

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**AKILLI YANSITICI YÜZEY DESTEKLİ
TELSİZ HABERLEŞME SİSTEMİ VE
İNSANSIZ HAVA ARACI KONUMLANDIRMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emir ASLANDOĞAN

İletişim Sistemleri Anabilim Dalı

Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı

MAYIS 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**AKILLI YANSITICI YÜZEY DESTEKLİ
TELSİZ HABERLEŞME SİSTEMİ VE
İNSANSIZ HAVA ARACI KONUMLANDIRMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Emir ASLANDOĞAN
(705191025)**

İletişim Sistemleri Anabilim Dalı

Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı

Tez Danışmanı: Dr. Mehmet Akif YAZICI

MAYIS 2023

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**RECONFIGURABLE INTELLIGENT SURFACE-ASSISTED
WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM AND
UNMANNED AERIAL VEHICLES POSITIONING**

M.Sc. THESIS

**Emir ASLANDOĞAN
(705191025)**

Department of Communication Systems

Satellite Communication and Remote Sensing Programme

Thesis Advisor: Dr. Mehmet Akif YAZICI

MAY 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 705191025 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Emir ASLANDOĞAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "AKILLI YANSITICI YÜZEY DESTEKLİ TELSİZ HABERLEŞME SİSTEMİ VE İNSANSIZ HAVA ARACI KONUMLANDIRMA" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Mehmet Akif YAZICI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Semiha TEDİK BAŞARAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa NAMDAR
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Teslim Tarihi : **10 Nisan 2023**

Savunma Tarihi : **5 Mayıs 2023**





Sevgili kız arkadaşım Selin'e ve Deniz'in anısına,



ÖNSÖZ

Lisansüstü tez çalışmam boyunca göstermiş olduğu ilgi ve hoşgörü ile her konuda yardımını esirgemeyen değerli tez danışmanım Sayın Dr. Mehmet Akif YAZICI'ya teşekkür ederim.

Tez çalışması süresince desteklerini esirgemeyen Yıldız Teknik Üniversitesi'ndeki değerli hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Her zaman yanımda olarak tez süresince varlığıyla her şeyi kolaylaştıran kız arkadaşım Selin'e ve her türlü koşula rağmen hayatım boyunca maddi ve manevi destekleriyle yanımda bulunan sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimle.

Mayıs 2023

Emir ASLANDOĞAN
(Araştırma Görevlisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	1
1.3 RIS Kullanım Senaryoları	2
1.3.1 Milimetre dalga haberleşme	3
1.3.2 Eşzamanlı bilgi ve güç transferi (SWIPT)	4
1.3.3 Fiziksel katman güvenliği	4
1.3.4 Mobil uç hesaplama	5
1.3.5 Cihaz-cihaz haberleşmesi	5
1.3.6 İHA haberleşmesi	6
1.4 Tezin Katkıları	6
2. AKILLI YANSITICI YÜZEYLER	9
2.1 RIS Yapısı ve Çalışma Prensibi	9
2.2 RIS Türleri	10
2.2.1 Yansıtıcı türü	10
2.2.2 İletici türü	11
2.2.3 Hibrit türü	11
2.3 Kanal Modelleri	11
2.3.1 Geniş ölçekli yol kaybı modeli	12
2.3.2 Diyadik geri saçılma kanal modeli	13
2.3.3 Uzamsal saçıcı kanal modeli	14
2.4 Nakagami-m Sönümlenme ve Ters Gamma Gölgeleme Etkisi Altında RIS Destekli Telsiz Haberleşme Sistemi Performans Analizi	14
2.4.1 Giriş	14
2.4.2 Telsiz haberleşmede sönümlenme etkisi	15
2.4.2.1 Rayleigh sönümlenme	16
2.4.2.2 Rician sönümlenme	16
2.4.2.3 Nakagami sönümlenme	17
2.4.3 Telsiz haberleşmede gölgeleme etkisi	18
2.4.3.1 Lognormal dağılım	18
2.4.3.2 Gamma dağılımı	18
2.4.3.3 Ters Gamma dağılımı	18
2.4.4 İki kullanıcılı RIS destekli telsiz haberleşme sistemi	18
2.4.5 İki kullanıcılı RIS destekli sisteme ait performans analizi	21
2.4.5.1 Yansıtıcı eleman sayısının kesinti olasılığına etkisi	22
2.4.5.2 Sönümlenme ve gölgeleme etkisinin kesinti olasılığına etkisi	22
2.4.5.3 Sonuçlar	24
3. RIS DESTEKLİ İHA KONUMLANDIRMA	25
3.1 Giriş	25
3.2 Sistem Modeli	26
3.3 Optimizasyon Problemi ve Kısıtlar	31
3.4 DDQN Algoritması	32

3.4.1	Durum, aksiyon ve ödül parametrelerinin belirlenmesi	32
3.4.2	Problem çözümü	34
3.4.3	Faz kaymaları	35
3.5	Kullanıcıların Konum Bilgisinin Değiştirilmesi	36
3.6	Performans Sonuçları	38
3.6.1	Referans çalışma ve tez çalışmasına ait hareket enerjisi performansı karşılaştırması	46
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	49
	KAYNAKLAR	51
	ÖZGEÇMİŞ	57



KISALTMALAR

RIS	: Reconfigurable Intelligent Surface
İHA	: İnsansız Hava Aracı
DDQN	: Double Deep Q-Network
MIMO	: Multiple Input Multiple Output
SWIPT	: Simultaneous Wireless Information and Power Transfer
PLS	: Physical Layer Security
MEC	: Mobile Edge Computing
D2D	: Device-to-Device
SNR	: Signal-to-Noise Ratio
AWGN	: Additive White Gaussian Noise
DRL	: Deep Reinforcement Learning
DNN	: Deep Neural Network



SEMBOLLER

ε	: Elektriksel geirgenlik
μ	: Manyetik geirgenlik
θ	: Faz kayması
Γ	: RIS elemanı genlik cevabı
β	: G oranı
α	: Yol kaybı arpanı
η	: RIS elemanı cevabı
f_c	: İşaret frekansı
κ	: Sabit genlik katsayısı
γ	: SNR
m	: Nakagami-m biçim parametresi



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : -2.5 dB verici SNR değeri için yansıtıcı eleman sayısına bağlı kesinti olasılığı değerleri.	23
Çizelge 2.2 : 2.5 dB verici SNR değeri için biçim parametrelerine bağlı kesinti olasılığı değerleri.	24
Çizelge 3.1 : Simülasyonparametreleri.	39
Çizelge 3.2 : Sabit ve hareketli kullanıcılar için RIS+P, RIS-P, NO-RIS hareket enerjisi ve enerji verimliliği değerleri.....	41
Çizelge 3.3 : Sabit ve hareketli kullanıcılar için RIS+P, RIS-P, NO-RIS ortalama veri hızı ve throughput değerleri.	46
Çizelge 3.4 : Referans çalışma ve tez çalışması hareket enerjisi (kJ) karşılaştırması.	47



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : RIS kullanım senaryoları.	3
Şekil 2.1 : RIS yapısı.	10
Şekil 2.2 : RIS türleri: (a) yansıtıcı türü, (b) iletici türü, (c) hibrit türü.	12
Şekil 2.3 : Geniş ölçekli yol kaybı modeli (a) elektriksel küçük eleman (b) elektriksel büyük eleman.	13
Şekil 2.4 : RIS destekli telsiz haberleşme sistemi.	19
Şekil 2.5 : Farklı yansıtıcı eleman sayısına bağlı kesinti olasılığı.	22
Şekil 2.6 : Farklı sönmüleme ve gölgeleme biçim parametrelerine bağlı kesinti olasılığı.	23
Şekil 3.1 : RIS destekli İHA haberleşme sistemi.	28
Şekil 3.2 : DDQN algoritması diyagramı.	34
Şekil 3.3 : Sabit kullanıcılar için 3-boyutlu İHA güzergahı.	39
Şekil 3.4 : Sabit kullanıcılar için 2-boyutlu İHA güzergahı.	40
Şekil 3.5 : Hareketli kullanıcılar için 3-boyutlu İHA güzergahı.	41
Şekil 3.6 : Hareketli kullanıcılar için 2-boyutlu İHA güzergahı.	42
Şekil 3.7 : Sabit kullanıcılar için hareket enerjisi performansı.	42
Şekil 3.8 : Hareketli kullanıcılar için hareket enerjisi performansı.	43
Şekil 3.9 : Sabit kullanıcılar için enerji verimliliği performansı.	43
Şekil 3.10 : Hareketli kullanıcılar için enerji verimliliği performansı.	44
Şekil 3.11 : Sabit kullanıcılar için veri hızı performansı.	44
Şekil 3.12 : Hareketli kullanıcılar için veri hızı performansı.	45
Şekil 3.13 : Sabit kullanıcılar için throughput performansı.	45
Şekil 3.14 : Hareketli kullanıcılar için throughput performansı.	46



AKILLI YANSITICI YÜZEY DESTEKLİ TELSİZ HABERLEŞME SİSTEMİ VE İNSANSIZ HAVA ARACI KONUMLANDIRMA

ÖZET

Akıllı yansıtıcı yüzeyler (Reconfigurable Intelligent Surface, RIS) telsiz haberleşme sistemlerindeki kullanım olasılığı ve bunu destekleyen bir çok çalışma bu teknolojinin hem endüstriyel hem de akademik anlamda dikkat çekmesini sağlamıştır. Olağan haberleşme sistemlerinin propagasyon ortamı üzerindeki kabiliyeti oldukça sınırlıydı. Meta malzemelerin geliştirilmesi ve buna bağlı olarak RIS'ler üzerine yapılan çalışmalar propagasyon ortamı üzerindeki kabiliyetimizi artırdı. Bu sebeple telsiz haberleşme sistemlerindeki kanallara ait beklenmeyen bozucu etkilerin ve uygulamalarda karşılaşılan sınırlamaların RIS teknolojisi ile birlikte oldukça azalacağı öngörülmektedir.

RIS'ler düşük maliyetli küçük devre elemanlarından oluşmaktadır. Bu sebeple üretim maliyeti açısından günümüz teknolojilerine yükü çok fazla olmayacaktır. Ayrıca bina ve araç yüzeylerine kolaylıkla entegre edilebilir yapıdadır. Bu, RIS teknolojisinin kolaylıkla ve düşük maliyetle kurulumunun yapılacağını göstermektedir.

Tezin amacı RIS'in İHA konumlandırma ve güzergah oluşturma sistemlerinde, sabit ve hareketli kullanıcıların bulunduğu telsiz haberleşme sistemi için optimizasyon algoritması kullanarak enerji performansı iyileşmesi sağladığını göstermektir. Bu kapsamda RIS'in İHA'ya entegre edildiği iki kullanıcıli telsiz haberleşme sistemi üzerinden RIS'in performans analizi gerçekleştirilmiştir. Tezin ikinci bölümünde ise sabit kullanıcıların bulunduğu İHA güzergah belirleme çalışmasından yararlanarak, hareketli kullanıcılar için İHA konumlandırma ve güzergah oluşturma sistemi oluşturulmuştur. Bu kapsamda iki sisteme ait performans analizleri optimizasyon algoritması üzerinden gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak bu tezde RIS'lerin olası kullanım senaryoları üzerine bilgi verildi. Milimetre dalga haberleşme, eş zamanlı bilgi ve güç transferi, fiziksel katman güvenliği, mobil uç hesaplama, cihaz-cihaz haberleşmesi ve insansız hava aracı haberleşmesi alanında yapılan çalışmalardan bahsedildi.

Sonraki kısımda RIS yapısı ve çalışma prensibi incelendi. Üç farklı RIS türü hakkında bilgi verildi. Ayrıca RIS kanal modellerinden bahsedildi. Oluşturulan RIS destekli telsiz haberleşme sistemi sönümlenme ve gölgeleme etkisinde olduğundan belli başlı sönümlenme ve gölgeleme modellerine de değinildi.

Bu tezin diğer kısmında RIS üzerine performans analizi gerçekleştirilmiştir. Görüş hattı iletiminin olmadığı ve ortamdaki bozucu etkilerin var olduğu ortam göz önünde bulundurulmuştur. Bu sebeple görüş hattı iletiminin olmadığı senaryo için sönümlenme ve gölgeleme etkisi varlığında sistem modeli oluşturulup kesinti olasılığı üzerinden

sistem performansı incelenmiştir. Oluşturulan sistemde RIS'in İHA'ya entegre edildiği düşünüldü. Öncelikle iki kullanıcı sistem için RIS üzerinde bulunan yansıtıcı eleman sayısına bağlı olarak kesinti olasılığının değişimi gözlemlenmiştir. Bu işlem gerçekleştirilirken Nakagami-m sönümlenme ve ters Gamma gölgeleme etkisi altında sonuçlar elde edilmiştir. Yansıtıcı eleman sayısının kesinti olasılığına etkisini doğru gözlemlemek için sönümlenme ve gölgeleme parametreleri bu inceleme esnasında sabit tutulmuştur. Elde edilen sonuçlarda yansıtıcı eleman sayısı artışının transfer için gereken verici gücünü ciddi miktarda düşürdüğü gözlemlenmiştir. Örneğin -2.5 dB verici SNR değeri için $N = 8$ yansıtıcı eleman sayısında kesinti olasılığı değeri 3.7×10^{-1} olarak hesaplanırken $N = 16$ yansıtıcı eleman sayısında kesinti olasılığı değeri 1.6×10^{-3} olarak hesaplanmıştır.

Oluşturulan sistem modelinde bir diğer gerçekleştirilen inceleme gölgeleme ve sönümlenme etkisinin şiddetidir. Bu inceleme yapılırken yansıtıcı eleman sayısı ve RIS ve kullanıcılara ait mesafeler sabit tutulmuştur. Nakagami-m sönümlenme ve ters Gamma gölgeleme etkisinin incelenmesi için bu modellere ait biçim parametreleri değiştirilmiştir. $m = 1, 1.5, 2$ ve $\alpha = 2, 2.5, 3$ değerleri için kesinti olasılığı hesaplanmıştır. Sönümlenme ve gölgeleme etkisinin kanal performansını düşürdüğü ve kesinti olasılığı üzerinde artırıcı etki yaptığı görülmüştür. Kötü kanal koşullarında belirli kesinti olasılığı değeri altında kalmak için daha fazla verici gücü harcanacağı gözlemlenmiştir. RIS üzerine yapılan bu çalışma ile telsiz haberleşme sistemlerinde RIS'in sistem performansını artıracığı gözlemlenmiştir.

