilen, doğadaki kuş sürüleri ve balık topluluklarının kolektif davranışlarından esinlenen bir meta-sezgisel optimizasyon algoritmasıdır. PSO, arama uzayında hareket eden ve "parçacık" olarak adlandırılan çok sayıda aday çözümün, hem kendi en iyi konumlarını hem de topluluğun en iyi konumunu dikkate alarak konumlarını güncellemeleri prensibine dayanır. Bu mekanizma sayesinde, parçacıklar global optimuma doğru yönlendirilir.

PSO'nun temel avantajları arasında basitliği, az sayıda ayar parametresi gerektirmesi ve sürekli veya ayrık birçok optimizasyon problemine kolayca uyarlanabilmesi bulunmaktadır. Özellikle mühendislik tasarımı, makine öğrenimi ve kontrol sistemleri gibi alanlarda geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Ancak, PSO'nun yerel minimumlara takılma ve çözüm çeşitliliğini kaybetme gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Bu sorunları aşmak için literatürde birçok varyasyon ve iyileştirme önerilmiştir. PSO'nun optimizasyon adımları Şekil 3.10.'da (Swari ve ark., 2022) gösterilmiştir.

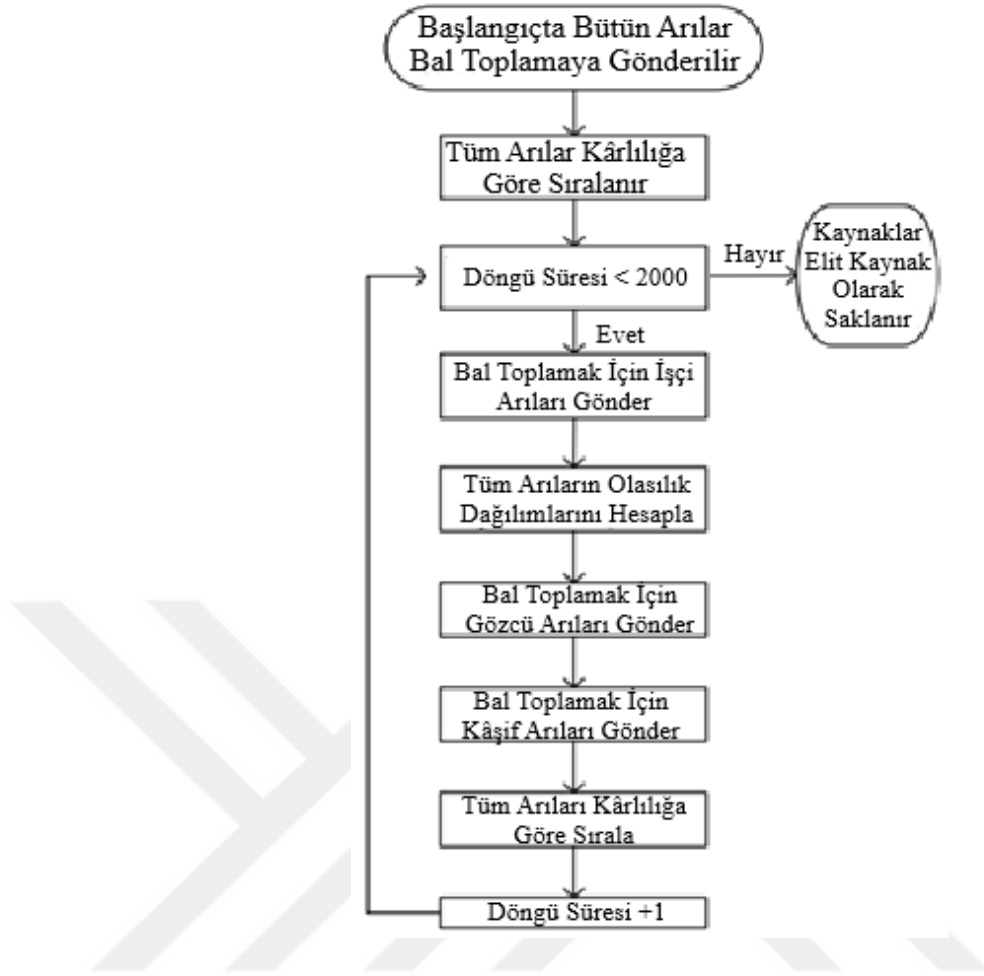


Şekil 3.10. PSO Akış Şeması

3.7.1.2. Yapay Arı Kolonisi (ABC)

ABC algoritması, Karaboğa tarafından 2005 yılında bal arılarının doğal besin arama davranışlarını modelleyerek geliştirilen bir optimizasyon tekniğidir. ABC algoritması, işçi arılar, izci arılar ve gözlemci arılar olmak üzere üç temel arı tipinin etkileşimleri üzerinden çalışır. İşçi arılar mevcut çözümleri iyileştirmeye çalışırken, izci arılar yeni çözüm alanlarını keşfeder ve gözlemci arılar ise işçi arıların paylaştığı bilgilere dayanarak en iyi çözümleri seçer.

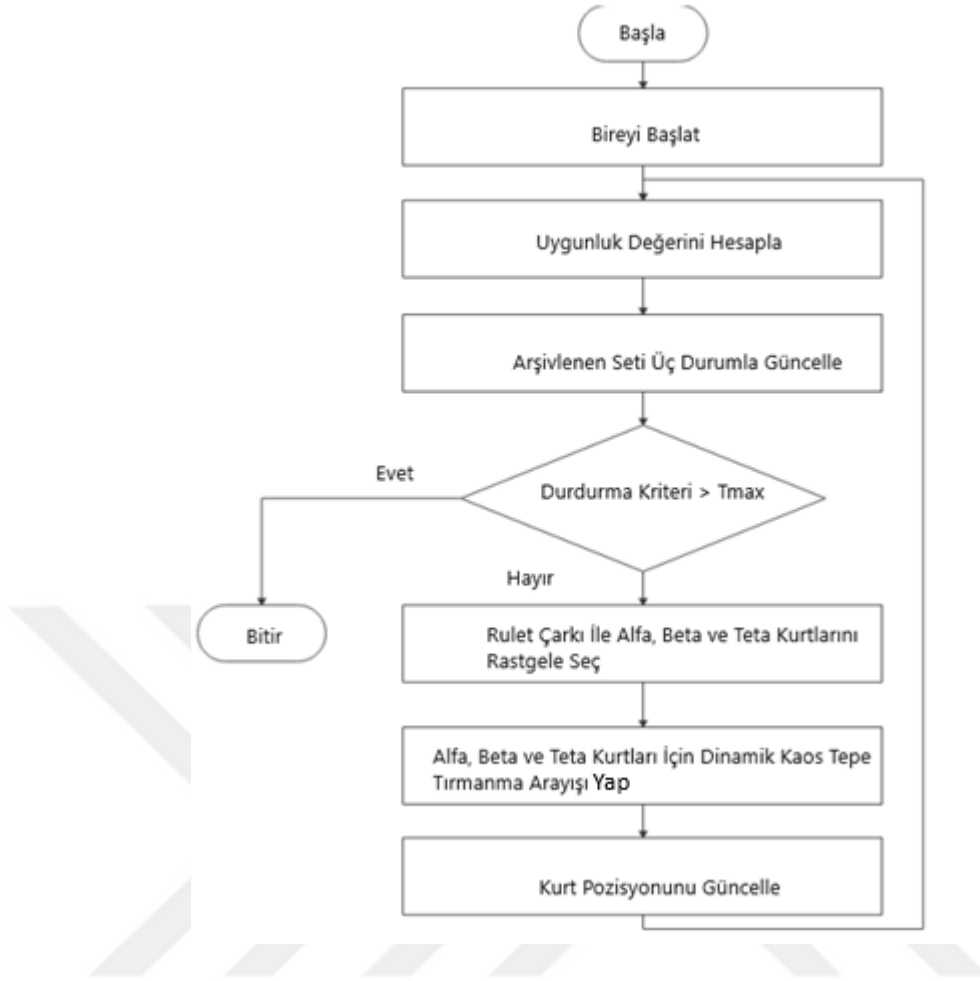
ABC algoritmasının esnekliği ve az sayıda kontrol parametresi gerektirmesi, onu mühendislik, veri madenciliği ve sinir ağları gibi çeşitli alanlarda popüler bir seçim haline getirmiştir. Ancak, algoritmanın özellikle yüksek boyutlu problemlerde yavaş yakınsama hızına sahip olabileceği belirtilmiştir. Bu nedenle, literatürde ABC'nin performansını artırmak amacıyla çeşitli modifikasyonlar ve hibrit yaklaşımlar önerilmiştir. ABC algoritmasının akış diyagramı Şekil 3.11.'de (Liu ve ark., 2017) verilmiştir.



Şekil 3.11. ABC Akış Şeması

3.7.1.3. Gri Kurt Optimizasyon Algoritması (GWO)

GWO, Mirjalili ve arkadaşları tarafından 2014 yılında geliştirilen ve gri kurtların avlanma davranışlarını ve sosyal hiyerarşilerini taklit eden bir meta-sezgisel algoritmadır. GWO'da, popülasyon üyeleri alfa, beta, delta ve omega olarak sınıflandırılır; alfa liderliği üstlenirken, beta ve delta yardımcı liderlerdir ve omega ise diğer bireyleri temsil eder. Avın yeri tahmin edilerek, kurtlar avı kuşatma, avlanma ve avı yakalama aşamalarını simüle ederler. GWO algoritmasının akış diyagramı Şekil 3.12.'de (Gu ve ark., 2020) verilmiştir.



Şekil 3.12. GWO Akış Şeması

GWO'nun basit yapısı ve az sayıda kontrol parametresine sahip oluşu, onu mühendislik optimizasyonu, makine öğrenimi ve görüntü işleme gibi çeşitli alanlarda etkili bir araç haline getirmiştir. Ancak, GWO'nun özellikle karmaşık ve yüksek boyutlu problemlerde global optimumu bulma yeteneğinin sınırlı olabileceği rapor edilmiştir. Bu nedenle, literatürde GWO'nun performansını iyileştirmek için çeşitli geliştirmeler ve hibrit modeller önerilmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında Şekil 4.1.'de gösterildiği gibi, üzeri RIS ile donatılmış ve bir kontrol istasyonu ile entegre şekilde çalışan HAPS iletişim sistemi modellenmiştir. Baz istasyonlarının yeterli derecede hizmet sağlayamadığı kullanıcılar, kontrol istasyonu aracılığı ile HAPS-RIS sistemi üzerinden iletişim kurmaktadır. Modelleme yapılırken 100 adet kullanıcının, 10x10 km'lik bir alanda rastgele dağıldığı varsayılmıştır. Ele alınan sistemler ve önerilen çözümler, sırasıyla alt başlıklar halinde açıklanmıştır.