Bu bulgular doğrultusunda, RIS teknolojisinin İHA konumlandırma ve güzergah planlama uygulamalarında kullanılabilirliği vurgulanmıştır. Sabit ve hareketli kullanıcılar için, RIS'li ve RIS'siz telsiz haberleşme sistemleri üzerinde ayrı ayrı İHA güzergah optimizasyonu üzerine çalışılmıştır. Ayrıca, RIS varlığında faz optimizasyonu sağlandığında performans analizi yapılmıştır.

İlk aşamada, sabit ve hareketli kullanıcılar için RIS+P, RIS-P ve NO-RIS senaryoları için 3-boyutlu güzergahlar oluşturulmuştur. Bu güzergahlar, sistem enerji performansını doğrudan etkilemektedir. Hareketli kullanıcıların bulunduğu senaryoda, sistem performansında düşüş gözlemlenmiştir. Ancak RIS+P ve RIS-P senaryolarının, NO-RIS senaryosuna göre enerji performansını önemli ölçüde artırdığı ve enerji verimliliğini sağladığı görülmüştür. Sonuç olarak, bu bulgular, RIS teknolojisinin kullanılmasının, İHA uygulamalarındaki enerji performansını geliştirme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Benzer şekilde, sabit ve hareketli kullanıcılar için ayrı ayrı sistemin ortalama veri hızı ve throughput performansları incelenmiştir. RIS'in kullanıldığı senaryolarda performans iyileşmesi gözlemlenmiştir.

Bu tezde, telsiz haberleşme sistemlerinde kullanılmak üzere geliştirilen İHA ve RIS teknolojilerinin etkinliği incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, RIS destekli İHA konumlandırma uygulamalarının hem sabit hem de hareketli kullanıcılar için enerji performansı açısından avantajlı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, gelecekte İHA konumlandırma ve güzergah oluşturma uygulamalarında RIS'in kullanılacağı öngörülmektedir.

RECONFIGURABLE INTELLIGENT SURFACE-ASSISTED WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM AND UNMANNED AERIAL VEHICLES POSITIONING

SUMMARY

The potential use of Reconfigurable Intelligent Surfaces (RIS) in wireless communication systems, and numerous studies supporting this technology, have drawn significant attention in both industrial and academic fields. The propagation capability of conventional communication systems was limited by the propagation environment. The development of metamaterials and related studies on RIS have increased our propagation capability. Therefore, it is predicted that the unwanted disruptive effects on communication system channels and limitations encountered in applications will significantly decrease with the use of RIS technology in wireless communication systems.

RISs consist of low-cost small circuit elements. Therefore, in terms of production cost, it will not burden current technologies significantly. Moreover, they can be easily integrated into building and vehicle surfaces. This demonstrates the ease and low cost of installing RIS technology.

The objective of this thesis is to demonstrate the enhancement of energy performance in the wireless communication system, which includes stationary and mobile users, for the positioning and trajectory design of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) through the utilization of optimization algorithm. In this regard, the performance analysis of the RIS is conducted through two wireless communication systems with two users, where the RIS is integrated into the UAV. The second section of the thesis involves the creation of a UAV positioning and trajectory for mobile users, utilizing the UAV trajectory determination process for stationary users. The performance analyses of the two systems are conducted using optimization algorithm.

First, this thesis provides information on potential use cases for RIS. It discusses studies conducted in the areas of millimeter-wave communication, simultaneous information and power transfer, physical layer security, mobile edge computing, device-to-device communication, and unmanned aerial vehicle communication.

In the next section, the structure and operating principle of RIS were examined. Information was provided about three different types of RIS. Additionally, RIS channel models were discussed. Since the RIS-supported wireless communication system is subject to fading and shadowing effects, some major fading and shadowing models were also addressed.

In the next part of this thesis, performance analysis was carried out on RIS. The scenario where line-of-sight transmission is not available and there are environmental impairments was taken into consideration. Therefore, a system model was created with the presence of fading and shadowing effects for the scenario where line-of-sight

transmission is not available, and the system performance was examined through the outage probability. In the system created, RIS was assumed to be integrated into an unmanned aerial vehicle (UAV). Firstly, the change in outage probability was observed depending on the number of reflective elements on RIS for the two-user system. Results were obtained under Nakagami- m fading and inverse Gamma shadowing effects. During this examination, fading and shadowing parameters were kept constant to observe the effect of the number of reflective elements on outage probability accurately. It was observed that an increase in the number of reflective elements significantly reduces the required transmitter power for transmission. For example, for a transmitter SNR value of -2.5 dB, the outage probability value was calculated as 3.7×10^{-1} for $N = 8$ reflective elements and 1.6×10^{-3} for $N = 16$ reflective elements.

In the other part of this thesis, performance analysis was conducted on RIS. The scenario where line-of-sight transmission is not available and there are disruptive effects in the environment was considered. Therefore, a system model was created with the presence of attenuation and shadowing effects to examine system performance based on outage probability. In the created system, it was assumed that RIS was integrated into an unmanned aerial vehicle (UAV). Firstly, the change in outage probability depending on the number of reflective elements on RIS was observed for a two-user system. Results were obtained under Nakagami- m fading and inverse Gamma shadowing effects. The attenuation and shadowing parameters were kept constant during this examination to accurately observe the impact of the number of reflective elements on outage probability. It was observed that an increase in the number of reflective elements significantly reduced the required transmitter power for transmission. For example, for a transmitter SNR value of -2.5 dB, the outage probability value was calculated as 3.7×10^{-1} for $N = 8$ reflective elements, while it was calculated as 1.6×10^{-3} for $N = 16$ reflective elements.

In the system model created, another examination was conducted on the intensity of shadowing and fading effects. The number of reflective elements and the distances between RIS and users were kept constant during this examination. The shape parameters of these models were changed to investigate the Nakagami- m fading and inverse Gamma shadowing effects for $m = 1, 1.5, 2$, and $\alpha = 2, 2.5, 3$ values. The outage probability was calculated for these values. It was observed that the fading and shadowing effects reduce the channel performance and increase the outage probability. It was also observed that in poor channel conditions, more transmitter power would be required to remain below a certain outage probability value. With this study on RIS, it was observed that RIS can improve the system performance in wireless communication systems.

In light of these findings, the usability of the RIS technology in UAV positioning and trajectory determination applications is emphasized. For stationary and mobile users, separate investigations were conducted on UAV trajectory optimization in wireless communication systems with and without the RIS. Additionally, performance analyses were conducted when phase optimization was achieved in the presence of the RIS.

In the first part, 3D trajectories were generated for RIS+P, RIS-P, and NO-RIS scenarios for both stationary and mobile users. These trajectories directly affect the energy performance of the system. In the scenario with mobile users, a decrease in

system performance was observed. However, it was observed that RIS+P and RIS-P scenarios significantly increased energy performance and provided energy efficiency compared to the NO-RIS scenario. As a result, these findings demonstrate the potential of using RIS technology to improve energy performance in UAV positioning and trajectory generation applications.

Similarly, average data rate and throughput performance of the system have been analyzed separately for stationary and mobile users. Performance improvement has been observed in scenarios where RIS is used.

This thesis examines the effectiveness of UAV and RIS technologies developed for use in wireless communication systems. The results indicate that RIS-assisted UAV positioning applications are advantageous in terms of energy performance for both stationary and mobile users. Therefore, it is anticipated that RIS will be used in future UAV positioning and trajectory designing applications.





1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı

Tezin ana amacı RIS destekli İHA konumlandırma sisteminin hareketli kullanıcıların bulunduğu senaryoda sistem performansını iyileştirdiğini göstermektir. Bu amaçla, sabit kullanıcıların bulunduğu İHA güzergah oluşturma çalışmasından faydalanılarak, hareketli kullanıcılar için kanal parametreleri elde edildi. Performans sonuçları RIS destekli İHA konumlandırma sisteminin hem sabit hem de tezin amacı olan hareketli kullanıcılar için performans iyileşmesi sağladığını gösterdi. RIS destekli İHA konumlandırma sisteminin İHA'ya ait hareket enerjisini azaltarak enerji verimliliği sağladığı gösterildi. Benzer şekilde sistemin hareketli kullanıcılar varlığında ortalama veri hızı ve throughput performansında iyileşme görüldü.

1.2 Literatür Araştırması

5G telsiz ağlarının dünya genelinde yaygın bir biçimde kurulumu gerçekleştirilmektedir. Ancak bu durum beraberinde uygulanabilirlik açısından bazı sorunlar getirmektedir. Özellikle 5G baz istasyonları MIMO antenlerinden oluşmaktadır ve ciddi maliyet ve enerji tüketimi oluşturmaktadır. Örneğin, Çin'de bu nedenlerden dolayı telekomünikasyon operatörleri bu baz istasyonlarından bir kısmını kapatacağını açıklamıştır [1]. Ayrıca mobil haberleşmede daha fazla kullanıcıya hizmet sağlamak için hücre boyutu küçültülebilir. Bu da daha fazla aktif baz istasyonu ve erişim noktası gerekliliği doğurmaktadır ve girişim problemi oluşturmaktadır [2]. Bu sebeplerle endüstri düşük bütçeli teknolojiler geliştirilmesi için çözüm arayışına girmiştir ve RIS teknolojisi bu sorunların çözümü için önerilmektedir [3,4]. RIS'ler 5G ve sonrası potansiyel taşıyan teknolojilerden biridir. Düşük bütçeli, neredeyse pasif ve propagasyon ortamının yeniden ayarlanabilmesini sağlayan bu cihazlar hem kapsama alanını artırmaktadır hem de daha düşük verici gücüyle işaretin iletilmesine yardım

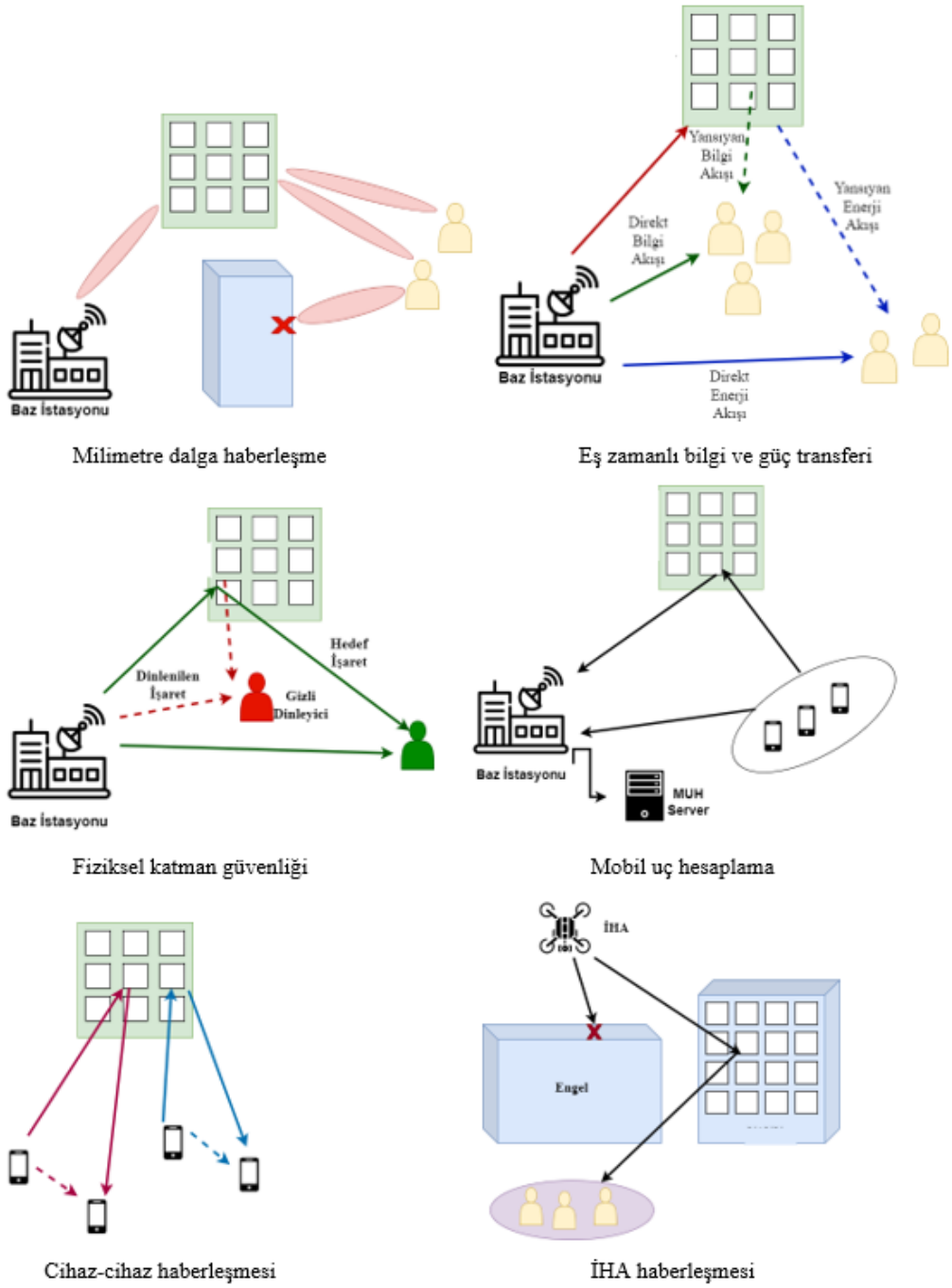
etmektedir. Kurulumu oldukça basittir ve binaların ya da araçların üzerine yerleşimi yapılabilir. RIS, üzerinde çok sayıda düşük bütçeli neredeyse pasif elemanlar taşıyan ve düzlemsel yüzeyli bir yapıdır ve gelen işaretin faz ve genlik bilgisi üzerinde değişiklik yapabilmektedir [5]–[7]. Bu işlem genellikle akıllı bir kontrolör yardımıyla gerçekleştirilir. Kontrolör baz istasyonu ve kullanıcılar arasında ayrı bir telsiz bağlantıyla veri iletiminin koordinasyonunu sağlar. RIS, aktif RF zinciri yapısı yerine küçük yansıtıcı elemanlar içermektedir. Bu nedenle 5G teknolojilerinin içerdiği aktif anten dizileri kadar enerji gerektirmez. Bu gürültü güçlenmesinin ve kendi içinde oluşacak girişimin önüne geçmektedir. Ayrıca yarı dubleks (half duplex) aktif rölelere göre RIS’leri daha cazip kılmaktadır. Röleler düşük spektral verimliliğe sahiptir ve kendi içindeki girişimi önlemek için ayrıca teknikler gerektirmektedir.

1.3 RIS Kullanım Senaryoları

RIS’ler birçok yeni nesil haberleşme sistemine entegre edilebilir yapıdadır. RIS kullanım senaryoları genel olarak beş başlık altında incelenebilir.

- Milimetre dalga haberleşme
- Eş zamanlı bilgi ve güç transferi
- Fiziksel katman güvenliği
- Mobil uç hesaplama
- Cihaz-cihaz haberleşmesi
- İHA haberleşmesi

Şekil 1.1’de RIS kullanım senaryolarına ilişkin illüstrasyon görülmektedir.



Şekil 1.1 : RIS kullanım senaryoları.

1.3.1 Milimetre dalga haberleşme

Milimetre dalgalar GHz seviyesinde bant genişliği sağlayarak Gbps veri iletim hızına çıkılmasına olanak verir. Dünya genelinde 7 GHz'lik (57-64 GHz) milimetre dalga frekans bant aralığı kullanıma açık bant aralığıdır [8]. Milimetre dalga ortamları

genellikle kapalı alan uygulamalarında görülür. Çünkü yüksek frekans seviyesi boşlukta yol kaybının çok yüksek değerlerde olmasına neden olur [9]. Bu ortamlara ait kanallar, seyrek dağılmış ve görüş hattının bulunduğu ortamlardır [10]. Görüş hattının olmadığı durumlarda milimetre dalga haberleşme son derece zordur. RIS'ler yansıtıcı yol oluşturarak görüş hattının olmadığı durumlarda bu zorluğun üstesinden gelebilmektedir. Milimetre dalga haberleşmesinde kapasitenin artırılması için RIS çözümlerden biri olmuştur [11]. Milimetre dalga ve RIS üzerine sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Örneğin [12]'de SISO sistem için blokaj problemi üzerine çalışılmış optimizasyon için RIS kullanılmıştır. Ancak bu çalışma alıcı ve vericide yalnız bir anten olduğu durum için yapılmıştır ve vericide herhangi bir faz ön kodlama işlemi gerçekleştirilmemiştir. [13]'da yapılan çalışmada MIMO konum belirleme sistemleri için RIS kullanılmış ve temel limitleri incelenmiştir. [14]'de gerçekleştirilen çalışmada ise MISO iletim milimetre dalga haberleşme ve RIS varlığında incelenmiş ve optimal ön kodlama vektörü elde edilmiştir.

1.3.2 Eşzamanlı bilgi ve güç transferi (SWIPT)

Son yıllarda telsiz haberleşme sistemlerinin gelişmesiyle ve kullanıcı sayısının hızlı artışı sebebiyle servis kalitesi ihtiyacı ciddi bir biçimde artmıştır. Bu, spektrum kaynaklarının eksikliğine sebebiyet vermektedir [15]. Ayrıca ağ altyapısının, iletim hatlarının ve baz istasyonlarının genişletilmesi ve geliştirilmesi ek güç tüketimi oluşturur. Ağdaki cihazların uzun süreli çalışması ve enerji tasarrufunun sağlanması için SWIPT iletim teknolojisi geliştirilmiştir [16]–[19]. SWIPT teknolojisinde alınan işaret enerji hasatlama ve bilgi kodlama için kullanılabilir [20]. SWIPT sistemi kanal zayıflaması ve telsiz haberleşme ortamdaki girişim işaretlerinden oldukça etkilenir. Alıcı ve verici arasındaki engeller de alıcı ve verici arasındaki bağlantıyı zayıflatmaktadır. Ayrıca belirtilen bu etkiler alınan enerji ve bilginin verimliliğini düşürmektedir. Bu sebeple RIS bu durumların üstesinden gelmek için önerilmektedir.

1.3.3 Fiziksel katman güvenliği

Son yıllarda fiziksel katman güvenliği (Physical Layer Security, PLS) telsiz haberleşme gizlilik performansının artırılması için üzerine çalışılan konulardan

biridir. İşbirlikçi ve uzamsal çeşitlilik teknikleri bunlardan bazılarıdır. RIS, PLS çalışmalarında ilgi çeken konulardan biridir ve genellikle RIS varlığında sistemin gizlilik performansı incelenmiştir [21]–[24]. Çalışmalar RIS destekli sistemlerde gizli dinleme yapan kullanıcı varlığında gerçekleştirilir. RIS, kaynak ve hedef kullanıcı arasına yerleştirilir ve bağlantı güvenliğini sağlaması beklenir. Analitik sonuçlar RIS'in gizlilik kesinti olasılığını artırdığını göstermektedir [25].

1.3.4 Mobil uç hesaplama

Yeni nesil haberleşme sistemlerinde mobil verinin büyük bir kısmını cep telefonları, bilgisayarlar ve sensörler gibi uç cihazlar oluşturmaktadır. Özellikle sensörler sınırlı hesaplama özelliğine sahiptir. Bu durumun üstesinden gelmek adına mobil uç hesaplama (Mobil Edge Computing, MEC) önemli bir teknolojidir. MEC, etkin olarak hesaplama özelliği kazandırır, maliyeti düşürür ve esneklik sağlar [26]. MEC'te kablosuz cihazlar pil gücünden ve hesaplama kaynaklarından tasarruf etmek için hesaplama yükü ağır ve gecikmeye duyarlı görevlerini yakınındaki baz istasyonlarına ya da radyo erişim ağlarının uç noktasındaki sunuculara boşaltır [27]. RIS, pasif yansıtıcı olarak çalışabilir ve herhangi bir RF modülüne ihtiyaç duymaz. RIS, kanal durumunu değiştirerek MEC servisleri için spektral uzamsal verimliliği artırır [28]. [29]'da yapılan çalışmada RIS tabanlı MEC sistemi incelenmiştir ve kullanıcılar belli görevleri RIS yardımıyla boşaltmıştır. Bunun sistem gecikmesini RIS olmayan sisteme göre ciddi bir oranda azalttığı gösterilmiştir. Bir diğer çalışmada ise telsiz enerji aktarımı ve veri boşaltması için RIS'den yardım alınmıştır [30].

1.3.5 Cihaz-cihaz haberleşmesi

Cihaz sayısının hızla artması ve sonucunda doğan yüksek ağ trafiğine çözümlerden biri cihaz-cihaz (Device-to-Device, D2D) haberleşmesi olarak gösterilmektedir [31]. Yeni nesil haberleşme sistemleri için D2D haberleşmesi enerji ve spektrum verimliliği yüksek bir çözüm olarak öne çıkar. Kısa mesafede haberleşme sebebiyle cihaz-cihaz haberleşmesi harcanan enerji düşürmekte ve servis kalitesinde iyileşme sağlamaktadır [32,33]. D2D bağlantıları hücrel bağlantılarla aynı spektrum kaynaklarını paylaşmaktadır. Bu da hücrel bağlantılar için girişime sebebiyet vermektedir

[34]. RIS, D2D bağlantılar sebebiyle oluşan girişimi ayarlanabilir faz kaymaları ile düşürmektedir ve veri hızını artırmaktadır [35]. RIS, direkt işaretin yanında aynı işaretin bilgisini taşıyan yansıyan bir yol daha oluşturur. Bu çeşitleme kazancı üzerinde artırıcı etki yapar ancak yansıyan işaret kullanıcılar arasında girişime sebep olabilir. Bu sebeple RIS'e ait faz kaymasının iyi tasarlanması ve güç optimizasyonun sağlanması gerekmektedir [35].

1.3.6 İHA haberleşmesi

İHA haberleşmesinin günümüz telsiz haberleşmesinde önemli bir yeri vardır. İHA'lar küçük boyutu, esnek hareket kabiliyeti sebebiyle özellikle haberleşmenin sektöre uğradığı alanlarda tercih edilmektedir. Baz istasyonlarına erişimin olmadığı durumlarda ise İHA'lar ad-hoc ağların kurulumu için kullanılabilir [36]. [37]'de yapılan çalışmada İHA destekli röle sistem için enerji hasatlama incelenmiş ve kesinti olasılığı çeşitli çevresel parametrelere göre elde edilmiştir. İHA'lar ayrıca fiziksel katman güvenliği teknolojisinde de kullanılmaktadır. Örneğin [38]'de gizli dinleyici varlığında havadan havaya haberleşme sistemi üzerine çalışma yapılmıştır ve ortalama gizlilik kapasitesini artırıcı etki göstermiştir. Bir diğer çalışmada ise Rician sönümlenme kanallı İHA haberleşme sistemi Poisson dağılımlı gizli dinleyici varlığında incelenmiştir [39].

1.4 Tezin Katkıları

Tezin birincil amacı hareketli kullanıcılar varlığında İHA'nın güzergah optimizasyonunun sağlanarak konumlandırılması ve performans iyileşmesi sağlanmasıydı. Bu kapsamda aşağıda belirtilen çıktılar elde edildi.

- I. Sabit kullanıcıların bulunduğu sistemden yola çıkılarak hareketli kullanıcılar için kanal parametreleri elde edildi.
- II. Hem sabit hem de hareketli kullanıcılar bulunduğu sistem için 3-boyutlu İHA güzergahı, güzergah optimizasyonu sağlanarak oluşturuldu.

III. Hem sabit hem de hareketli kullanıcıların bulunduğu sistem için RIS'e ait faz kaymalarının optimizasyonu sağlandı.

IV. Güzergah ve faz optimizasyonu için DDQN algoritmasından faydalanıldı.

V. Sabit ve hareketli kullanıcıların bulunduğu sistem için performans aşağıdaki parametreler yardımıyla gözlemlendi:

- a. Hareket enerjisi
- b. Enerji verimliliği
- c. Ortalama veri hızı
- d. Throughput



2. AKILLI YANSITICI YÜZEYLER

2.1 RIS Yapısı ve Çalışma Prensibi

Propagasyon ortamının kontrol edilebilmesi açısından RIS üç katmanın birleşiminden meydana gelmektedir.

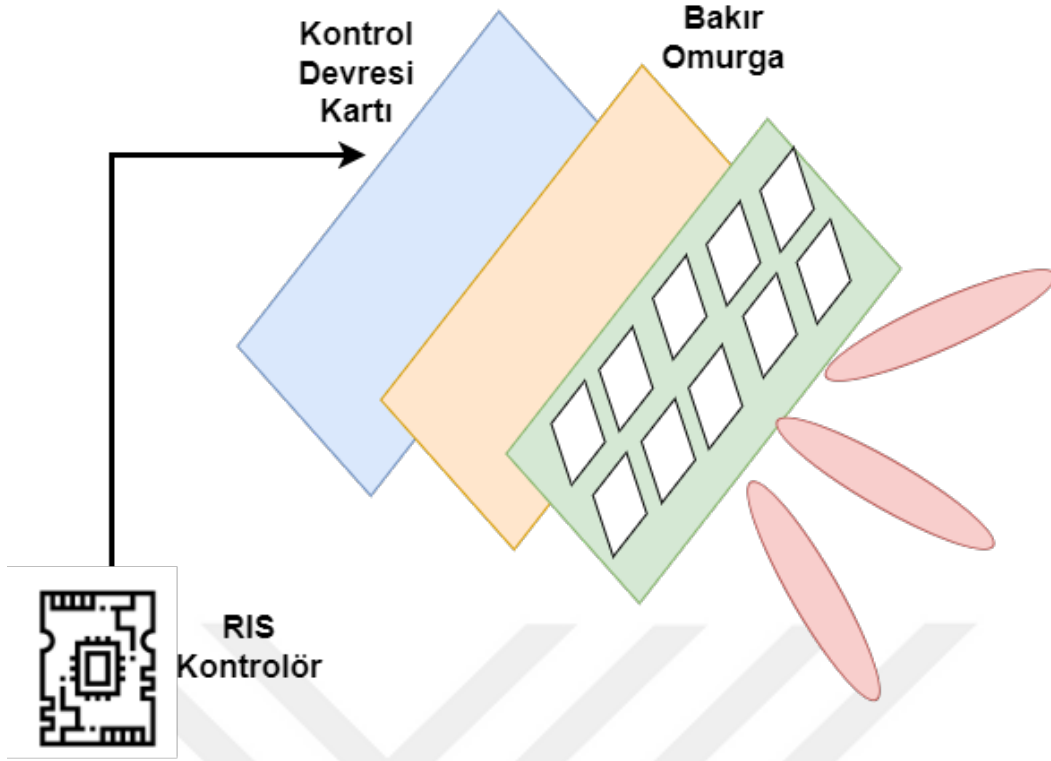
Dış Katman: Bu katmanda yansıtıcı elemanlardan oluşan 2-boyutlu dizi elemanları bulunmaktadır. Küçük yansıtıcı bileşenler direkt olarak gelen işaretle etkileşim kurmaktadır.

Orta Katman: Bu katmanda bakır bir levhadan oluşmaktadır. Bu levha gelen işareti koruyarak enerji sızıntısını önlemektedir.

İç Katman: Bu katmanda kontrol devresi kartı bulunmaktadır ve RIS kontrolörü ile doğrudan bağlantı halindedir. Faz kaydırma kontrolü bu katmanda gerçekleşir. RIS elemanına işaret çarptığı anda elektromanyetik alan tarafından akım indüklenmiş olur. Bu indüklenmiş akım RIS elemanının ϵ [F/m] elektriksel geçirgenliği ve μ [H/m] manyetik geçirgenliğine bağlı olarak başka bir manyetik alan oluşturmaktadır. Bu da RIS'in propagasyon ortamını nasıl kontrol ettiğini göstermektedir. Her bir RIS elemanına entegre biçimde pin diyotlar bulunmaktadır. Pin diyotların açık ve kapalı durumları için yansıtıcı elemanın ϵ ve μ değerleri değişkenlik göstermektedir. Bu parametrelerde meydana gelen değişim gelen işaretin genliğinde ve fazında değişikliğe yol açar. K adet pin diyot kullanılması durumunda N adet muhtemel faz kayması oluşmaktadır. K ile N arasında $N < 2^K$ ilişkisi bulunmak üzere olası faz kaymaları 2.1'deki gibi ifade edilebilir. n değeri $1 < n < N - 1$ değerlerini almaktadır.

$$F = (0, \dots, 2n\pi/n, \dots, 2(N-1)\pi/N) \quad (2.1)$$

Şekil 2.1'de RIS yapısı ve ona ait katmanlar görülmektedir.