Şekil 4.1. Kullanıcılara Hizmet Veren HAPS-RIS Sistemi

4.1. Hücre İçi İletişim

İlk olarak, 100 adet kullanıcının karasal baz istasyonları üzerinden haberleştiği varsayılmıştır. Bu senaryoda 100 adet kullanıcı alanda rastgele dağılırken, 4 adet baz istasyonu Lloyd's Algoritması kullanılarak (Alfattani ve ark. 2022) yerleştirilmiştir. Bu algoritmanın amacı baz istasyonlarının, kullanıcılar ile aralarındaki öklid mesafelerinin minimize edilmesidir.

Ele alınan senaryoda kullanılan karasal sisteme ayrılan, tüm karasal sistem bant genişliğinin B_{BS} Hz olduğu ve her bir kullanıcıya hizmet sağlamak üzere eşit bant

genişliğine sahip (B_{UE} Hz) alt taşıyıcılara bölündüğü ortogonal frekans bölmeli çoğullama iletim şeması kullanıldığı varsayılmıştır. Dolayısıyla her hücredeki kullanıcı ekipmanlarının, verilerini iletmek için yalnızca bir alt taşıyıcı kullanmalarına izin verilmiştir. Ancak, diğer hücrelerdeki kullanıcılar aynı alt taşıyıcıyı kullanabilir. Bu nedenle, hücreler arası girişim oluşurken hücre içi girişim meydana gelmeyecektir (Alfattani ve ark., 2022).

Buna göre bir alt taşıyıcı üzerinde ℓ 'inci baz istasyonundan k 'inci kullanıcıya aktarılan sinyal Eşitlik 4.1'de verilmiştir.

$$y_{kl} = \sqrt{\{PBS_{\{kl\}}\}} h_{kl} x_{kl} + \sum_{\{l'=1, l' \neq l\}}^{\{L\}} \sqrt{\{PBS_{\{kl\}}\}} h_{kl'} x_{kl'} + w_{kl} \quad (4.1)$$

Burada PBS_{kl} iletim gücünü, x_{kl} iletilen sembolü, w_{kl} ortalaması sıfır olan ve güç spektral yoğunluğu N_0 olan eklenebilir beyaz Gauss gürültüsünü, h_{kl} belirli bir alt taşıyıcıda kullanıcı k ile baz istasyonu ℓ arasındaki kanal katsayısını ifade eder. L toplam baz istasyonu sayısını, $h_{kl'}$ kullanıcı k ile ona en yakın olan baz istasyonu haricindeki diğer baz istasyonları ile arasındaki kanal katsayısını, $x_{kl'}$ kullanıcı k ile ona en yakın olan baz istasyonu haricindeki diğer baz istasyonları arasındaki iletilen sembolü ifade eder. h_{kl} hesabı Eşitlik 4.2'de verilmiştir.

$$h_{kl} = \sqrt{\{GBS_{\{l\}} GUE_{\{kl\}} PLBS_{\{kl\}}\}^{-1}} \quad (4.2)$$

Eşitlik 4.2'deki, GBS_{ℓ} baz istasyonunun anten kazancını, GUE_{ℓ} kullanıcının anten kazancını, $PLBS_{kl}$ k kullanıcısı ile ℓ baz istasyonu arasındaki yol kaybını ifade eder. Baz istasyonu ℓ tarafından hizmet verilen kullanıcı k üzerindeki elde edilebilir sinyal girişim gürültü oranı Eşitlik 4.3'te verilmiştir.

$$\gamma_{kl} = \frac{P_{kl}^{BS} |h_{kl}|^2}{\sum_{l'=1, l' \neq l}^L P_{kl'}^{BS} |h_{kl'}|^2 + N_0 B_{UE}} \quad (4.3)$$

Bu ifadeler kullanılarak erişilebilir iletim hızı (toplam oran) bit/saniye cinsinden Eşitlik 4.4'te verilmiştir.

$$R_{kl} = B_{UE} \log_2(1 + \gamma_{kl}) \quad (4.4.)$$

Burada, baz istasyonu ile kullanıcı arasındaki iletişim hızının önceden belirlenmiş bir eşik değerin ($R_{\min}$) üzerinde olması gerekmektedir ($R_{kl} > R_{\min}$).

4.2. Hücre Dışı İletişim

Baz istasyonu ile kullanıcı arasındaki iletişim hızının; önceden belirlenmiş minimum toplam oran değerinin altında kaldığı durumlarda, kullanıcılar baz istasyonu ile değil kontrol istasyonu aracılığı ile (HAPS-RIS sistemi ile) bağlantı kurmaya başlayacaktır. Baz istasyonu tarafından hizmet alınan kullanıcılar K1 kümesine, HAPS-RIS tarafından hizmet sağlanan kullanıcılar ise K2 kümesine dahil edilmiştir.

Kontrol istasyonunun K2 kümesindeki kullanıcılara ortogonal frekans bölmeli çoğullama protokolünü kullanarak hizmet verdiği varsayılmıştır. Bu nedenle kullanıcılar arasında girişim olmayacaktır. Ayrıca hem hücre içi hem de hücre dışı iletişim, iki farklı ortogonal frekans bandında gerçekleşirken, her iki bağlantı türü için de B_{UE} aynı kalmaktadır. Sonuç olarak, K1 kümesine ait hücre içi kullanıcılar ile K2 kümesine ait hücre dışı kullanıcılar arasında girişim olmayacaktır (Alfattani ve ark., 2022).

Buna göre K2 kümesine ait kullanıcı k için alınan sinyal Eşitlik 4.5'te verilmiştir.

$$y_k = \sqrt{P_k^{CS}} h_k \Phi_k x_k + w_k \quad (4.5.)$$

Burada P_k^{CS} kontrol istasyonunun iletim gücünü; w_k kullanıcı k için sıfır ortalamalı eklenebilir beyaz Gauss gürültüsünü ifade eder. h_k ise kontrol istasyonundan HAPS-RIS'e ve HAPS-RIS'ten k kullanıcıasına olan efektif kanal kazancını ifade eder (Jaafar ve ark., 2021) ve Eşitlik 4.6'da verilmiştir.

$$h_k = \sqrt{G_t^{CS} G_r^k (PL^{CS-HAPS-k})^{-1}} \quad (4.6)$$

G_t^{CS} kontrol istasyonunun kanal kazancını, G_r^k ise kullanıcı k 'nın kanal kazancını ifade eder. $PL^{CS-HAPS-k}$ ise kontrol istasyonu ve HAPS-RIS ile HAPS-RIS ve kullanıcı k arasındaki yol kaybını ifade eder. Ayrıca Eşitlik 4.5'teki Φ_k , k kullanıcısına karşılık gelen RIS'in yansıma kazancını temsil eder ve Eşitlik 4.7'de verilmiştir.

$$\Phi_k = \sum_{i=1}^{N_k} \rho_i e^{-j(\phi_i - \theta_i - \theta_k)} \quad (4.7)$$

Burada ρ_i yansıtıcı birim i 'ye karşılık gelen yansıma kaybını ifade ederken, θ_i yansıtıcı birim i ile kontrol istasyonu arasındaki ilgili fazı, θ_k yansıtıcı birim i ile kullanıcı k arasındaki ilgili fazları temsil eder. ϕ_i yansıtıcı birim i 'nin ayarlanmış faz kaymasını temsil ederken, N_k , kullanıcı k 'ye tahsis edilen toplam yansıtıcı birim sayısını ifade eder. RIS yansıtıcı birimleri her bir kullanıcı için farklı alt taşıyıcı kullandığı için kullanıcılar arasında bölünmüştür.

Buna göre kullanıcı k 'deki sinyal gürültü oranı Eşitlik 4.8'de verilmiştir

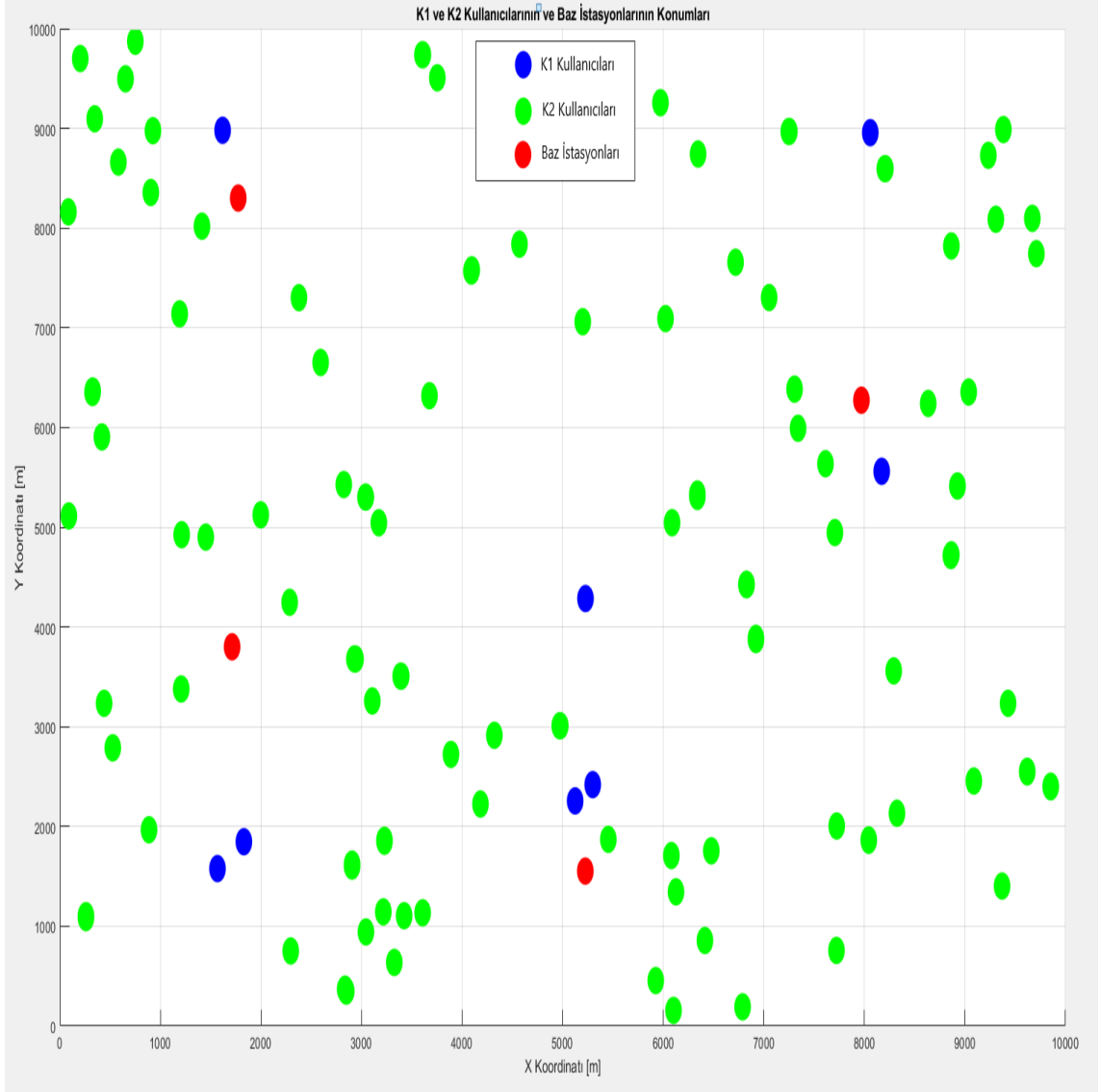
$$\gamma_k = \frac{P_k^{CS} |h_k \Phi_k|^2}{N_0 B_{UE}} \quad (4.8)$$

devamında K2 kümesine ait k kullanıcısının erişilebilir iletim hızı (toplam oran) Eşitlik 4.9'da elde edilmiştir.

$$R_k = B_{UE} \log_2(1 + \gamma_k) \quad (4.9)$$

4.3. Kullanıcı Yerleşimi ve Yol Kaybı Hesaplamaları

Bu çalışmanın amacı, karasal baz istasyonlarından yeterli hizmet alabilen K1 kullanıcıları ile yeterli hizmet alamayan K2 kullanıcılarını ayırarak, K2 kullanıcılarının HAPS-RIS sistemi üzerinden elde ettikleri erişilebilir iletim hızını optimize etmektir. Bu amaçla Şekil 4.2.'de gösterildiği gibi 100 adet kullanıcı 10x10 km'lik alana rastgele yerleştirilmiş ardından Lloyd's Algoritması kullanılarak 4 adet baz istasyonu optimum şekilde yerleştirilmiştir (Lu ve ark., 2016).



Şekil 4.2. Kullanıcı ve Baz İstasyonu Yerleşimi

Şekil 4.2.'de doğrudan karasal baz istasyonu ile iletişimde olan kullanıcılar K1 kümesine atanmıştır ve renkleri mavi ile gösterilmiştir. Veri hızları belirlenen eşik değerinin altında olan yani $R_{kl} < R_{\min} = 2$ MB/s şeklinde olan K2 kullanıcıları ise kontrol istasyonu aracılığı ile HAPS-RIS sistemi ile iletişime geçmiştir ve yeşil renkle gösterilmiştir. Baz istasyonları ise kırmızı renkle gösterilmiştir.

HAPS-RIS sistemi alanın merkezinde ve 20 km yükseklikte konumlandırılmıştır. Baz istasyonunun iletim gücü $P^{BS} = 35$ dBm ve kanal kazancı $G^{BS} = 8$ dB olarak alınmıştır. Yol kaybı hesaplamaları için 3GPP standartları (3GPP, 2022) kullanılmıştır. Karasal baz istasyonları için baz istasyonu yüksekliği 25 metre kabul edilmiştir. Bütün sistemin çalışma frekansı $f_c = 2$ GHz, gölgelenme sabiti ise 8 dB kabul edilmiştir.

Kullanıcıların boyu 1.5 metre kabul edilerek, kentsel kanal modeli ve yol kaybı hesaplamaları 3GPP standartlarının (3GPP, 2022) Çizelge 4.1.'de gösterilen değerlerine göre yapılmıştır. Baz istasyonu ve HAPS-RIS sisteminin yol kaybı hesaplaması Eşitlik 4.10'da gösterildiği gibi yapılırken, LOS olasılığı Eşitlik 4.11'de gösterilmiştir (Yanıkömeroğlu ve ark., 2021). Burada; b_1 , b_2 ve b_3 ortam koşullarına bağlı olan parametrelerdir ve 3GPP standartlarının (3GPP, 2022) Çizelge 4.2.'de gösterilen değerlerine göre seçilmiştir. ϑ parametresi HAPS-RIS sistemi ile kullanıcı arasındaki yükseklik açısidir ve 90 derece olduğunda bu parametre 1 kabul edilir.

$$PL = \mathcal{P}^{LoS} PL^{LoS} + \mathcal{P}^{NLoS} PL^{NLoS} \quad (4.10)$$

$$\mathcal{P}^{LoS} = b_1 \vartheta^{b_2} + b_3 \quad (4.11)$$

Çizelge 4.1. 3GPP Yol Kaybı Hesabı

Senaryo	LOS/NLOS	Yol Kaybı Hesabı	Gölgeleme Sabiti	h_{ut} = Kullanıcı Boyu h_{BS} = Baz İstasyonu Yüksekliği f_c = Çalışma Frekansı
Şehir Merkezi	LOS	$PL_{UMb-LOS} = \begin{cases} PL_1 & 10m \leq d_{2D} \leq d'_{BP} \\ PL_2 & d'_{BP} \leq d_{2D} \leq 5km, \text{ see note 1} \end{cases}$ $PL_1 = 28.0 + 22 \log_{10}(d_{3D}) + 20 \log_{10}(f_c)$ $PL_2 = 28.0 + 40 \log_{10}(d_{3D}) + 20 \log_{10}(f_c) - 9 \log_{10}((d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2)$	$\sigma_{SF} = 4$	$1.5m \leq h_{UT} \leq 22.5m$ $h_{BS} = 25m$
	NLOS	$PL_{UMb-NLOS} = \max(PL_{UMb-LOS}, PL'_{UMb-NLOS})$ for $10m \leq d_{2D} \leq 5km$ $PL'_{UMb-NLOS} = 13.54 + 39.08 \log_{10}(d_{3D}) + 20 \log_{10}(f_c) - 0.6(h_{UT} - 1.5)$	$\sigma_{SF} = 6$	$1.5m \leq h_{UT} \leq 22.5m$ $h_{BS} = 25m$ Explanations: see note 3

Çizelge 4.4. 3GPP Ortam Koşulları Parametre Hesabı

Parametre	Yoğun Kentsel Alan	Kentsel Alan	Kırsal
b1	0.04235	9.668	-99.95
b2	1.644	0.547	-0.5895
b3	27.32	-10.58	104.1

Burada NLOS olasılığı ile LOS olasılığının toplamının 1 olması gerektiğini söylemekte fayda vardır. Bu çalışmada kullanılan modelde, HAPS yerden 20 km yüksekte konumlandırıldığı için, HAPS ile kullanıcı arasındaki açı 90 dereceye çok yakındır ve dolayısıyla NLOS ihtimali sıfır olarak kabul edilmiştir (Yanıkömeroğlu ve ark., 2021). LOS hesabı ise Eşitlik 4.12’de gösterilmiştir (3GPP, 2020).

$$PL^y = PL_b + PL_g + PL_s + PL_e \quad (4.12)$$

Verilen eşitlikte PL_b temel yol kaybını, PL_g atmosferik gazlardan kaynaklanan zayıflamayı, PL_s iyonosferik veya troposferik titreşimlerden kaynaklanan zayıflamayı ve PL_e bina giriş kaybını ifade eder ve bu değerler dB cinsinden ifade edilir (Yanıkömeroğlu ve ark., 2021). PL_b hesabı Eşitlik 4.13’te verilmiştir.

$$PL_b = FSPL + CL^y + X^y, \quad (4.13)$$

PL_b hesabı içerisinde serbest uzay yol kaybı (FSPL), engel kaybı (CL^y) ve gölge solmasını (X^y) içerir. Burada FSPL ise Eşitlik 4.14’teki gibi hesaplanır.

$$FSPL = 32,45 + 2\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d) \quad (4.14)$$

Eşitlik 4.14’te d , HAPS ile kullanıcı arasındaki öklid mesafesidir, f ise çalışma frekansını ifade eder. Eşitlik 4.12’de atmosferik gazların emiliminden kaynaklanan zayıflamayı ifade eden PL_g ’nin değeri esas olarak f , HAPS-kullanıcı arasındaki açı ve d ’ye bağlıdır. 3GPP’ye (3GPP, 2020) göre $f < 10$ GHz için bu etki ihmal edilebilir. Son olarak titreşim kaybı PL_s , alınan sinyal genliği ve fazındaki dalgalanmalardan kaynaklanır. Burada titreşim kaybından bahsedilebilir. İyonosferik titreşim ve troposferik titreşim. İlki, yalnızca 6 GHz’in altındaki frekanslarda sinyalleri önemli ölçüde bozar, ikincisi ise yalnızca 6 GHz’in üzerindeki frekanslarda sinyalleri etkiler. PL_s hesabı Eşitlik 4.15’te verilmiştir.

$$PL_s = 14,7 * 9^{(-1,136)} \quad (4.15)$$

Simülasyonlar gerçekleştirilirken, $N_0 = -174$ dBm/Hz ve $B_{BS} = 50$ MHz şeklinde kabul edilmiştir. $B_{UE} = 2$ MHz seçilmiştir. Kontrol istasyonu iletim gücü 33 dBm ve

anten kazancı 43.2 dB olarak belirlenmiştir (3GPP, 2020). Simülasyonlar esnasında parametre seçimi aksi belirtilmedikçe bu bölümde verilen değerlere göre yapılmış ve kullanıcıların bina dışı ortamda ve kuru hava şartlarında bulunduğu varsayılmıştır.