Şekil 2.1 : RIS yapısı.

2.2 RIS Türleri

RIS'ler temel olarak üç ana türe ayrılmaktadır. Bunlar yansıtıcı (reflective/reflecting), iletici (transmissive) ve hibrittir [40]. RIS'e ait faz kayması θ olmak üzere kontrolörde varaktör kullanılması durumunda sürekli, pin diyot kullanılması durumunda sonlu değerler almaktadır.

2.2.1 Yansıtıcı türü

Bu tür RIS gelen işaretle aynı tarafta olan kullanıcılara işareti yansıtır. Genellikle baz istasyonu ve kullanıcıların aynı tarafta olduğu sistemlerde görülür. Şekil 2.2(a)'da yansıtıcı türü RIS görülmektedir. x gelen işareti y ise RIS elemanından yansıyan işareti belirtmiş olsun. Bu durumda y işareti aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$y = \Gamma e^{-j\theta} x \quad (2.2)$$

Γ , RIS elemanının genlik cevabını belirtmektedir ve $\Gamma \in [0, 1]$ değerlerini almak üzere, $\Gamma = 1$ gelen işaretin tamamen yansıdığı $\Gamma = 0$ gelen işaretin tamamen soğrulduğunu göstermektedir.

2.2.2 İletici türü

Bu tür RIS gelen işaretle farklı tarafta olan kullanıcılara işareti aktarır. Genellikle baz istasyonu ve kullanıcıların farklı tarafta olduğu sistemlerde görülür. Şekil 2.2(b)'de iletici türü RIS görülmektedir. y işareti yine 2.2'deki ifade ile bulunmaktadır. Ancak $\Gamma = 1$ olması durumunda gelen işaretin tamamen RIS'ten geçtiği görülür.

2.2.3 Hibrit türü

Bu tür RIS'te kullanıcılar gelen işaretle aynı ve farklı yönde olabilir. Şekil 2.2(c)'de hibrit türü RIS görülmektedir. Bu durumda y işareti yansıtıcı ve iletici bileşenlere bağlı olarak ayrı ayrı yazılabilir [41]. Bu bileşenlere ait enerji ayırımını yapabilmek için β metriği kullanılmaktadır [42]. $\beta \in [0, +\infty)$ olmak üzere yansıtıcı bileşene ve iletici bileşene ait güç oranını belirtmektedir. Γ_{yan} ve Γ_{ile} sırasıyla yansıtıcı ve iletici bileşenler için RIS genlik cevabı olmak üzere, y_{yan} ve y_{ile} işaretleri sırasıyla 2.3 ve 2.4'teki gibi ifade edilebilir. θ_{yan} ve θ_{ile} yansıma ve iletim durumu için faz kaymasını belirtmektedir.

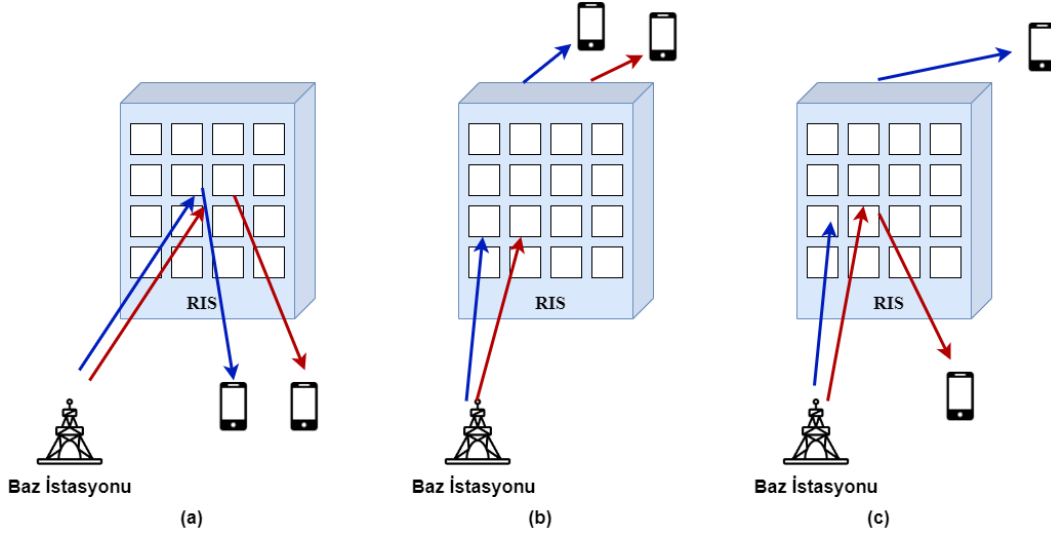
$$y_{yan} = \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} \Gamma_{yan} e^{-j\theta_{yan} x} \quad (2.3)$$

$$y_{ile} = \sqrt{\frac{1}{1+\beta}} \Gamma_{ile} e^{-j\theta_{ile} x} \quad (2.4)$$

2.3 Kanal Modelleri

RIS destekli haberleşme ağlarında alıcı genellikle işareti iki yoldan alır. Bunlar vericiden direkt yolla ve RIS üzerinden yansıma ile alıcıya ulaşan işaretlerdir. Dar bant düz sönümlenmeli durum için alınan işaret aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$y = H_{dir}x + H_{RIS}x + n \quad (2.5)$$



Şekil 2.2 : RIS türleri: (a) yansıtıcı türü, (b) iletici türü, (c) hibrit türü.

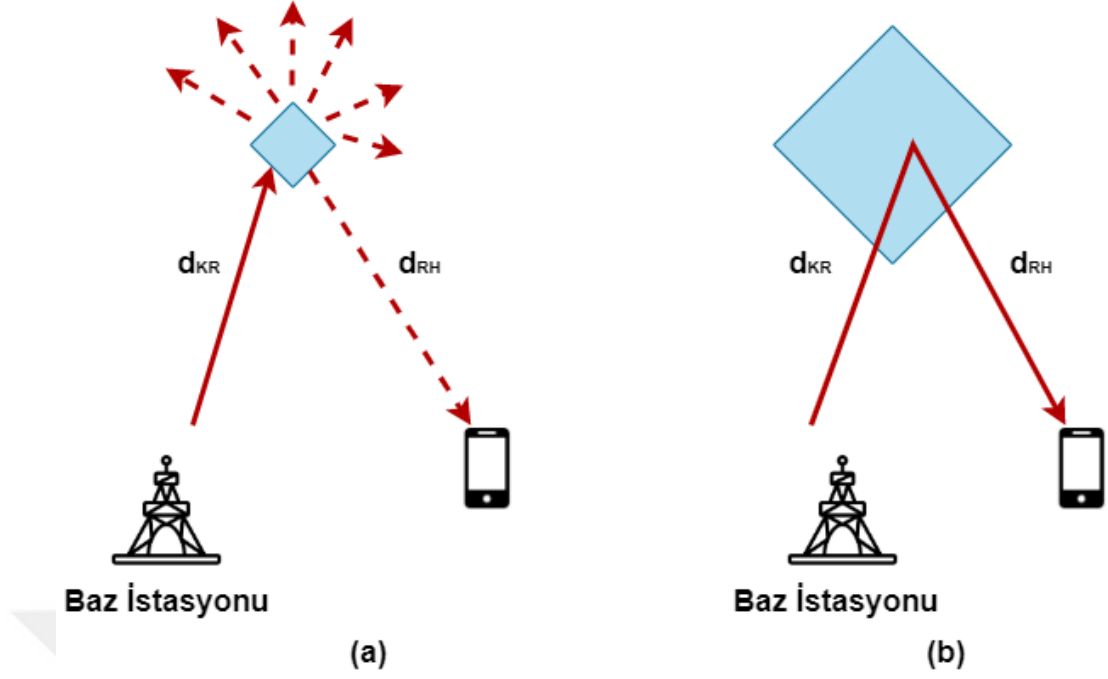
Burada x , n , H_{dir} ve H_{RIS} sırasıyla gönderilen işaret vektörü, alıcıdaki Gauss gürültü vektörü, verici ile alıcı arasındaki direkt kanal ve RIS üzerinden verici ve alıcı arasındaki kanalı belirtmektedir. Literatürde H_{RIS} üç şekilde modellenmektedir.

2.3.1 Geniş ölçekli yol kaybı modeli

Geniş ölçekli yol kaybı modelinde yansıtıcı elemanın boyutuna göre davranışı değişiklik göstermektedir. Eğer bir RIS elemanı elektriksel olarak küçük yani boyutu gelen işaretin dalga boyuyla yakınsa bu eleman saçıcı özellik gösterecektir. Eğer bir RIS elemanı elektriksel olarak büyük yani boyutu gelen işaretin boyutundan büyükse bu eleman yansıtıcı özellik gösterecektir. Elektriksel olarak küçük ve büyük elemanlara ilişkin geniş ölçekli yol kaybı modelinin uygulanışı Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

d_{KR} ve d_{RH} sırasıyla kaynak (baz istasyonu) ile RIS ve RIS ile hedef (kullanıcı) arasındaki uzaklıklar olmak üzere, elektriksel küçük ve büyük elemanlar için yol kaybının orantılı olduğu ifadeler değişmektedir. Elektriksel küçük eleman için yol kaybı d_{KR} ve d_{RH} uzaklıklarının toplamıyla orantılı olmaktadır [43]. Elektriksel büyük eleman için ise yol kaybı d_{KR} ve d_{RH} uzaklıklarının çarpımıyla orantılı olmaktadır. α yol kaybı çarpanı olmak üzere yol kaybı ifadesi 2.6 ve 2.7'deki gibi değişmektedir.

$$YK_{yan} \propto \frac{1}{(d_{KR} + d_{RH})^\alpha} \quad (2.6)$$



Şekil 2.3 : Geniş ölçekli yol kaybı modeli (a) elektriksel küçük eleman (b) elektriksel büyük eleman.

$$YK_{sac} \propto \frac{1}{(d_{KR}d_{RH})^\alpha} \quad (2.7)$$

2.3.2 Diyadik geri saçılma kanal modeli

Bu modelde RIS'in her bir elemanı sönümlenme etkisi altında çok yönlü saçıcı olarak varsayılır. Bu model için RIS üzerinden kanal ifadesi 2.8'deki gibi yazılır.

$$H_{RIS} = FQG \quad (2.8)$$

F ve G sırasıyla RIS'ten alıcıya ve vericiden RIS'e olan kanalları belirtmektedir. Q ise diyagonal bir matristir. Q matrisinin diyagonal elemanları RIS elemanlarının cevaplarını içerir ve RIS elemanlarının cevapları 2.9'daki gibi ifade edilir.

$$\eta = \Gamma e^{-j\theta} \quad (2.9)$$

2.8'de yer alan kaskat yapıda sönümlenme ifadesi içeren ifadelerde performans açısından olumsuz sonuçlar görülür. Ancak RIS elemanı sayısı artırılarak daha iyi performans elde edilebilir [44].

2.3.3 Uzamsal saçıcı kanal modeli

H_{RIS} için bir diğer kanal modeli uzamsal saçıcı kanal modelidir. Bu modelde ayrı propagasyon yolları oluşturulur. Bu model için H_{RIS} 2.10'daki gibi tanımlanır.

$$H_{RIS} = \sum_{n=1}^N \alpha_n \eta_n a_R(\theta_{R,n} \phi_{R,n}) a_T^*(\theta_{T,n} \phi_{T,n}) \quad (2.10)$$

Burada sırasıyla N , α_n , η_n , a_R , a_T , θ ve ϕ RIS elemanı sayısı, n . RIS elemanına ait kompleks skalar yol kazancı, n . RIS eleman cevabı, alıcıdaki dizi doğrultu vektörü (array steering vector), vericideki dizi doğrultu vektörü, istikamet (azimuth) açısı ve yükselme (elevation) açısını belirtmektedir [45].

2.4 Nakagami-m Sönümlenme ve Ters Gamma Gölgeleme Etkisi Altında RIS Destekli Telsiz Haberleşme Sistemi Performans Analizi

2.4.1 Giriş

Yeni nesil telsiz haberleşme sistemlerinde hem kapsama alanının hem de veri hızının artması zorunlu bir ihtiyaç durumuna gelmiştir. Son yapılan çalışmalarda meta-malzemelerin bu ihtiyaçları karşılaması önerilmekte ve özellikle 6G teknolojileriyle entegrasyonuna çaba gösterilmektedir. Bu meta-malzemeler akıllı yansıtıcı yüzey olarak adlandırılır ve yayılma ortamının konfigürasyonu ile kapsama alanının ve veri hızının artması sağlanmış olur. Öncelikle RIS'lerin üretimi ve haberleşme sistemlerine eklenmesi oldukça az maliyet gerektirmektedir. RIS'ler neredeyse pasif elemanlardır. Başka bir ifadeyle RIS'ler işareti işlemek için ilave devre ya da güç ihtiyacı duymaz [46]. Ayrıca RIS'ler farklı şekillerde kullanılabilir. Dış bina cephelerinde, iç mekanlarda [47] ve insansız hava araçlarına entegre biçimde [48] olabilir. İkinci olarak RIS'ler uygun radyo ortamlarını kontrol edebilir ve özelleştirebilir. Gelen işaretin fazı ve genliği yeniden yapılandırılarak radyo yayılım ortamı özelleştirilmiş olur. RIS'lerin bir başka avantajı ise yüksek doğrulukta temassız ya da temassız algılama sağlamaktadır. Telsiz haberleşme sistemlerinde iki nesne arasındaki farklılığı artırdığından RF algılama çözünürlüğü üzerinde artırıcı etkisi

bulunmaktadır. RIS'ler ayrıca istenmeyen işaretleri özel olarak tasarlanan pasif hüzmleme yöntemiyle engelleyerek fiziksel katman güvenliğini artırır [25].