4.4. PSO ile HAPS-RIS İletişim Optimizasyonu

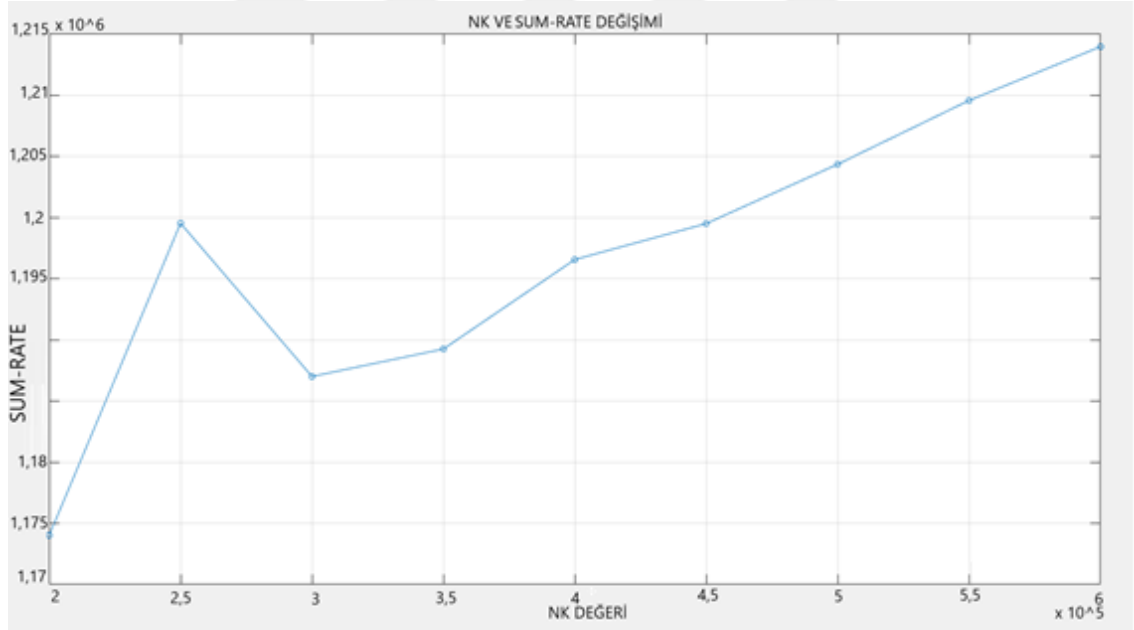
Bu kısımda, karasal baz istasyonlarından yeteri kadar hizmet alamayan K2 kullanıcılarının HAPS-RIS sistemi üzerinden hizmet almaları senaryosunda elde ettikleri bağlantı hızı yani toplam oran (sum-rate) parametresi PSO kullanılarak optimize edilmiştir. İlk olarak kullanıcılar ve baz istasyonu Lloyd's Algoritması ile yerleştirilip, N_k yani RIS sayısı 200000'den başlayıp 600000'e kadar kademeli olarak artırılmıştır. Bu artış ile PSO algoritması çalıştırılarak bağlantı hızı optimize edilmeye çalışılmıştır.

HAPS-RIS iletişimde toplam oran parametresinin optimizasyonuna yönelik geliştirilen PSO algoritması şu şekildedir:

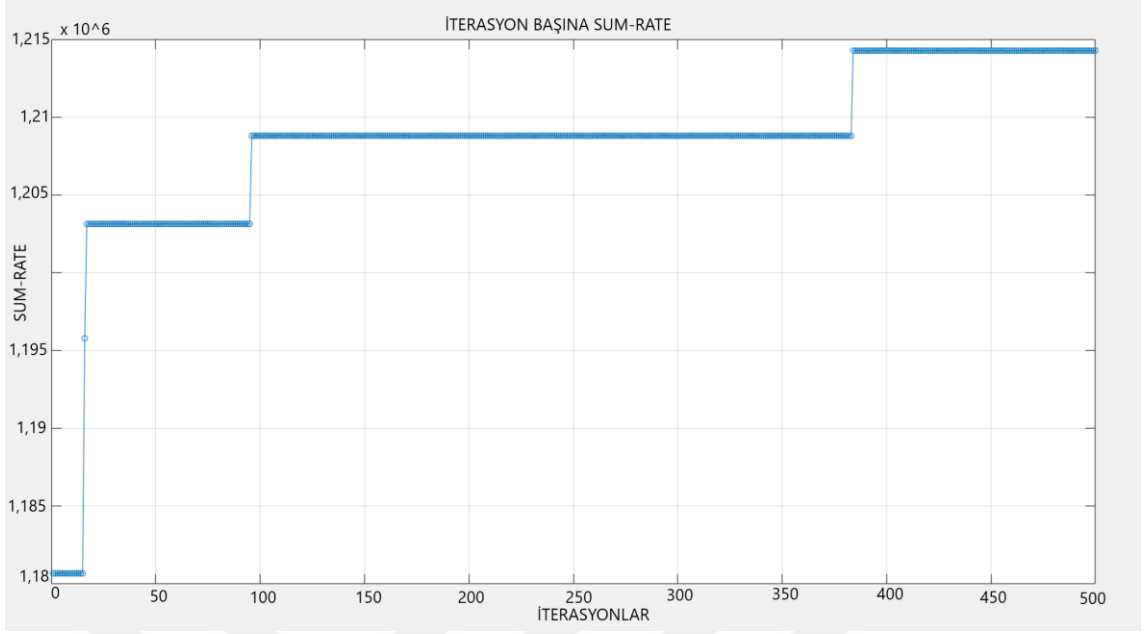
1. Başlangıç Parametrelerinin Tanımlanması: $L = 4$, $K = 100$, 10 km^2 **alan**
2. Kullanıcı ve Baz İstasyonu Pozisyonlarının Başlatılması: Kullanıcılar alanda **rastgele** dağılır. Kullanıcıların birbiri arasındaki mesafe **en az 100 metre** olacak şekildedir.
3. Lloyd Algoritması ile Baz İstasyonlarının Konumlarının Optimize Edilmesi: Baz istasyonları olabildiğince fazla müşteriye hizmet vermek üzere yerleştirilir.
4. Kullanıcıların Baz İstasyonlarına Atanması ve Mesafelerin Hesaplanması: Kullanıcılar en yakın baz istasyonuna atanır ve aralarındaki yatay ve öklid mesafeleri hesaplanır.
5. Path Loss ve Kanal Kazancı Hesaplamaları: **3GPP** standartlarına göre **path loss** ve **kanal kazancı** hesaplamaları yapılır.
6. SINR ve Veri Hızlarının Hesaplanması: Elde edilen değerlere göre bütün kullanıcıların **SINR** ve **veri hızları** hesaplanır.
7. K1 ve K2 Gruplarının Belirlenmesi: İletim hızları **2 MB/s'nin** altında olan kullanıcılar **K2** grubuna atanır.
8. PSO Algoritmasının Optimizasyon Aşaması: **Parçacık sayısı** = 30, **iterasyon sayısı** = 500, **bilişsek katsayı ($c1$)** = 2, **sosyal katsayı ($c2$)** = 2, **atalet katsayısı**

(w) = 0.4-0.9. RIS-kullanıcı arasındaki **faz açısı**, kontrol istasyonunun **iletim gücü**, HAPS üzerindeki **RIS sayısı (N_k)** optimize edilir.

Şekil 4.3'te gösterilen şekilde HAPS üzerindeki RIS sayısı (N_k) artışının optimizasyona olan etkisi gözlemlenmiştir. Şekil 4.4.'te ise PSO algoritması ile $N_k = 200000, 250000, 300000, 350000, 400000, 450000, 500000, 550000, 600000$ için erişilebilir iletim hızının optimize edildiği grafik verilmiştir. İletim hızı, N_k değeri 250000 adet olana kadar yüksek bir hızla artmıştır fakat 250000 ile 300000 arasında düşüş yaşamıştır. Sonrasında ise 600000 adet N_k değerine ulaşana kadar düzenli olarak artış göstermiştir. Sabit N_k artışı ile iletim hızı 1.175 Mb/s değerinden 1.215 Mb/s değerine kadar optimize edilmiştir ve 0,04 Mb/s'lik bir optimizasyon gerçekleştirilmiştir. N_k değerinin sabit alınmadığı PSO optimizasyonunda ise iletim hızı 1.18 Mb/s değerinden 1.215 Mb/s değerine optimize edilmiştir ve 0,035 Mb/s'lik bir optimizasyon gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.3. N_k Değerlerinin Değişiminin Optimizasyona Etkisi



Şekil 4.4. PSO İle Yapılan Optimizasyon Sonuçları

4.5. ABC ile HAPS-RIS İletişim Optimizasyonu

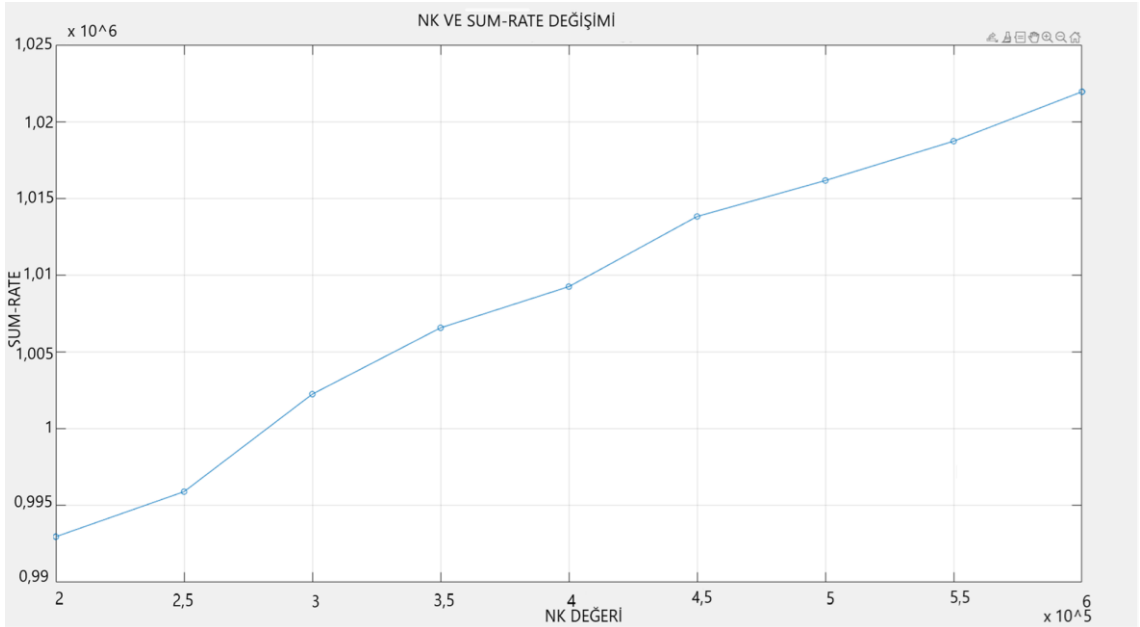
Bu kısımda, karasal baz istasyonlarından yeterli hizmet alamayan K2 kullanıcılarının HAPS-RIS sistemi üzerinden hizmet almaları senaryosunda elde ettikleri bağlantı hızı yani toplam oran (sum-rate) parametresi ABC algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. İlk olarak kullanıcılar ve baz istasyonu Lloyd's algoritması ile yerleştirilmiş ve PSO ile gerçekleştirilen uygulamadaki adımların aynılarını tekrarlanmıştır.

HAPS-RIS iletişimde toplam oran parametresinin optimizasyonuna yönelik geliştirilen ABC algoritması şu şekildedir:

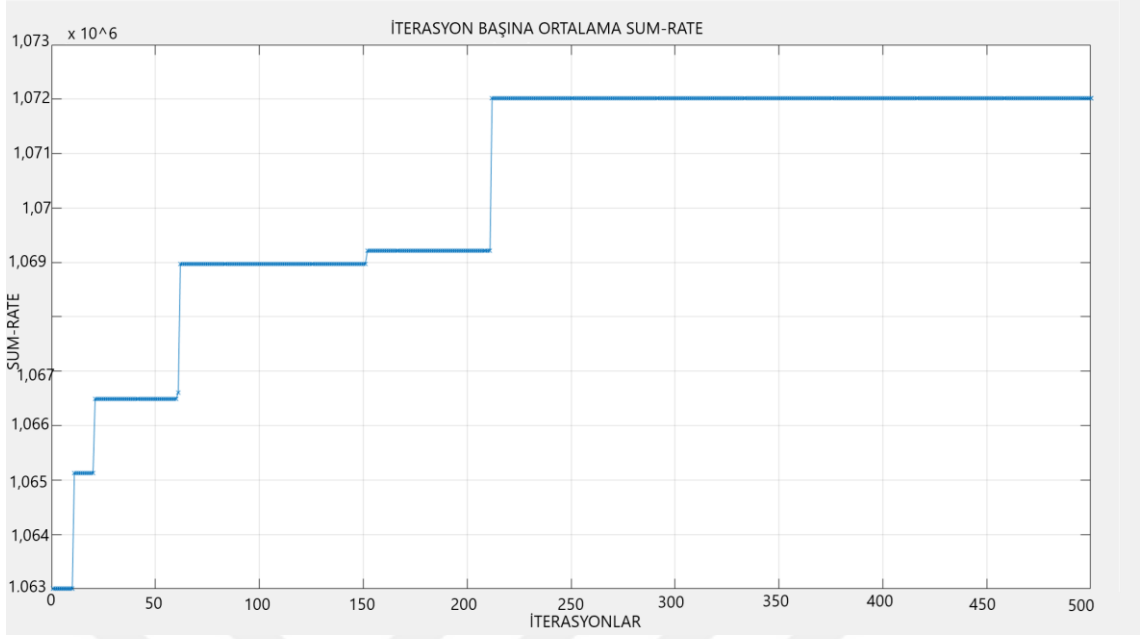
1. Başlangıç Parametrelerinin Tanımlanması: **L = 4, K = 100, 10 km² alan**
2. Kullanıcı ve Baz İstasyonu Pozisyonlarının Başlatılması: Kullanıcılar alanda **rastgele** dağılır. Kullanıcıların birbiri arasındaki mesafe **en az 100 metre** olacak şekildedir.
3. Lloyd Algoritması ile Baz İstasyonlarının Konumlarının Optimize Edilmesi: Baz istasyonları olabildiğince **fazla müşteriye hizmet vermek** üzere yerleştirilir.

4. Kullanıcıların Baz İstasyonlarına Atanması ve Mesafelerin Hesaplanması: Kullanıcılar en yakın baz istasyonuna atanır, baz istasyonu ile kullanıcı arasındaki **yatay** ve **öklid** mesafeleri hesaplanır.
5. Path Loss ve Kanal Kazancı Hesaplamaları: **3GPP** standartlarına göre **path loss** ve **kanal kazancı** hesaplamaları yapılır.
6. SINR ve Veri Hızlarının Hesaplanması: Elde edilen değerlere göre bütün kullanıcıların **SINR** ve **veri hızları** hesaplanır.
7. K1 ve K2 Gruplarının Belirlenmesi: İletim hızları **2 MB/s'nin** altında olan kullanıcılar **K2** grubuna atanır.
8. ABC Algoritmasının Optimizasyon Aşaması: **Arı sayısı = 50**, **iterasyon sayısı = 500**, **limit = 10**. RIS-kullanıcı arasındaki **faz açısı**, kontrol istasyonunun **iletim gücü**, HAPS üzerindeki **RIS sayısı (N_k)** optimize edilir.

Elde edilen sonuçlar Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'da verilmiştir. İlk olarak Şekil 4.5.'te N_k artışının toplam orana etkisi gözlemlenmiştir. İletim hızı, 600000 adet N_k değerine ulaşana kadar düzenli olarak toplam oran artış göstermiştir. Sabit N_k artışı ile iletim hızı 0.995 Mb/s değerinden 1.02 Mb/s değerine kadar optimize edilmiştir ve 0,025 Mb/s'lik bir optimizasyon gerçekleştirilmiştir. N_k değerinin sabit alınmadığı ABC optimizasyonunda ise iletim hızı 1.063 Mb/s değerinden 1.072 Mb/s değerine çıkmıştır ve 0,009 Mb/s'lik bir optimizasyon gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5. N_k Değerlerinin Değişiminin Optimizasyona Etkisi



Şekil 4.6. ABC İle Yapılan Optimizasyon Sonuçları

4.6. GWO ile HAPS-RIS İletişim Optimizasyonu

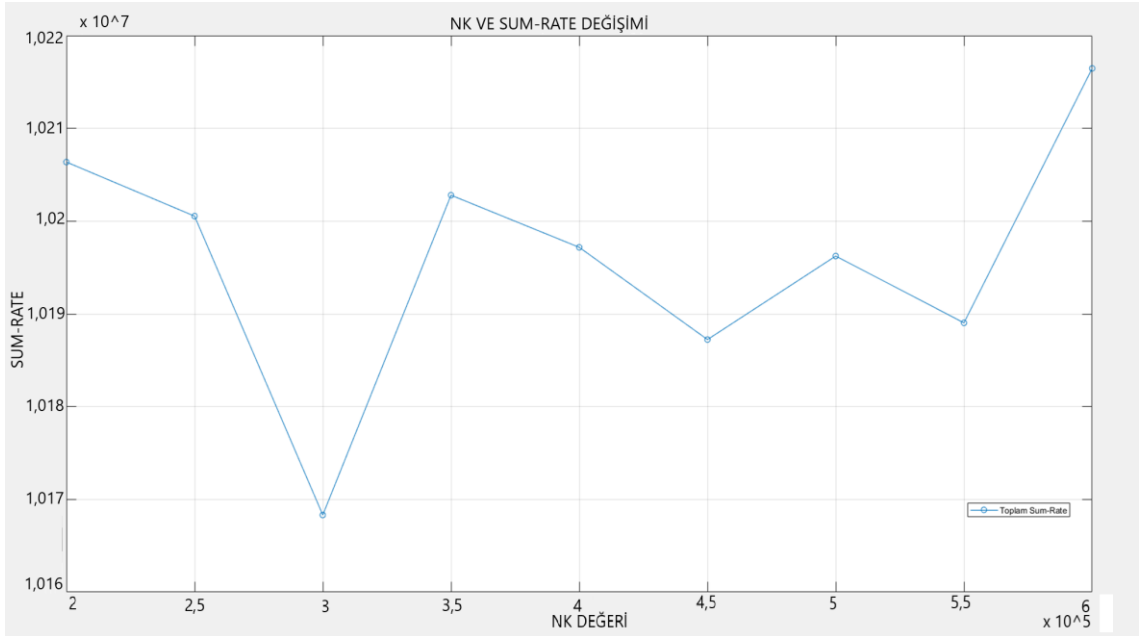
Bu bölümde, karasal baz istasyonlarından yeterli kadar hizmet alamayan K2 kullanıcılarının HAPS-RIS sistemi üzerinden hizmet almaları senaryosunda elde ettikleri bağlantı hızı yani toplam oran (sum-rate) parametresi GWO algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. İlk olarak kullanıcılar ve baz istasyonu Lloyd's Algoritması ile yerleştirilmiş, PSO ve ABC ile gerçekleştirilen uygulamadaki adımların aynılarını tekrarlanmıştır.

HAPS-RIS iletişimde toplam oran parametresinin optimizasyonuna yönelik geliştirilen GWO algoritması şu şekildedir:

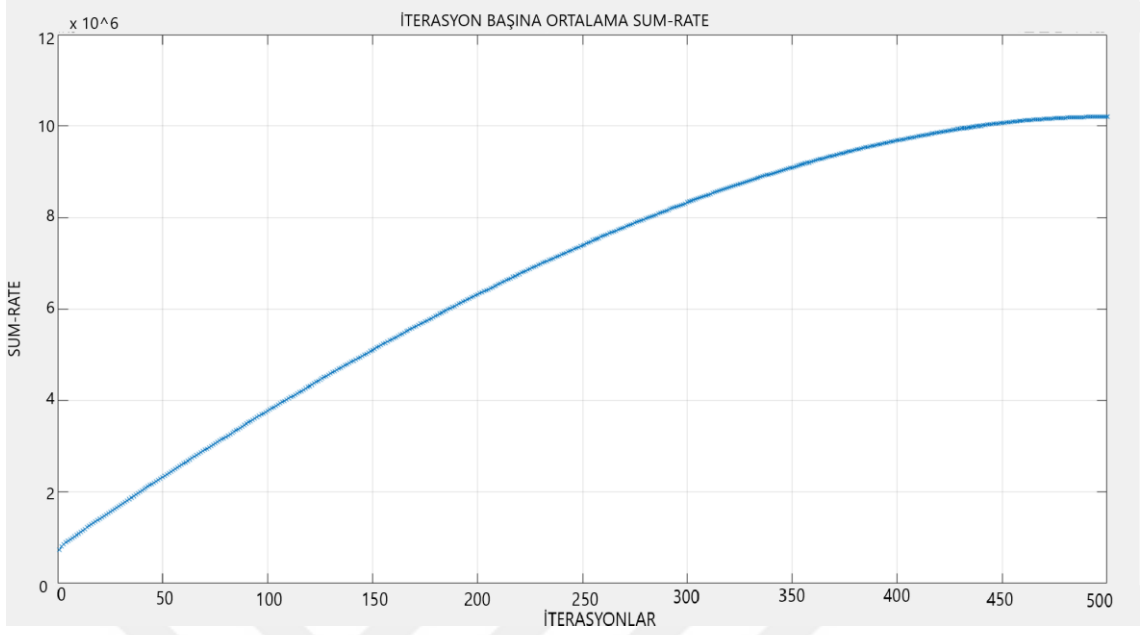
1. Başlangıç Parametrelerinin Tanımlanması: **L = 4, K = 100, 10 km² alan**
2. Kullanıcı ve Baz İstasyonu Pozisyonlarının Başlatılması: Kullanıcılar alanda **rastgele** dağılır. Kullanıcıların birbiri arasındaki mesafe **en az 100 metre** olacak şekildedir.
3. Lloyd Algoritması ile Baz İstasyonlarının Konumlarının Optimize Edilmesi: Baz istasyonları olabildiğince **fazla müşteriye hizmet vermek** üzere yerleştirilir.