Bu çalışmada RIS destekli telsiz haberleşme sistemi Nakagami-m sönümleme ve ters Gamma gölgeleme [49] etkisi altında incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında RIS destekli sistemin performansı iki şekilde incelenmiştir. Öncelikle RIS'in sistem performansını iyileştirdiğini göstermek adına RIS eleman sayısı belirli aralıklarla artırılmıştır. Eleman artışına bağlı olarak kesinti olasılığı değerleri hesaplanmıştır. Diğer incelenen etken ise RIS'in sönümleme ve gölgeleme etkisi altında nasıl bir performans verdiğidir. Bunun için gölgeleme ve sönümleme etkileri kademeli olarak artırılmıştır.

2.4.2 Telsiz haberleşmede sönümleme etkisi

Telsiz haberleşmede radyo dalgaları alıcıdan vericiye gidinceye kadar birçok bozucu etkiye maruz kalmaktadır. Ayrıca çoğu telsiz haberleşme uygulamasında görüş hattının olmadığı durumlar görülür. Bu yüzden vericiden çıkan radyo dalgaları haberleşme ortamındaki engellerden kaynaklanan emilme, kırılma ve saçılma gibi durumlarla karşılaşır. Bu yüzden alıcıda birçok farklı yoldan farklı zamanlarda gelen işaretlere rastlanır. Bu sebeple çok yollu sönümleme telsiz haberleşmede üstesinden gelinmesi önemli sorunlardan biridir.

Sönümleme etkisi küçük ölçekli sönümleme (small scale fading) ve büyük ölçekli sönümleme (large scale fading) olarak iki temel sınıf altında incelenebilir. Küçük ölçekli sönümlemede işaretin genliğinde çok yollu propagasyondan kaynaklanan dalgalanma göz önünde bulundurulur. Büyük ölçekli sönümlemede ise ortalama işaret seviyesindeki uzun vadeli değişim göz önünde bulundurulmaktadır [50].

Çok yollu propagasyonun yanında Doppler etkisi de kanal karakteristiğini olumsuz yönde etkiler. Alıcı veya vericinin hareketli olması durumunda radyo dalgalarında frekans kayması meydana gelir.

Telsiz haberleşmede birçok kanal modeli vardır. Bu kanal modelleri yardımıyla kanalın istatistiksel parametreleri kullanılarak alıcıdaki işaret üzerine çıkarımlar yapılabilir.

2.4.2.1 Rayleigh sönümlenme

Rayleigh sönümlenmeye göre bir haberleşme kanalından geçen işaretin genliği rastgele olarak sönümlenir. Rayleigh sönümlenme modelinin uygulanması için görüş hattının olmadığı varsayılır. Çok yollu propagasyondan dolayı işaretin farklı fazlarda bileşenleri de alıcıda görülür. Bu da fazın rastgele olmasını dolayısıyla alıcıdaki gücün rastgele değişken olmasına neden olur. f_c , A_i ve ϕ_i sırasıyla iletilen işaretin frekansı, i . yolun genliği ve i . yolun fazını belirtmek üzere, alınan $m(t)$ işareti 2.11'deki gibi yazılabilir.

$$m(t) = \sum_{i=1}^I A_i \cos(f_c t + \phi_i) \quad (2.11)$$

I değeri toplam yol sayısını belirtmektedir. ϕ_i değeri yolun uzunluğuna göre değişir ve $(0, 2\pi)$ aralığında düzgün dağılımlıdır. Rayleigh sönümlenmeye olasılık yoğunluk fonksiyonu ise 2.12'deki gibidir.

$$P(r) = \frac{2r}{\Omega} e^{-\frac{r^2}{\Omega}}, r \geq 0 \quad (2.12)$$

R , rastgele değişken olmak üzere Rayleigh dağılımı $\Omega = E[R^2]$ şeklinde gösterilebilir. Rayleigh dağılımı Ω ile tek bir parametre üzerinden karakterize edilebilir.

2.4.2.2 Rician sönümlenme

Rician sönümlenmede Rayleigh sönümlenmenin aksine alıcı ile verici arasında görüş hattının olduğu varsayılır. Bu yüzden aynı işaret hem direkt olarak hem de çok yollu propagasyon yoluyla vericiye ulaşır. Rician sönümlenme için olasılık yoğunluk fonksiyonu 2.13'teki gibi yazılabilir.

$$P(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2 - A^2}{2\sigma^2}} J_0\left(\frac{rA}{\sigma^2}\right), r \geq 0 \quad (2.13)$$

J_0 , 0. dereceden modifiye edilmiş Bessel fonksiyonunu belirtmektedir ve 2.14'teki gibi ifade edilir.

$$J_0(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{z^{2n}}{2^{2n} n! n!}, z \gg 1 \quad (2.14)$$

2.13'teki ifadede $A = 0$ dominant işaretin olmadığı durumlarda geçerlidir. Bu durumda $P(r)$ Rayleigh dağılımına karşılık gelmektedir. A 'nın büyük olduğu durumda ise $P(r)$

Gauss dağılımına karşılık gelmektedir. A 'nın yani direkt bileşenin şiddetinin büyük olduğu durumda iletilen işaret 2.15'teki gibi yazılır.

$$m(t) = \sum_{i=1}^{I-1} A_i \cos(f_c + w_{d_i} t + \phi_i) + A \cos(f_c t + w_d) \quad (2.15)$$

w_d ve w_{d_i} sırasıyla görüş hattı yolu ve direkt olmayan yollar için Doppler kaymasını belirtmektedir. Ayrıca Rician dağılımı, Rician faktörü K ile karakterize edilir. Görüş hattı yoluna ait gücün direkt olmayan yollara ait güce oranına eşittir. K değeri 2.16'daki gibi yazılır ve $K(dB) = -\infty$ için görüş hattının olduğu yani direkt yola ait ifade ortadan kalkar. Bu durumda Rayleigh dağılımına eşit olmuş olur.

$$K(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{A^2}{2\sigma^2} \right) \quad (2.16)$$

2.4.2.3 Nakagami sönümleme

Nakagami hem Rayleigh hem de Rician modellerini tanımlayabilir. Rayleigh dağılımı uzun mesafe ve yüksek frekans için kanal kestirimini doğru yapamamaktadır. Gerçek kanal koşullarına oldukça yakın bir modellemedir. Ayrıca Nakagami modelinde görüş hattının olmadığı varsayılmıştır. Nakagami dağılımına ait olasılık yoğunluk fonksiyonu 2.17'deki gibi ifade edilebilir.

$$P(r) = \frac{2m^m r^{2m-1}}{\Omega^m \Gamma(m)} e^{-\frac{mr^2}{\Omega}}, m \geq \frac{1}{2}, r \geq 0 \quad (2.17)$$

m , Nakagami biçim parametresini belirtmektedir. Çok yollu propagasyondan kaynaklanan sönümlemenin derecesini göstermektedir. $m \rightarrow \infty$ olduğunda Nakagami kanalı sönümleme olmayan kanal ifadesine dönüşür. Ω , çok yollu saçıcı alanın ortalama gücünü belirtir. Ayrıca $\Gamma(m)$, Gamma fonksiyonunu göstermektedir. m ve Ω için sırasıyla 2.18 ve 2.19'daki ifadeler yazılabilir.

$$m = \frac{E^2[X^2]}{Var[X]} \quad (2.18)$$

$$\Omega = E[X^2] \quad (2.19)$$

Nakagami dağılımının özel durumları kullanılarak Rayleigh ve Rician dağılımlar elde edilebilir. $m = 1$ için Nakagami modeli Rayleigh dağılımını belirtmektedir. $m > 1$ için Rayleigh dağılımından uzaklaşmaktadır ve m değeri arttıkça Rayleigh'e göre daha az bozucu kanal modellenebilir. $m = 0$ için ise Nakagami Rician dağılımı özelliği göstermektedir.

2.4.3 Telsiz haberleşmede gölgeleme etkisi

Telsiz haberleşme kanallarında ortamdan ortama işarete ait lokal ortalama güç değişikliği göstermektedir. Bu durum gölgeleme modelleriyle göz önünde bulundurulur. Lognormal, Gauss ve ters Gauss dağılımları gölgeleme modellerine örnek olarak verilebilir.

2.4.3.1 Lognormal dağılım

P , gölgeleme etkisi altında işaretin seviyesindeki dalgalanmayı belirtmiş olsun. u lokasyon parametresini ve σ ölçek parametresini göstermek üzere, lognormal dağılıma ait olasılık yoğunluk fonksiyonu 2.20'deki gibi ifade edilebilir.

$$f_P(p; u, \sigma) = \frac{1}{p\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{\ln(p)-u}{\sigma}\right)^2}, p > 0 \quad (2.20)$$

2.4.3.2 Gamma dağılımı

Gamma dağılımında a biçim parametresini b ise ölçek parametresini belirtmek üzere Gamma dağılımına ait olasılık yoğunluk fonksiyonu $a > 0$ ve $b > 0$ değerleri için 2.21'deki gibi ifade edilmektedir.

$$f_P(p; a, b) = \frac{p^{a-1}}{\Gamma(a)b^a} e^{-\frac{p}{b}}, p > 0 \quad (2.21)$$

2.4.3.3 Ters Gamma dağılımı

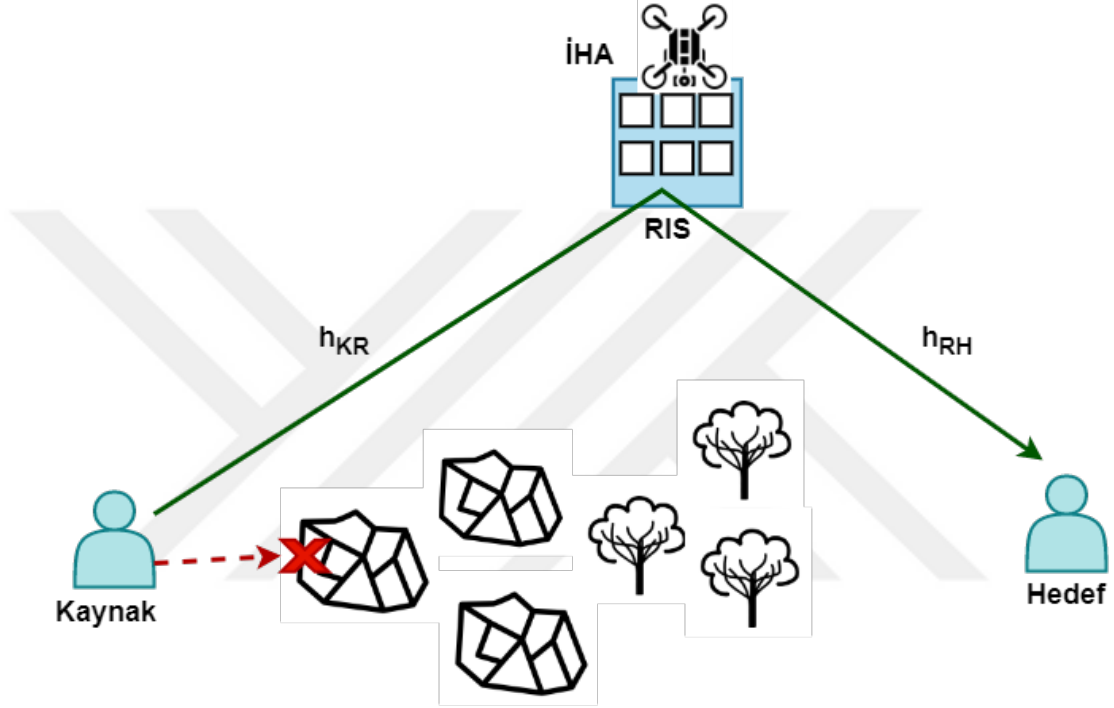
Ters Gamma dağılımı ile Gamma dağılımı arasında doğrudan bir ilişki vardır. Ters Gamma dağılımında gölgeleme etkisi altında işaretin seviyesindeki dalgalanma S ile gösterilir ve $S = \frac{1}{p}$ bağıntısı yazılabilir. Ayrıca biçim ve ölçek parametreleri için de $\alpha = a$ ve $\beta = b^{-1}$ bağıntıları yazılabilir. Bu durumda ters Gamma olasılık yoğunluk fonksiyonu $\alpha > 0$ ve $\beta > 0$ olmak üzere 2.22'deki gibi yazılır.

$$f_S(s; \alpha, \beta) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)s^{\alpha+1}} e^{-\frac{\beta}{s}}, s > 0 \quad (2.22)$$

2.4.4 İki kullanıcıli RIS destekli telsiz haberleşme sistemi

Bu çalışmada bir uçtan diğer uca iki kullanıcıli sönümlenme ve gölgeleme etkisinde haberleşme sistemi için sistem modeli düşünülmüştür. Görüş hattının olmadığı

bir ortamda iki kullanıcının RIS üzerinden bağlantı kurduğu varsayılmıştır. RIS, bir İHA'ya entegre biçimde bulunmaktadır. Kaynak olan kullanıcı K ve hedef durumundaki kullanıcı H ile gösterilmiş olsun. İHA'ya yerleştirilmiş RIS ise R ile gösterilsin. Ayrıca yüzeydeki engellerden dolayı kaynaklanan yüksek miktarda sönmüleme ve gölgeleme etkisi sebebiyle $K \rightarrow H$ direkt bağlantısının var olmadığı varsayılmıştır. R yüzeyi pasif olarak K 'den gelen işareti H 'ye yansıtmaktadır. Şekil 2.4'te oluşturulan sistem modeli görülmektedir.



Şekil 2.4 : RIS destekli telsiz haberleşme sistemi.

RIS'in N sayıda ayrık yansıtıcı eleman (Discrete Reflecting Element) içerdiği varsayalım. $h_{KR} \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ ve $h_{RH} \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ sırasıyla $K \rightarrow R$ ve $R \rightarrow H$ kompleks kanal katsayı vektörünü (Complex Channel Coefficient Vector) temsil etsin. ψ , faz kaydırma matrisi (Phase Shifting Matrix) olmak üzere 2.23'teki gibi ifade edilebilir.

$$\psi = \kappa \text{diag} \left(e^{j\phi_1}, \dots, e^{j\phi_N} \right) \quad (2.23)$$

l yansıtıcı elemanına ait faz kayması $\phi_l \in [0, 2\pi)$ ile gösterilmek üzere $l = 1, \dots, N$ değerlerini almaktadır. $\kappa \in (0, 1]$ sabit genlik katsayısını ifade etmektedir [51]. Ayrıca faz kayma değerleri ϕ_1, \dots, ϕ_N akıllı yansıtıcı yüzey tarafından optimize edilebilir değerlerdir. Kaynak K 'den gönderilen işaret x ile gösterilsin. Bu durumda hedef H 'de

alınan işaret 2.24'teki gibi yazılabilir.

$$y = \sqrt{P_X} \sum_{l=1}^N [h_{KR}]_l \kappa e^{j\phi_l} [h_{RH}]_l x + n \quad (2.24)$$

Bu ifadede P_X , gönderilen işaret x 'in gücünü belirtmektedir. $n \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2)$ ise toplanır beyaz Gauss gürültüsünü (Additive White Gaussian Noise, AWGN) ifade etmektedir. Bir başka ifade ile hedefte sıfır ortalamalı ve σ^2 varyanslı bir gürültü ifadesidir.

Kompleks kanal katsayıları \tilde{h}_{KI} ve \tilde{h}_{IH} olmak üzere 2.25 ve 2.26'daki gibi ifade edilebilir.

$$\tilde{h}_{KI} = h_{KI} e^{j\theta_{KI}} \quad (2.25)$$

$$\tilde{h}_{IH} = h_{IH} e^{j\theta_{IH}} \quad (2.26)$$

2.25 ve 2.26'daki ifadelerde h_{KI} ve h_{IH} genlik değerlerini, $\theta_{KI} \in [0, 2\pi)$ ve $\theta_{IH} \in [0, 2\pi)$ faz değerlerini belirtmektedir. Ayrıca bu ifadeleri genelleştirilmiş bir biçimde $\tilde{h}_c = h_c e^{j\theta_c}$ şeklinde yazabiliriz. Kolaylık açısından sönmüleme etkisi Nakagami- m rastlantı değişkeni olarak modellenir ve G_c ile gösterilsin. Gölgeleme etkisi ise ters Gamma rastlantı değişkeni olarak modellenir ve L_c ile gösterilsin. Bu durumda kompleks kanal katsayısına ait genlik değeri olan $h_c = L_c G_c$ ifadesine eşit olmuş olur. G_c rastlantı değişkenine ait Nakagami- m olasılık yoğunluk fonksiyonu $x > 0$ için 2.27'deki gibi tanımlanmıştır.

$$f_{G_c}(x; m, \Omega) = 2 \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{1}{\Gamma(m)} x^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega}x^2} \quad (2.27)$$

2.27'deki ifadede m ve Ω sırasıyla biçim (Shape) ve yayılma (Spread) parametrelerini belirtmektedir. L_c rastlantı değişkenine ait ters Gamma olasılık yoğunluk fonksiyonu ise $x > 0$ için 2.28'deki gibi tanımlanmıştır [52].

$$f_{L_c}(x; \alpha, \beta) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{-\alpha-1} e^{-\frac{\beta}{x}} \quad (2.28)$$

2.28'deki ifadede α ve β sırasıyla biçim ve ölçek (Scale) parametrelerini belirtmektedir.

Ayrıca bir uçtan diğer uca erişilebilir ani kapasite (Achievable Instantaneous Capacity) [b/s/Hz] 2.29'daki ifade ile hesaplanabilir [53].

$$R = \max_{\phi_1, \dots, \phi_N} \log_2 \left(1 + \frac{P_X}{\sigma^2} \left| \kappa \sum_{l=1}^N [h_{KR}]_l e^{j\phi_l} [h_{RH}]_l \right|^2 \right) \quad (2.29)$$

Oluşturulan sistem modelinin performansını ölçmek için sistemin kesinti olasılığı kullanılmaktadır. P_{out} , kesinti olasılığı R_e [b/s/Hz] eşik spektral verimliliğinin (Threshold Spectral Efficiency) altındaki değerler için ortaya çıkmaktadır. O halde P_{out} için 2.30'daki ifade elde edilir.

$$P_{out} = Pr(R < R_e) \quad (2.30)$$

Hedefteki işaret-gürültü-oranı (Signal-to-Noise-Ratio, SNR) γ , bu orana ait eşik değeri γ_e olmak üzere 2.30'daki kesinti olasılığı ifadesi 2.31'deki biçimde de yazılabilir.

$$P_{out} = Pr(\gamma < \gamma_e) \quad (2.31)$$

Bu ifadede $\gamma_e = 2^{R_e} - 1$ olmak üzere hedefteki SNR ifadesi 2.32'deki ifadeye eşit olur.

$$\gamma = \max_{\phi_1, \dots, \phi_N} \bar{\gamma} \left| \kappa \sum_{l=1}^N L_{Kl} G_{Kl} e^{j\phi_l + \theta_{Kl} + \theta_{lH}} G_{lH} L_{lH} \right|^2 \quad (2.32)$$

2.32'deki ifadede $\bar{\gamma} = \frac{P}{\sigma^2}$, ortalama verici SNR değerine karşılık gelmektedir. 2.32'deki ifadeyi maksimize etmek için 2.23'teki faz kaydırma matrisinin optimize edilmesi gerekir. ψ^* , optimize edilmiş faz kaydırma matrisi olsun. Bunu sağlamak için her bir yansıtıcı elemandaki faz kayması optimize edilmelidir. $\phi_l^* = -(\theta_{Kl} + \theta_{lH})$ ifadesi yardımıyla bu işlem gerçekleştirilebilir. Faz kayması işlemi sonucunda kesinti olasılığı 2.33'teki halini alır.

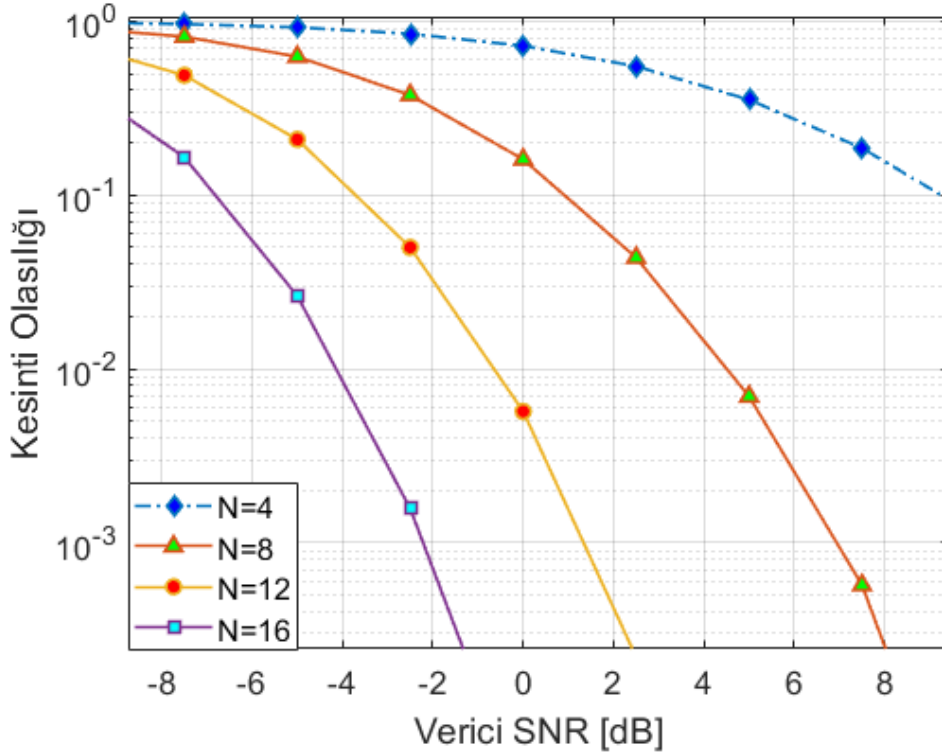
$$P_{out} = Pr \left(\bar{\gamma} \kappa^2 \left| \sum_{l=1}^N L_{Kl} G_{Kl} G_{lH} L_{lH} \right|^2 < \gamma_e \right) \quad (2.33)$$

2.4.5 İki kullanıcılı RIS destekli sisteme ait performans analizi

Bu bölümde Nakagami-m sönümlenme ve ters Gamma gölgeleme etkisindeki kanallarda haberleşme sistemi için iki başlıkta sistemin kesinti olasılığı incelenmiştir. İlk kısımda yansıtıcı eleman sayısının kesinti olasılığını nasıl etkilediği gösterilmiştir. İkinci kısımda ise sönümlenme ve gölgeleme etkisinin bu sistem için bozucu etkisi parametreler değiştirilerek elde edilmiştir.

2.4.5.1 Yansıtıcı eleman sayısının kesinti olasılığına etkisi

Sistemin performansı elde edilirken sabit sönümleme ve gölgeleme parametreleri için akıllı yansıtıcı yüzeyin yansıtıcı eleman sayıları değiştirilerek kesinti olasılığı hesaplanmıştır. Simülasyonda $m = 2.5$, $\alpha = 3$, $\beta = 1$ ve yol kaybı çarpanı = 2.7 olarak alınmıştır. Şekil 2.5'te $N = 4, 8, 12$ ve 16 değerleri için kesinti olasılığı grafiği verilmiştir. Örneğin sistemde -2.5 dB verici SNR değeri için kesinti olasılığı değerleri Çizelge 2.1'deki gibi elde edilmektedir. Belirli bir P_{out} kesinti olasılığı değeri için RIS'de bulunan eleman sayısı artırılırsa transfer için gereken güç miktarının düştüğü söylenebilir.



Şekil 2.5 : Farklı yansıtıcı eleman sayısına bağlı kesinti olasılığı.

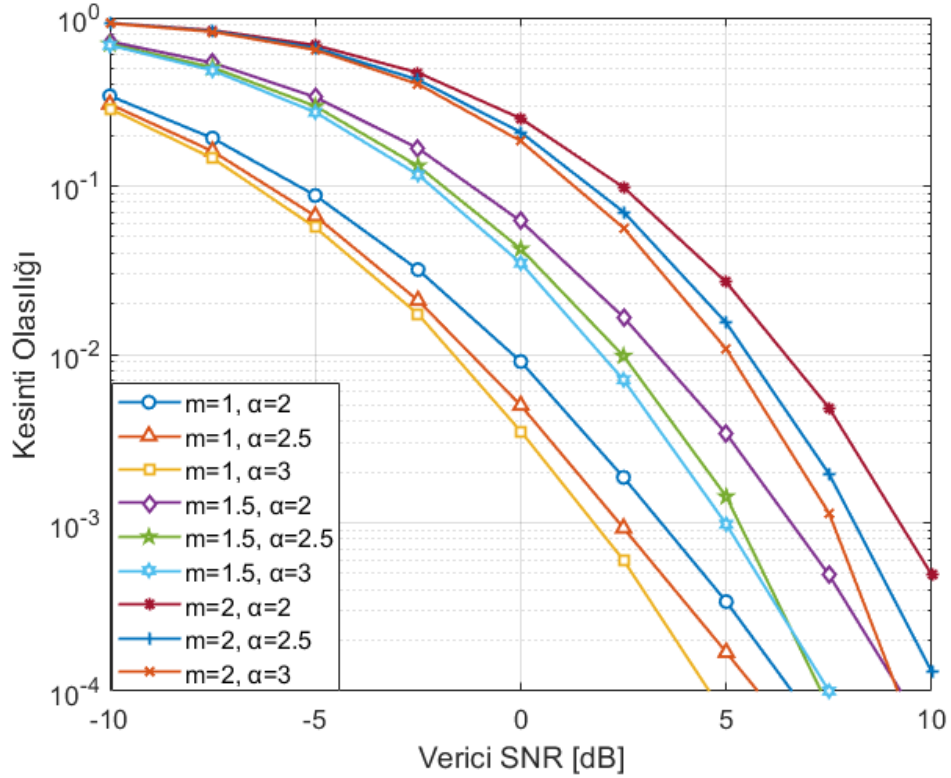
2.4.5.2 Sönümleme ve gölgeleme etkisinin kesinti olasılığına etkisi

Bu bölümde RIS destekli telsiz haberleşme sisteminin sönümleme ve gölgeleme etkisine ne kadar duyarlı olduğu incelenmiştir. Nakagami-m sönümlmeli kanal için m , ters Gamma gölgelemeli kanal için α biçim parametresinin değişimine bağlı

Çizelge 2.1 : -2.5 dB verici SNR değeri için yansıtıcı eleman sayısına bağlı kesinti olasılığı değerleri.

Yansıtıcı Eleman Sayısı	Kesinti Olasılığı
4	8.4×10^{-1}
8	3.7×10^{-1}
12	5.1×10^{-2}
16	1.6×10^{-3}

olarak sistemin performansı incelenmiştir. Sönümlenme etkisi m artışıyla artmaktadır. Gölgeleme etkisi ise biçim parametresi α 'nın artmasına bağlı olarak düşmektedir [54]. Şekil 2.6'da belirli m ve α değerleri için kesinti olasılığı grafiği görülmektedir. Ayrıca Çizelge 2.2'de 2.5 dB verici SNR değeri için kesinti olasılıkları yer almaktadır. Bu verilere bakılarak Nakagami-m sönümlenmeli kanal için duyarlılığının fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca gölgeleme etkisi arttıkça kesinti olasılığının arttığı bir başka ifadeyle transfer için gereken gücün düştüğü söylenebilir.



Şekil 2.6 : Farklı sönümlenme ve gölgeleme biçim parametrelerine bağlı kesinti olasılığı.

Çizelge 2.2 : 2.5 dB verici SNR değeri için biçim parametrelerine bağlı kesinti olasılığı değerleri.