4. Kullanıcıların Baz İstasyonlarına Atanması ve Mesafelerin Hesaplanması: Kullanıcılar en yakın baz istasyonuna atanır, baz istasyonu ile kullanıcı arasındaki **yatay** ve **öklid** mesafeleri hesaplanır.
5. Path Loss ve Kanal Kazancı Hesaplamaları: **3GPP** standartlarına göre **path loss** ve **kanal kazancı** hesaplamaları yapılır.
6. SINR ve Veri Hızlarının Hesaplanması: Elde edilen değerlere göre bütün kullanıcıların **SINR** ve **veri hızları** hesaplanır.
7. K1 ve K2 Gruplarının Belirlenmesi: İletim hızları **2 MB/s'nin** altında olan kullanıcılar **K2** grubuna atanır.
8. GWO Algoritmasının Optimizasyon Aşaması: **Kurt sayısı** = 30, **iterasyon sayısı** = 500. RIS-kullanıcı arasındaki **faz açısı**, kontrol istasyonunun **iletim gücü**, HAPS üzerindeki **RIS sayısı (N_k)** optimize edilir.

Elde edilen sonuçlar Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de verilmiştir. İletim hızı, farklı N_k değerlerinde düşüş ve yükseliş göstermiştir. N_k artışı ile iletim hızı 1.021 Mb/s değerinden 1.022 Mb/s değerine çıkmıştır ve 0,001 Mb/s'lik minimal bir optimizasyon gözlenmiştir. N_k değerinin sabit alınmadığı ABC optimizasyonunda ise iletim hızı 2 Mb/s değerinden 10 Mb/s değerine çıkarılmış edilmiştir ve 8 Mb/s'lik ciddi bir optimizasyon gerçekleştirilmiştir.

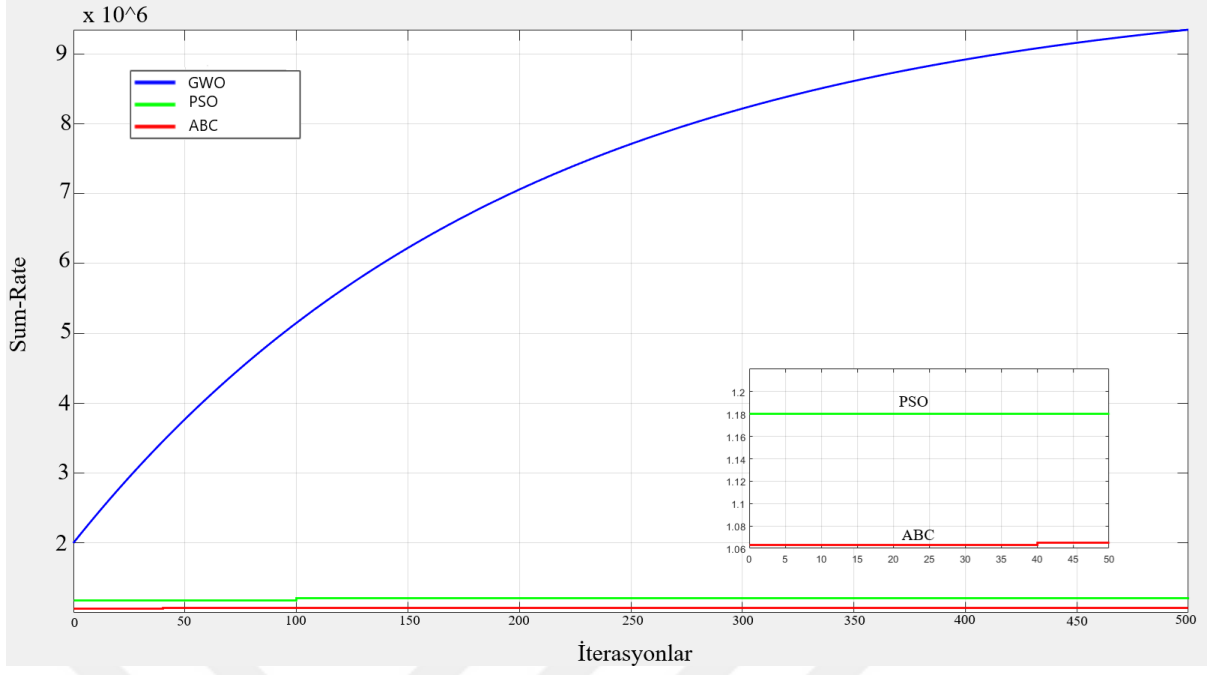


Şekil 4.7. N_k Değerlerinin Değişiminin Optimizasyona Etkisi



Şekil 4.8. GWO İle Yapılan Optimizasyon Sonuçları

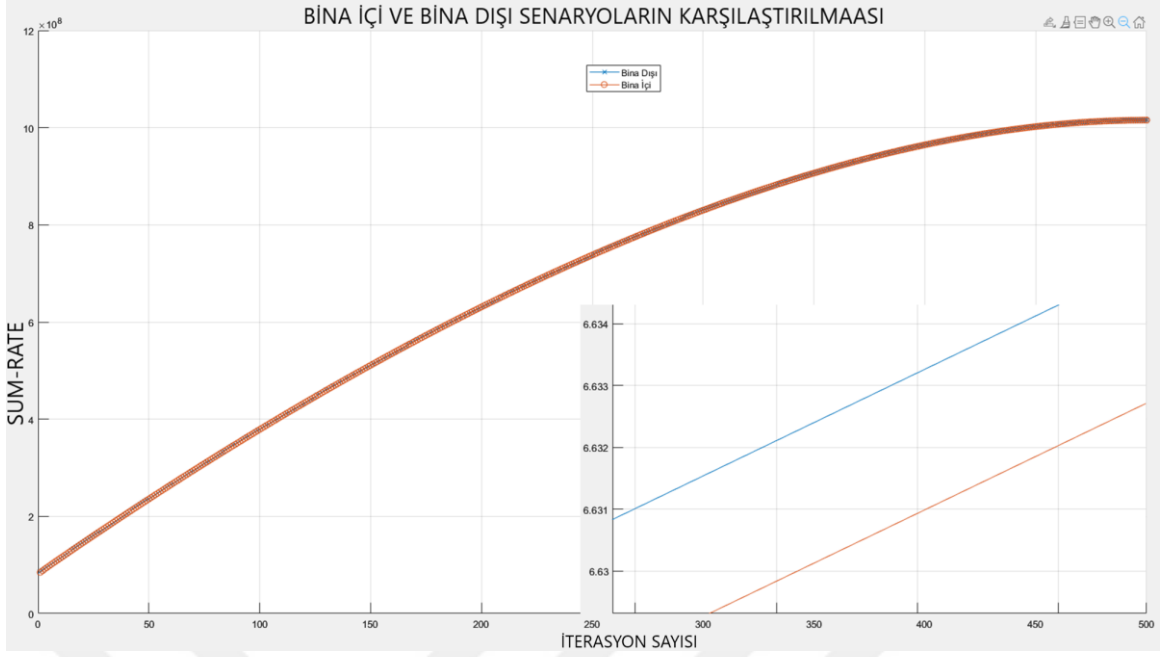
Şekil 4.9.'da üç optimizasyon algoritmasından elde edilen sonuçlar aynı grafik üzerinde birbiri ile karşılaştırılmıştır. ABC ve PSO algoritmalarının neredeyse etkisiz kaldığı görülmüştür. Fakat GWO algoritması ile çok önemli sonuçlar elde edilmiştir. GWO tekniği ile HAPS-RIS iletişiminde toplam oran optimizasyonunun başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği ispatlanmış; bu yöntemin farklı sistem parametrelerine göre davranışı da incelenmek istenmiştir.



Şekil 4.9. 3 Optimizasyon Algoritmasının Karşılaştırılması

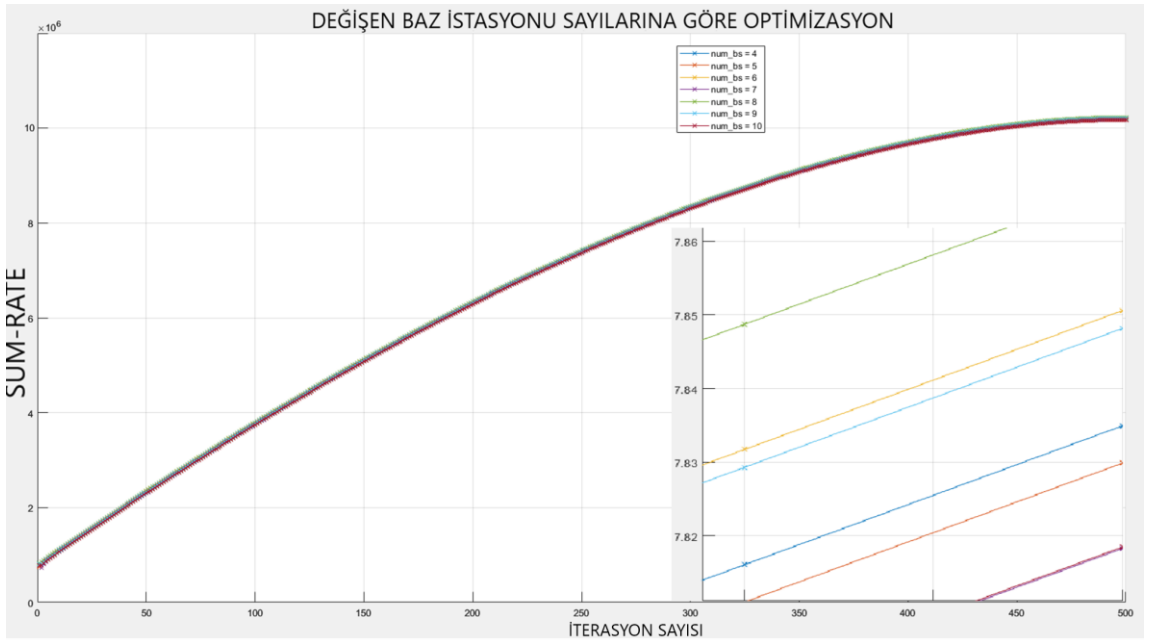
Öncelikle, GWO ile yapılan optimizasyon çalışmasında aynı koşullar ve aynı hesaplamalar dahilinde, kullanıcının bina içerisinde ve bina dışarısında olduğu durumlar ayrı ayrı değerlendirilip elde edilen sonuçlar aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Kullanıcının bina içerisinde olması, hem HAPS-RIS sistemi ile kullanıcı arasındaki mesafeye bina duvarlarının dahil edilmesi, hem de yol kaybı hesaplamasında PL_e (ITU, 2019) bina kaybının dahil edilmesi anlamına gelmektedir. Bu fark da 45 dB olarak alınmıştır. Elde edilen sonuçlar ve bina içi, bina dışı durumun oluşturduğu fark Şekil 4.10.'da verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde;

Kullanıcının içerde/dışarda olmasının servis kalitesini neredeyse etkilemediği görülmüştür. GWO algoritmasının üstün optimizasyon sonuçları korunmuştur.



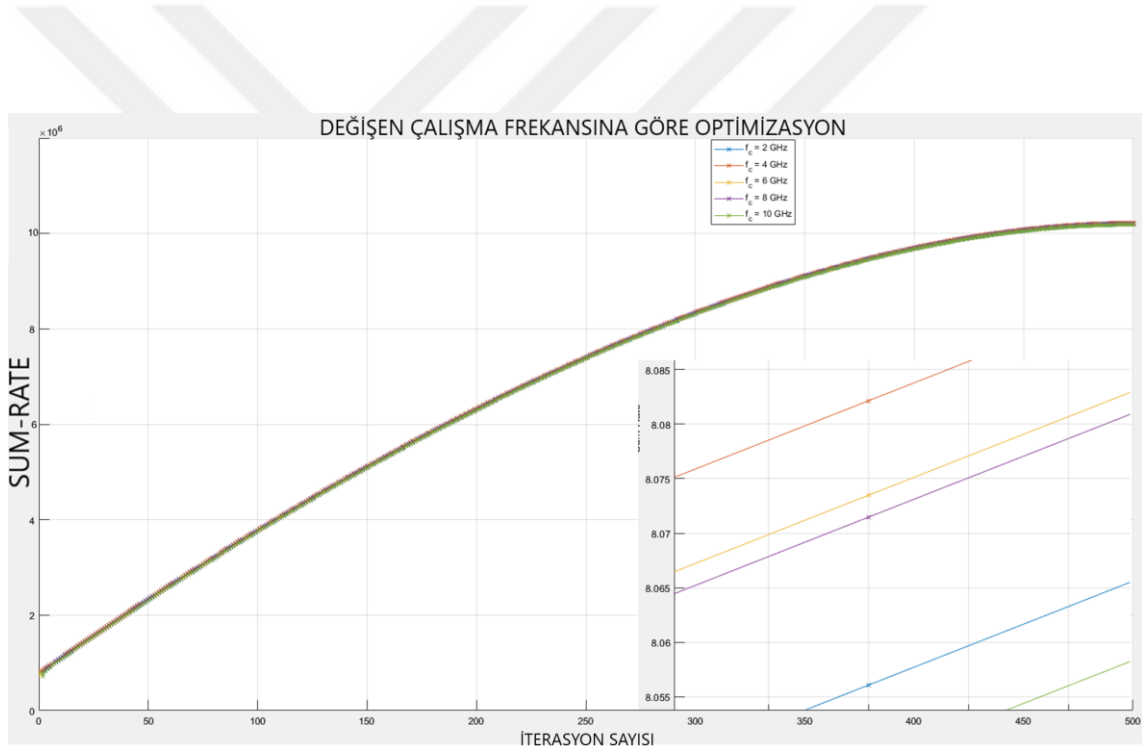
Şekil 4.10. Bina İçi ve Bina Dışı Durumun Optimizasyona Etkisi

İkinci olarak, GWO ile yapılan optimizasyon çalışmasında aynı koşullar ve aynı hesaplamalar dahilinde, model içerisindeki baz istasyonu sayılarını değiştirerek optimizasyona olan etkisi gözlemlenmiştir. Sırasıyla 4 adet baz istasyonu, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 adet baz istasyonu sayısı ayrı ayrı simüle edilmiştir. Baz istasyonu sayısının optimizasyona olan etkisi Şekil 4.11.'de verilmiştir.



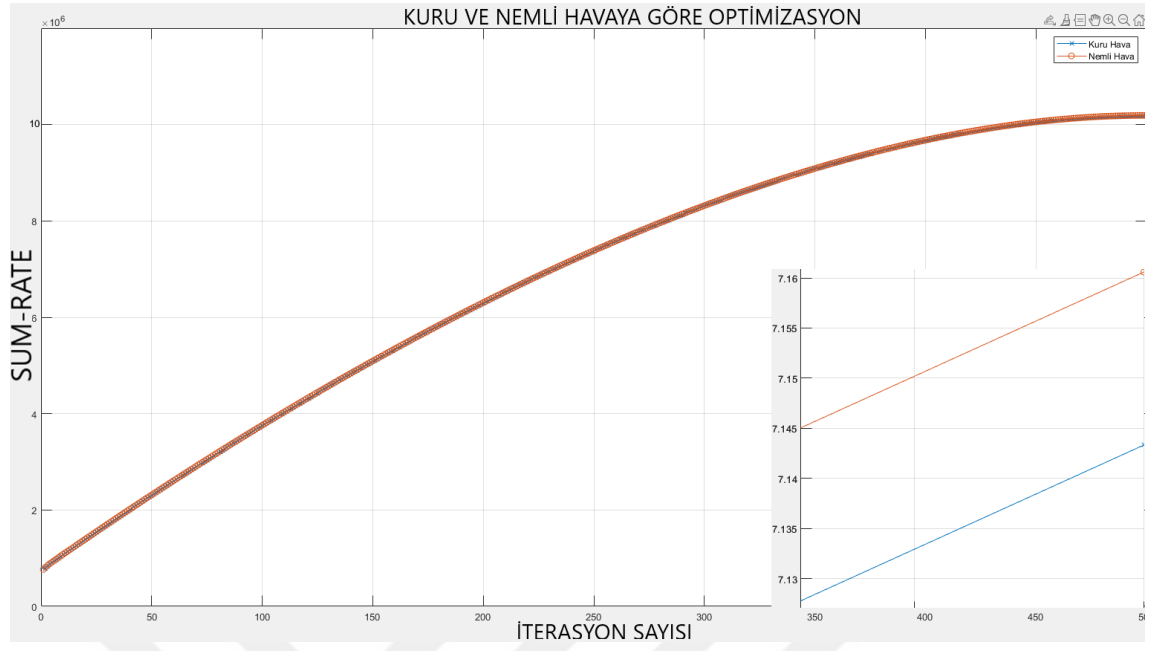
Şekil 4.11. Farklı Baz İstasyonu Sayılarının Optimizasyona Etkisi

Daha sonra, GWO ile yapılan optimizasyon çalışmasında aynı koşullar ve aynı hesaplamalar dahilinde, model içerisinde 2 GHz olarak belirlenen çalışma frekansının değişiminin optimizasyon başarımına etkisi incelenmiştir. Çalışma frekansı sırayla 2, 4, 6, 8 ve 10 GHz olarak ayrı ayrı simüle edilmiştir ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma frekansının optimizasyona olan etkisi Şekil 4.12.'de verilmiştir. Bu senaryoda en yüksek iletim hızı değerine 4 GHz çalışma frekansında erişilmiştir. En düşük ise 10 GHz çalışma frekansında erişilmiştir. Bunun başlıca sebepleri arasında, çalışma frekansının logaritmik değerinin yol kaybı hesabını büyük ölçüde etkilemesidir. Yapılan bu çalışmada, bu iletişim modeli için optimum çalışma frekansının 4 GHz olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.12. Farklı Çalışma Frekanslarının Optimizasyona Etkisi

Son olarak, GWO ile yapılan optimizasyon çalışmasında aynı koşullar ve aynı hesaplamalar dahilinde, kullanıcıların kuru hava ve nemli hava durumları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Kuru havada, yol kaybı hesaplamasında kullanılan PL_g parametresi nemli havaya kıyasla daha düşüktür. Kuru havada PL_g parametresi 100 olarak alınırken, nemli havada 200 olarak alınmıştır (Yanıkömeroğlu ve ark., 2021). Nemli havada su damlacıkları iletilen sinyalin kullanıcıya ulaşmasını etkiler ve yol kaybını artırır. Şekil 4.13.'te gösterildiği üzere normal havada optimizasyon daha iyi sonuçlar vermiştir.



Şekil 4.13. Farklı Hava Şartlarının Optimizasyona Etkisi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada, HAPS-RIS destekli bir iletişim sisteminin modellenmesi gerçekleştirilmiş ve karasal baz istasyonları ile yeterli bağlantı kuramayan kullanıcılara yönelik çeşitli optimizasyon algoritmaları uygulanmıştır. Elde edilen bulgular ışığında, hem iletişim performansının artırılması hem de HAPS-RIS sistemlerinin etkin bir şekilde kullanılması adına gerçekleştirilen çalışmaların, yeni nesil haberleşme sistemlerinin tasarımına ışık tutacağı düşünülmektedir.

Karasal baz istasyonları ile yeterli bağlantı kurabilen kullanıcılar (K1) ile bağlantı kuramayan kullanıcılar (K2) arasında yapılan ayırım, sistem optimizasyonu açısından kritik bir rol oynamıştır. HAPS-RIS sistemi üzerinden elde edilen toplam veri hızının, optimizasyon algoritmaları ile önemli ölçüde artırılabilceği gözlemlenmiştir. HAPS-RIS sistemi, K2 kullanıcılarının iletişim gereksinimlerini başarıyla karşılamış ve veri hızlarının eşik değerin üzerinde tutulmasını sağlamıştır.