Kesinti Olasılığı	m	α
1.8×10^{-3}	1	2
9.4×10^{-4}	1	2.5
5.4×10^{-4}	1	3
1.7×10^{-2}	1.5	2
9.9×10^{-3}	1.5	2.5
7×10^{-3}	1.5	3
9.8×10^{-2}	2	2
1.4×10^{-2}	2	2.5
1×10^{-2}	2	3

2.4.5.3 Sonuçlar

Bu çalışmada RIS destekli haberleşme sistemi performansı çeşitli parametrelere bağlı incelenmiştir. Oluşturulan sistem modelinde daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilmesi için Nakagami- m sönümleme ve ters Gauss gölgeleme etkisinin var olduğu varsayılmıştır. Yeni nesil haberleşme teknolojileri için halihazırda bulunan uçtan uca iki kullanıcıli haberleşme sistemine RIS entegre edildiği düşünülmüştür. İlk olarak RIS üzerinde bulunan yansıtıcı eleman sayısının kesinti olasılığını ciddi bir biçimde etkilediği sonucuna varılmıştır. Yansıtıcı eleman sayısının artışı ile transfer için gereken gücün belirgin bir biçimde düştüğü gözlemlenmiştir. İkinci olarak kanalın sönümleme ve gölgeleme etkisine hassasiyeti incelenmiştir. Kanalın sönümleme ve gölgeleme etkisinin artmasıyla kesinti olasılığının belirgin bir biçimde arttığı görülmüştür. Yapılan simülasyon sonuçlarından hareketle görüş hattının olmadığı durumlarda kesinti olasılığının düşürülmesi büyük önem taşımaktadır. RIS'in haberleşme sistemine entegre edilmesiyle bunun düşürüldüğü görülmüştür. Ayrıca enerji verimliliği sağlaması açısından RIS destekli haberleşme sistemlerinin yeni nesil haberleşme sistemlerinde bir çok avantaj sağlayacağı öngörülmektedir.

3. RIS DESTEKLİ İHA KONUMLANDIRMA

3.1 Giriş

Son yıllarda İHA'lar yüksek manevra kabiliyeti sağlaması ve mobilite özellikleri sayesinde telsiz haberleşme uygulamalarında tercih edilmektedir [55]. İHA'lar uçar baz istasyonu ya da erişim noktası olarak havadan karaya ya da karadan havaya haberleşmede etkin bir biçimde çalışabilmektedir. İHA'ların baz istasyonu olarak çalıştığı ve İHA yerleşiminin optimizasyonunu konu alan bir çok çalışma bulunmaktadır [56,57]. Ek olarak [58]–[62] çalışmalarında İHA güzergah optimizasyonu üzerine çalışmalar yürütülmüştür.

Takviyeli öğrenme (Reinforcement Learning, RL), gelecekteki kümülatif bir ödülü optimize ederek sıralı karar problemleri için iyi politikalar öğrenebilir. Derin takviyeli öğrenme (Deep Reinforcement Learning, RL) ise derin sinir ağının güçlü fonksiyon yaklaşımı ve temsili öğrenme özelliklerine dayanarak, konveks olmayan problemleri ve yüksek boyutlu çözümleri çözmek için RL'ye kıyasla daha uygun olduğu gösterilmiştir [59].

İHA ve kullanıcılar arasındaki görüş hattı her durumda var olmayabilir. Bu, veri transfer oranında düşüşe sebep olmaktadır. Bu sebeple RIS, İHA ve kullanıcılardan gelen işaretleri yansıtarak sistemin haberleşme performansında iyileşme sağlamaktadır. Bu çalışmada, RIS destekli İHA konumlandırma sistemi optimizasyon algoritması üzerinden incelenecektir. İlk olarak belirli bir alan içerisinde İHA'nın 3-boyutlu uzayda güzergahının optimizasyonu sağlanacaktır. Diğer optimizasyonu sağlanacak etken ise RIS'e ait faz kaymaları olacaktır. Güzergah optimizasyonunun amacı hareket için harcanan enerjiyi azaltmakken, faz kayması optimizasyonunun amacı veri transfer oranını artırmaktır.

Ortak (joint) problemi konveks olmadığından geleneksel yöntemlerle çözülmesi zordur. Bu nedenle DRL yöntemleri kullanılarak optimale yakın çözüm elde edilir.

Bu çalışmada ikili derin Q-ağları (Double Deep Q-Network, DDQN) algoritmasından faydalanılmıştır. Performans analizleri DDQN algoritmasının RIS destekli İHA konumlandırma sisteminin enerji performansını iyileştirdiğini göstermiştir. Bu sistem modelinde kullanıcıların konumları değişiklik göstermektedir.

RIS'ler faz kaymaları sayesinde işaretin daha etkili şekilde yönlendirilmesini sağlamaktadır. Bu sayede hava-kara telsiz haberleşmenin kalitesinde iyileşme sağlanmaktadır. Ayrıca oluşturulan sistem modelinin performans iyileşmesini göstermek için hem sabit hem de hareketli kullanıcılar için performans sonuçları elde edilmiştir. Hareketli kullanıcılar için sistemin performansı düşse dahi İHA konumlandırma sisteminde RIS varlığı önemli biçimde sistem performansını artırmaktadır.

3.2 Sistem Modeli

Bu tezde sabit ve hareketli kullanıcılar için RIS destekli telsiz haberleşme sisteminin performansını gözlemlemek için [63] çalışmasındaki sistem modeli ve sabit kullanıcılar için elde edilen kanal parametreleri kullanılmıştır ve bu referans çalışma üzerine hem sabit hem de hareketli kullanıcılar için sistemin enerji performansı incelenmiştir. Sistem modelinde bir adet İHA, rastgele dağılmış kullanıcılara hizmet vermektedir. Ayrıca bina üzerine İHA-RIS-kullanıcı bağlantısını oluşturmak üzere RIS konumlandırılmıştır.

İHA'nın hareket halinde bulunduğu düzlem K adet eşit hücreye bölünmüş olsun. Bu düzlemin x ve y eksenlerinde bulunan ardışık hücreleri arasındaki uzaklık sırasıyla x_s ve y_s olsun. $K_i^m = [x_i, y_i]^T \in \mathbb{R}^{2 \times 1}$ i . hücrenin merkez koordinatlarını belirtir. $\mathcal{K} \triangleq \{1, 2, \dots, K\}$ ve $n \in \mathcal{N} \triangleq \{1, 2, \dots, N\}$ olmak üzere, İHA'nın n . zaman aralığındaki konumunu $K_n^{IHA} \in \mathcal{K}$ belirtmektedir ve toplam N adet zaman aralığı bulunmaktadır. İHA'nın bulunacağı başlangıç ve bitiş hücreleri önceden belirli olup, bu hücrelere ait merkez koordinatları sırasıyla K_0^{IHA} ve K_f^{IHA} olarak tanımlanmıştır. Bu durumda İHA'nın izleyeceği güzergah $\{K_0^{IHA}, K_1^{IHA}, \dots, K_n^{IHA}, K_N^{IHA}, K_f^{IHA}\}$ şeklinde yazılabilir. İHA'nın ilerleyeceği yatay konum tanımlandıktan sonra 3-boyutlu güzergah için yükseklik koordinatlarının da tanımlanması gerekmektedir. Düşey uzayda $h_n^{IHA} \in \mathcal{H} \triangleq$

$\{1, 2, \dots, H\}$ n . zaman aralığında İHA'nın bulunduğu yükseklik kademesini belirtmiş olsun. H , toplam yükseklik kademe sayısını belirtmektedir. Ayrıca iki komşu kademe arasındaki uzaklık h_s olmak üzere, İHA'nın bulunduğu yükseklik 3.1'deki gibi ifade edilebilir.

$$H_n^{IHA} = h_n^{IHA} \times h_s \quad (3.1)$$

İHA'nın ulaşacağı maksimum yükseklik h_{max} olmak üzere, h_s 3.2'deki gibi ifade edilir.

$$h_s = h_{max}/H \quad (3.2)$$

h_{max} ve h_{min} sırasıyla İHA'nın ulaşabileceği maksimum ve minimum yükseklik olmak üzere, İHA'nın bulunduğu yükseklik H_n^{IHA} , h_{min} ve h_{max} aralığında olacaktır.

n . zaman aralığının süresi t_n^{IHA} olmak üzere, $t_{min} < t_n^{IHA} < t_{max}$ aralığında bulunmalıdır. Yani İHA bir zaman aralığında belirli bir süre konumlandırılır. Bu durumda İHA'nın toplam görev süresi τ , 3.3'teki gibi elde edilir.

$$\tau = \sum_{n=1}^N t_n^{IHA} \quad (3.3)$$

İHA'nın 3-boyutlu güzergahı hem yatay hem de yükseklik koordinatlarını içerecek şekilde $[K_n^{IHA}, H_n^{IHA}]$, $\forall n \in \mathcal{N}$ olarak gösterilebilir. İHA'nın koordinat bilgilerine ilişkin değerleri tanımladıktan sonra, İHA'nın hızına ilişkin değerler tanımlanır. N adet zaman aralığı için İHA'nın maksimum yatay hızı V_{max}^y olur ve t_n^{IHA} zaman aralığı içinde İHA'nın yer değişimi İHA ve kullanıcı arasındaki bağlantı uzaklığı yanında ihmal edilebilecek büyüklüktedir. Bu durumda İHA'nın n . zaman aralığındaki yatay hızı 3.4'teki gibi ifade edilir.

$$v_n^y = \frac{\|K_{n+1}^{IHA} - K_n^{IHA}\|}{t_n^{IHA}} \leq V_{max}^y, \forall n \in \mathcal{N} \quad (3.4)$$

İHA'nın n . zaman aralığındaki düşey hızı v_n^d , maksimum düşey hızı V_{max}^d olmak üzere 3.5'teki gibi ifade edilir.

$$v_n^d = \frac{\|H_{n+1}^{IHA} - H_n^{IHA}\|}{t_n^{IHA}} \leq V_{max}^d, \forall n \in \mathcal{N} \quad (3.5)$$

arasında d_c , satır yansıtıcı elemanları arasında d_r metre uzaklık bulunmaktadır. Her yansıtıcı eleman pasif olarak faz açısını değiştirmektedir. Bu durumda yansıma katsayısı 3.7'deki gibi tanımlanır.

$$\Gamma_{m_c, m_r} = \alpha e^{j\theta_{m_c, m_r}} \quad (3.7)$$

$\forall m_r \in 1, 2, \dots, M_r$ ve $\forall m_c \in 1, 2, \dots, M_c$ olmak üzere $\alpha \in [0, 1]$ RIS'in sabit yansıma katsayısını belirtmektedir. Ayrıca $\theta_{m_c, m_r} \in [-\pi, \pi]$ yansıtıcı elemanlara ait faz kayması değerlerini belirtmektedir.

RIS, bina yüzeyinde ve belirli bir yükseklikte bulunması gerektiğinden yatay ve düşey koordinat değerlerine sahiptir. Bu durumda ilk RIS elemanı $w_R = [x_R, y_R]^T$ yatay, z^R düşey koordinatlarında bulunur.

$\mathcal{K} = \{1, 2, \dots, K\}$ yerde bulunan kullanıcılar olmak üzere, herbir kullanıcının konumu $w_K = [x_K, y_K]^T \in \mathbb{R}^{2 \times 1}$ olsun. Ayrıca kullanıcı k 'nın işlenen veri miktarı D_k olsun. Bu telsiz haberleşme sisteminde İHA ve kullanıcı arasındaki bağlantının yerini İHA-RIS ve RIS-kullanıcı bağlantısı almaktadır. Bu bağlantılar arasında herhangi bir görüş hattı kaybının olmadığı varsayılmaktadır. Bu koşullar altında n . zaman aralığı için $g_n^{IR} \in \mathbb{C}^{M_r \times M_c}$ kanal kazancı 3.8'deki gibi ifade edilir.

$$g_n^{IR} = \frac{\sqrt{\xi}}{d_n^{IR}} \left[1, e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} d_r \phi_n^{IR} \psi_n^{IR}}, \dots, e^{j\frac{2\pi}{\lambda} (M_r-1) d_r \phi_n^{IR} \psi_n^{IR}} \right]^T \otimes \left[1, e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} d_c \phi_n^{IR} \psi_n^{IR}}, \dots, e^{j\frac{2\pi}{\lambda} (M_c-1) d_c \phi_n^{IR} \psi_n^{IR}} \right]^T \quad (3.8)$$

ξ , $D_0 = 1m$ referans uzaklığına göre yol kaybına karşılık gelmektedir. Ayrıca n . zaman aralığı için İHA ve RIS arasındaki uzaklık 3.9'daki gibi elde edilir.

$$d_n^{IR} = \sqrt{(H_n^{IHA} - z_R)^2 + (K_n^{IHA} - w_R)^2} \quad (3.9)$$

d_n^{IR} değerine bağlı olarak RIS'e yatay varış açılarının kosinüsü ve sinüsü ϕ_n^{IR} ve φ_n^{IR} sırasıyla 3.10'daki gibi ifade edilir.

$$\phi_n^{IR} = \frac{x_i - x_R}{d_n^{IR}} \quad (3.10)$$

$$\varphi_n^{IR} = \frac{y_R - y_i}{d_n^{IR}}$$

Ayrıca RIS'e düşey varış açısının sinüsü ψ_n^{IR} olur ve 3.11'deki gibi ifade edilir.

$$\psi_n^{IR} = \frac{h_i - z_R}{d_n^{IR}} \quad (3.11)$$

Taşıyıcı dalga boyu λ olmak üzere, uzak alan dizi cevap vektör modeline göre $d_n^{IR} \gg \max\{M_r d_r, M_c d_c\}$ olacağından g_k^{RK} RIS ve k . kullanıcı arasındaki kanal kazancı ifadesi 3.12'deki gibi ifade edilir.

$$g_k^{RK} = \frac{\sqrt{\xi}}{d_k^{RK}} \left[1, e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} d_r \phi_k^{RK} \psi_k^{RK}}, \dots, e^{j\frac{2\pi}{\lambda} (M_r - 1) d_r \phi_k^{RK} \psi_k^{RK}} \right]^T \otimes \left[1, e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} d_c \phi_k^{RK} \psi_k^{RK}}, \dots, e^{j\frac{2\pi}{\lambda} (M_c - 1) d_c \phi_k^{RK} \psi_k^{RK}} \right]^T \quad (3.12)$$

3.12'de kullanılan d_k^{RK} , RIS ve kullanıcı arasındaki uzaklığı belirtmektedir ve 3.13'teki gibi ifade edilir.

$$d_k^{RK} = \sqrt{(z_R)^2 - (w_R - w_K)^2} \quad (3.13)$$

Ayrıca ϕ_k^{RK} , φ_k^{RK} ve ψ_k^{RK} sırasıyla işaretin k . kullanıcıya olan ayrılış açısının kosinüsünü, k . kullanıcıya olan ayrılış açısının sinüsünü ve k . kullanıcıya olan düşey ayrılış açısının sinüsünü belirtir ve 3.14'teki gibi ifade edilirler.