PSO, ABC ve GWO algoritmaları kullanılarak yapılan optimizasyon çalışmalarında GWO algoritmasının diğerlerine kıyasla çok daha yüksek performans iyileştirmeleri sağlayabildiği görülmüştür. GWO algoritması, toplam veri hızını en etkili şekilde optimize etmiştir. Özellikle farklı baz istasyonu sayıları, çalışma frekansları ve çevresel koşullar altında GWO algoritmasının esnekliği ve uyarlanabilirliği ön plana çıkmıştır. Bina içi ve bina dışı senaryolarında, bina giriş kaybının veri hızını bir miktar etkilediği görülmüştür. Ayrıca, yüksek frekanslarda iletişim performansının atmosferik etkilerden daha fazla etkilendiği gözlemlenmiştir. Nemli hava koşullarında PL_g değerinin artışıyla yol kaybı büyümüş ve toplam veri hızında düşüşler meydana gelmiştir. Buna karşın, kuru hava koşullarında daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. RIS ünitelerinin sayısındaki artışın, toplam veri hızını pozitif yönde etkilediği tespit edilmiştir. Ancak belirli bir noktadan sonra performans artışı sınırlı kalmıştır. Bu durum, RIS ünitelerinin etkin bir şekilde tahsis edilmesinin önemini ortaya koymaktadır.

5.2 Öneriler

HAPS-RIS sistemlerinin tasarımında, kullanıcıların konumuna ve çevresel koşullara göre uyarlanabilir dinamik modeller geliştirilmelidir. Özellikle zorlu hava koşulları altında performansı artıracak yeni algoritmalar araştırılabilir. Çalışma frekanslarının, atmosferik etkileri minimize edecek şekilde seçilmesi, HAPS-RIS sistem performansını artırabilir. GWO algoritmasının başarısı göz önüne alındığında, bu algoritmanın hibrit yaklaşımlarla geliştirilmesi önerilmektedir. Optimizasyon sürecinde hesaplama yükünü azaltacak daha hızlı ve verimli algoritmalar geliştirilmelidir. Bu çalışmada değerlendirilmeyen farklı çevresel koşullar, kullanıcı yoğunlukları ve baz istasyonu yerleşimleri gibi senaryoların analiz edilmesi, HAPS-RIS sistemlerinin daha geniş kapsamlı bir şekilde optimize edilmesini sağlayabilir. Kırsal ve şehir içi alanlardaki iletişim gereksinimlerinin karşılaştırmalı analizleri yapılabilir. Bu çalışmanın simülasyon ortamında elde edilen sonuçları, gerçek dünya uygulamalarıyla desteklenmeli ve doğrulanmalıdır. Özellikle HAPS-RIS sistemlerinin donanımsal tasarımı ve prototip uygulamaları üzerine araştırmalar yapılmalıdır. GWO algoritmasının, gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılabilirliğini artırmak için enerji verimliliği ve işlem süresi açısından optimizasyonları yapılmalıdır. RIS ünitelerinin daha düşük enerji tüketimi ve daha yüksek verimlilik sağlayacak şekilde tasarlanması, sistem performansını artırabilir. Çoklu kullanıcı senaryolarında RIS ünitelerinin dinamik tahsisi üzerine çalışmalar yapılmalıdır.

Sonuç olarak, bu çalışma HAPS-RIS sistemlerinin gelecekteki iletişim ağlarında önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir. Elde edilen bulgular, HAPS-RIS sistemlerinin etkinliğini artırmaya yönelik daha kapsamlı araştırmalara ilham verebilir. Özellikle çevresel koşullara duyarlı, uyarlanabilir ve enerji verimli modeller geliştirilmesi, bu teknolojinin uygulama alanlarını genişletebilir.

KAYNAKLAR

- Abay R., 2016, Alçak İrtifa Uyduları İçin Otonom Çarpışma Analizi ve Manevra Öneri Sistemi, Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi, 1/2, 45-46.
- Alfattani S., Jaafar W., Hmamouche Y., Yanıkömeroğlu H., Yongaçoğlu A., 2021, Link Budget Analysis for Reconfigurable Smart Surfaces in Aerial Platforms, 1980-1995.
- Alfattani S., Yadav A., Yanikomeroglu H., Yongaçoğlu A., 2022, Beyond-Cell Communications via HAPS-RIS, IEEE Globecom Workshops Workshop on Cellular UAV and Satellite Communications, 1383-1388.
- Azizi A., Farhang A., 2023, RIS Meets Aerodynamic HAPS: A Multi-Objective Optimization Approach, IEEE Wireless Communications Letters, 1851-1855.
- Basar E., Renzo M., Rosny J., Debbah M., Alouni M., Zhang R., 2019, Wireless Communications Through Reconfigurable Intelligent Surfaces, EESS, 1-20.
- Blumenthal S., Member S., 2013, Medium Earth Orbit Ka Band Satellite Communications System, IEEE Military Communications Conference, 273-277.
- Cengiz M., Çomak E., 2019, A Solution of Some Commonly Used Optimization Functions by a Hybrid BFGS-PSO Algorithm, Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 1304/4915, 926-927.
- Ceylan R., Koyuncu H., 2018, A PSO Based Approach: Scout Particle Swarm Algorithm for Continuous Global Optimization Problems, Journal of Computational Design and Engineering, 129/142, 129-130.
- Deka R., Ahmet I., Alam S., 2022, On the Performance and Optimization of HAPS Assisted Dual-Hop Hybrid RF/FSO System, IEEE Access, 80976-80988.
- Ganhao F., Pereira M., Bernardo L., Rinis R., Souto N., Silva J., Oliveira R., Pinto P., 2010, Energy Per Useful Packet Optimization on a TDMA HAP Channel, 4-6.
- Gu W., 2020, An Improved Multi-Objective Grey Wolf Optimization Algorithm with Dynamic Chaos Local Search Mechanism, 9th Joint International Technology and Artificial Intelligence, IEEE, 2020-2024.
- Hashmi H., Pougkakiotis S., Kalogieras D. S., 2023, Model-Free Learning of Optimal Beamformers For Passive IRS-Assisted Sumrate Maximization, IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing, 15.
- He Y., Wang D., Huang F., Zhang R., Gu X., Pan J., 2022, Downlink and Uplink Sum Rate Maximization for HAP-LAP Cooperated Networks, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 71/9, 9516-9531.

- Hou Y., Gong H., Wang X., Gao W., Liu D., Xiao X., Xu K., 2023, Energy Saving of Base Station System for Power Private Wireless Network Based on D2D Communication, 6th International Conference on Artificial Intelligence and Big Data, 597-602.
- Knogl S., Henkel S., Günther C., 2012, Precise Positioning and Orbit Estimation for Geostationary Data Relays, Institute for Communications and Navigation Technische Universität München, IEEE, 5-12.
- Kubullek M., Wang Z., Brelje K., Zimin D., Rosenberger P., Schötz J., Neuhaus M., Sederberg S., Staudte A., Karpowicz N., Kling M., Bergues B., 2020, Single-Shot Carrier Envelope Phase Measurement in Ambient Air, Physics Optics, 35-39.
- Lee J., Kim T., Kim J., 2023, Performance Analysis of Multiple High Altitude Platform Stations Cellular Network Coverage, 1242-1244.
- Liu Y., Tang S., 2017, An Application of Artificial Bee Colony Optimization to Image Edge Detection, 13th International Conference on Natural Computation, 923-929.
- Lu Y., Zhou H., 2016, Statistical and Computational Guarantees of Lloyd's Algorithm and Its Variants, arXiv: 1612.02099.
- Öztürk M., Çiloğlu B., Koç G., Yanikomeroglu H., 2024, Multi-Tier Non-Terrestrial Networking for Disaster Communications: A Layered Clustering Approach, 32nd IEEE Conference on Signal Processing and Communications Applications, 15-18.
- Prediction of Building Entry Loss, 2019, International Telecommunication Union, Recommendation ITU-R P.2109-2.
- Renzo M., Danufane F., Xi X., Rosny J., Tretyakov S., 2001, Analytical Modeling of the Path Loss for Reconfigurable Intelligent Surfaces Anomalous Mirror or Scatterer, Physics Class Ph, 1-5.
- Rui L., Liu J., Lu M., 2022, Security Authentication Scheme for Low Earth Orbit Satellites Based on Spatial Channel Characteristics, IEEE the 8th International Conference on Computer and Communications, 396-400.
- Safi H., Dargahi A., Cheng J., 2020, Analytical Channel Model and Link Design Optimization for Ground-to-HAP Free-Space Optical Communications, Journal Of Lightwave Technology 38/18, IEEE, 5036-5037.
- Shibata Y., Takabatake W., Hoshino K., Nagate A., Ohtsuki T., 2022, Two-Step Dynamic Cell Optimization Algorithm for HAPS Mobile Communications, IEEE Access, 10, 68085-68098.
- Study on Channel Model for Frequencies from 0.5 to 100 GHz, 2022, 3GPP TR 38.901 V17.0.0, Mar.

- Sudheesh P. G., Mozaffari M., Magairini M., Saad W., Muthuchidambaranathan P., 2018, Sum-Rate Analysis for High Altitude Platform (HAP) Drones With Tethered Balloon Relay, *IEEE Communications Letters*, 22/6, 1240-1243.
- Swari P., Handika S., Satwika S., 2022, Optimization of Single Exponential Smoothing using Particle Swarm Optimization and Modified Particle Swarm Optimization in Sales Forecast, *IEEE 8th Information Technology International Seminar (ITIS)*, 19-21.
- Technical Specification Group Radio Access Network; Study on New Radio (NR) to Support Non-Terrestrial Networks, 2020, 3GPP TR 38.811 V15.4.0, Sep.
- Türk S., Ahrazoğlu E., Erdoğan E., Altunbaş I., 2017, Design of Energy Efficient Multi-Haps Assisted Hybrid RF/FSO Satellite Communication Systems With Optimal Placement, *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, 1-15.
- Waluyo C. B., Astuti Y., 2017, Performance Analysis for MIMO LTE on the High Altitude Platform Station, *4th EECSI*, 1-2.
- Weiqiang W., Quinyu Z., Siyao H., 2011, Optimization of TCP for HAPs Network, *International Conference on Instrumentation Measurement Computer Communication and Control*, 1-4.
- Xu D., Yi X., Chen Z., Li C., Zhang C., Xia B., 2017, Coverage Ratio Optimization for HAP Communications, *IEEE*, 1-4.
- Yu X., Zhang X., Rui Y., Wang K., Dang X., Guizani M., 2024, Joint Resource Allocations for Energy Consumption Optimization in HAPS-Aided MEC-NOMA Systems, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 3632-3646.