$$\begin{aligned} \phi_k^{RK} &= \frac{x_k - x_R}{d_k^{RK}} \\ \varphi_k^{RK} &= \frac{y_k - y_R}{d_k^{RK}} \\ \psi_k^{RK} &= \frac{z_R}{d_k^{RK}} \end{aligned} \quad (3.14)$$

Sonuç olarak, k . kullanıcıda elde edilen kanal kazancı ifadesi 3.15'teki halini alır.

$$g_{k,n}^{IRK} = \alpha (g_k^{RK})^T \cdot \Theta_n \cdot (g_n^{IR}) \quad (3.15)$$

$\Theta_n = \text{diag}(\theta_n) \in \mathbb{C}^{M_r M_c \times M_r M_c}$ RIS'e ait yansıma faz katsayı matrisini belirtir ve elemanlarını $\theta_n = [e^{j\theta_{1,1}^n}, \dots, e^{j\theta_{m_r, m_c}^n}, \dots, e^{j\theta_{M_r, M_c}^n}]^T \in \mathbb{C}^{M_r M_c \times 1}$ olmak üzere faz kayma açıları oluşturur. İHA ve kullanıcı arasındaki bağlantı her zaman engellenmiş olmayabilir. Bu durumda görüş hattının olmadığı durumu, engellenme olasılığı üzerinden belirtmek gerekir. Şehir ortamı için n . zaman aralığında İHA ve kullanıcı k arasında engellenme olasılığı 3.16'daki gibi ifade edilir [65].

$$p_{k,n} = 1 - \frac{1}{1 + a \exp(-b(\arctan \frac{H_n^{IHA}}{d_k^{IK}}) - a)} \quad (3.16)$$

a ve b ortama bağlı değişkenler olmak üzere, d_k^{IK} uzaklığı 3.17'deki ifadeye eşittir.

$$d_k^{IK} = \sqrt{(H_n^{IHA})^2 + (K_n^{IHA} - w_K)^2} \quad (3.17)$$

Sonuç olarak, engelleme olasılığı yardımıyla k . kullanıcısı için erişilebilir ortalama kanal kazancı ve veri hızı sırasıyla 3.18 ve 3.19'daki gibi elde edilir.

$$g_{k,n} = (1 - p_{k,n}) \frac{\xi}{(d_k^{IK})^2} + p_{k,n} g_{k,n}^{IRK} \quad (3.18)$$

$$r_{k,n} = c_{k,n} B \log_2 \left(1 + \frac{P g_{k,n}}{B \sigma^2} \right) \quad (3.19)$$

P , B ve σ sırasıyla İHA'nın sabit iletim gücünü, bant genişliğini ve gürültü varyansını belirtmektedir. $c_{k,n} = \{0, 1\}$ değerlerini almaktadır ve kullanıcı k 'nin hizmet alıp almadığını yani hizmet durumunu belirtmektedir.

3.3 Optimizasyon Problemi ve Kısıtlar

Tezin amacı İHA'nın hareket için harcadığı enerjiyi tüm zaman aralıkları için minimum hale getirmektedir. Bu sebeple $\mathbf{K} = \{K_n^{IHA}, n \in \mathcal{N}\}$, $\mathbf{H} = \{h_n^{IHA}, n \in \mathcal{N}\}$, $\mathbf{C} = \{c_{k,n}, n \in \mathcal{N}\}$, $\mathbf{T} = \{t_n^{IHA}, n \in \mathcal{N}\}$, $\Theta = \{\Theta_n, n \in \mathcal{N}\}$ olmak üzere optimizasyon problemi 3.20'deki gibi ifade edilir.

$$\mathcal{P} : \min_{\mathbf{K}, \mathbf{H}, \mathbf{C}, \mathbf{T}, \Theta} \sum_{n=1}^N e_n^{IHA} \quad (3.20)$$

Oluşturulan sistem bir zaman aralığında yalnızca bir İHA-kullanıcı bağlantısına izin vermektedir. Bu nedenle 3.21'de belirtilen koşul sağlanmalıdır.

$$\sum_{k=1}^K c_{k,n} \leq 1, \forall n \in \mathcal{N} \quad (3.21)$$

Bir diğer koşul ise veri miktarı ile ilgilidir. İHA'nın görev süresi boyunca kabul edilebilir bir enerji verimliliği sağlayarak D_k miktarında veriyi transfer etmesi gereklidir. Bu nedenle, 3.22'de belirtilen koşul sağlanmalıdır.

$$\sum_{n=1}^N t_n^{IHA} r_{k,n} \geq D_k, \forall k \in \mathcal{K} \quad (3.22)$$

Son olarak İHA'nın karakteristiği ile ilgili sınırlamalar bulunmaktadır. Bu sınırlamalar 3.23'te belirtilmiştir. Bunlar sırasıyla İHA'nın belirli bir yatay hızdan küçük olacağını, belirli bir düşey hızdan küçük olacağını, İHA'nın belirli bir yükseklik aralığında olacağını ve İHA'nın bir zaman aralığında belirli bir süre görev yapacağını

göstermektedir.

$$\begin{aligned}
v_n^y &\leq V_{\max}^y, \forall n \in \mathcal{N} \\
v_n^d &\leq V_{\max}^d, \forall n \in \mathcal{N} \\
h_{\min} &\leq H_n^{IHA} \leq h_{\max}, \forall n \in \mathcal{N} \\
t_{\min} &\leq t_n^{IHA} \leq t_{\max}, \forall n \in \mathcal{N}
\end{aligned} \tag{3.23}$$

İHA-RIS ve RIS-kullanıcı bağlantılarına ait kanal kazancı ifadelerinden dolayı $r_{n,k}$ oldukça karmaşık bir hale gelmektedir. Bu da \mathcal{P} fonksiyonunu karmaşık, çözülmesi zor ve konveks olmayan bir problem haline getirmektedir. Geleneksel çözüm yöntemlerinin aksine derin takviyeli öğrenme yoluyla çözüm \mathcal{P} fonksiyonun çözümünde hesaplama maliyetini düşürecektir. Bu nedenle \mathcal{P} 'yi çözmek için DDQN algoritmasından faydalanılmıştır. Bir ajan yardımıyla RIS ve İHA destekli telsiz haberleşme sistemine ait durumlar toplanır. Ödül değerine göre ortaya çıkan en iyi aksiyon belirlenir ve sistem üzerinde gerçekleştirilir. Öncelikle İHA'nın bulunduğu konum içinde olduğu zaman aralığı için durum olarak alınır. Derin sinir ağları (Deep Neural Networks, DNNs) öğrenme işlemini gerçekleştirir ve bir sonraki aksiyon olarak İHA'nın hareketini, uçuş süresini ve kullanıcının hizmet durumunu belirler. Belirlenen aksiyon gerçekleştirilir. Aynı zamanda, İHA-RIS-kullanıcı bağlantısı üzerinden kullanıcının aldığı işarete ait faz değerleri RIS'in kapalı form faz kayması çözümü için sıralanır. En büyük ödül değerine göre belirlenen RIS'e ait faz kayması değeri İHA ve kullanıcı arasındaki işaretin enerjisini artırmaktadır. Ek olarak, ödül değerine göre belirlenen aksiyonlar yardımıyla yapay sinir ağları eğitilmiş olmaktadır.

3.4 DDQN Algoritması

DDQN algoritması üç kısımda incelenebilir. Bunlar durum, aksiyon ve ödül parametrelerinin belirlenmesi, problem çözümü ve fay kaymalarıdır.

3.4.1 Durum, aksiyon ve ödül parametrelerinin belirlenmesi

DDQN algoritmasının görevi İHA'nın güzergahını, uçuş zamanını ve kullanıcının hizmet durumunu her bir n zaman aralığı için $a(n)$ aksiyonları olarak modellemektir. Bunun için, Q-değeri bir durumun aksiyon olarak seçilip seçilmeyeceğini belirlemek

için kullanılmaktadır. Seçilen durum $a(n)$ aksiyonu ve seçilmeyen durum $s(n)$ durumu olarak ele alınır. Herbir aksiyon için Q-değeri 3.24'teki gibi elde edilir.

$$Q(s(n), a(n)) = \mathbb{E} \left[\sum_{n'=n}^N \gamma r(s(n'), a(n')) | s(n), a(n) \right] \quad (3.24)$$

$Q(s(n), a(n))$ indirimli kümülatif ödülü, $\gamma \in (0, 1]$ indirim faktörünü belirtmektedir. Diğer yandan \mathcal{P} problemi için n . zaman aralığında $s(n), a(n)$ çiftine ait ödül değeri 3.25'teki gibi tanımlanır.

$$r(s(n), a(n)) = \sum_{k=1}^K \sum_{n'=1}^{n+1} \frac{t_n^{IHA}}{e_{n'}^{IHA}} - p_0 \quad (3.25)$$

3.25'te belirtilen ifade kısaca kullanıcılara ait toplam veri miktarının İHA'nın hareket enerjisine oranından p_0 ceza değerinin çıkarılması ile elde edilir. n . zaman aralığında transfer edilen veri ortalama transfer edilen veri miktarından küçükse yani $t_n^{IHA} r_{k,n} < \frac{D_k}{N}$ ise p_0 ceza değeri uygulanır. Ayrıca Q-öğrenme işlemi en yüksek ödül değerini verecek aksiyonu gerçekleştirecek şekilde yapılır ve 3.26'daki gibi ifade edilir. Bu ifade de optimal İHA güzergahı, uçuş zamanı ve kullanıcı hizmet durumu DDQN tarafından öğrenilir, $a(n)$ aksiyonu $s(n)$ durumuna göre en yüksek Q-değerine sahip olmuş olur.

$$\pi(s(n)) = \arg \max_{a(n)} Q(s(n), a(n)) \quad (3.26)$$

Oluşturulan sistemde n . zaman aralığında İHA'ya ait $s(n)$ durumu yatay ve düşey konuma bağlı olacak şekilde $s(n) = s_{IHA}(n) \in \mathcal{S} \triangleq \mathcal{K} \times \mathcal{H}$ olarak tanımlanabilir. Burada \mathcal{S} durum uzayını, $s_{IHA}(n) \in (K_n^{IHA}, H_n^{IHA}) \in \mathcal{K} \times \mathcal{H}$ İHA'nın konumunu belirtmektedir. \mathcal{A} ise aksiyon uzayını belirtmek üzere konum, hizmet durumu ve uçuş zamanına bağlı ifade edilir. n . zaman aralığında $a(n)$ aksiyonu ise $a(n) = (k_n, h_n, c_{k,n}, t_n^{IHA}) \in \mathcal{A} = \mathcal{K}_n \times \mathcal{H}_n \times \mathcal{C} \times \mathcal{T}$ şeklinde tanımlanır.

İHA, bir zaman aralığı boyunca yatay olarak konumunu değiştirirken yalnızca komşu hücrelere hareket edebilmektedir. Benzer şekilde, bir zaman aralığı boyunca düşey olarak olarak konumunu değiştirirken bir yükseklik kademesi hareket edebilmektedir. Bu sebeple, İHA'nın bir sonraki yani $n+1$. zaman aralığındaki yatay konumu 3.27'deki gibi ifade edilebilir.

$$K_{n+1}^{IHA} = K_n^{IHA} + k_n \quad (3.27)$$

\mathcal{K}_n , yatay aksiyon uzayı olmak üzere $k_n \in \mathcal{K}_n \triangleq \{(0, y_s), (0, -y_s), (x_s, 0), (-x_s, 0), (0, 0)\}$ olarak tanımlanır ve sırasıyla İHA'nın

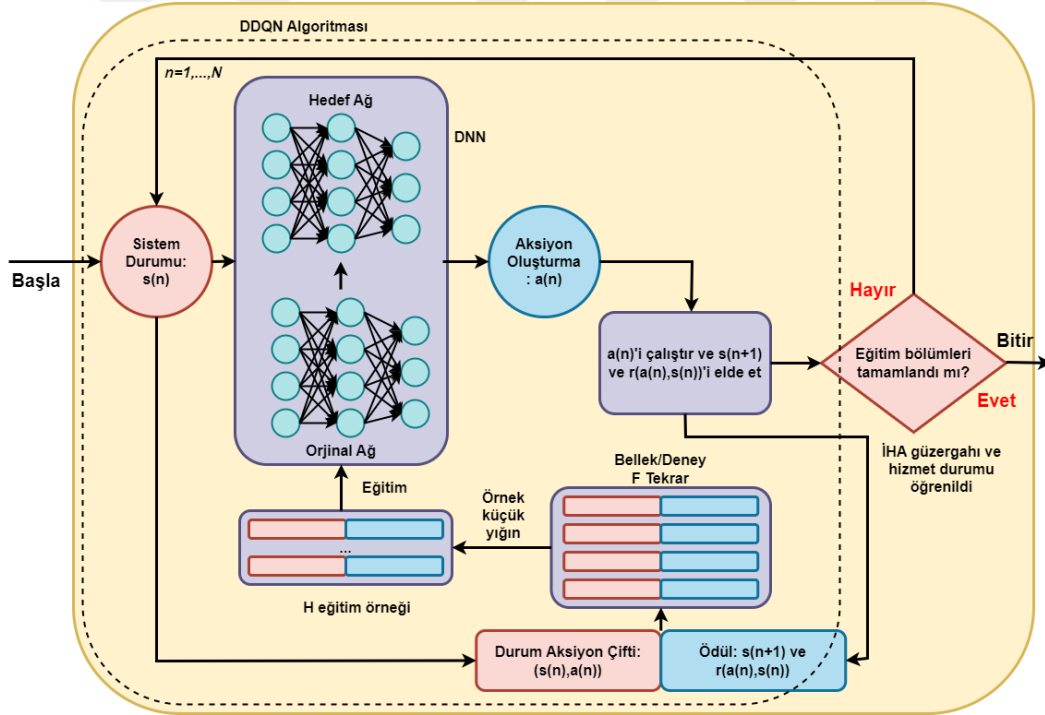
kuzey, güney, doğu, batı hareketlerini ve aynı yatay konumda kalmasını belirtir. Benzer şekilde bir sonraki zaman aralığında İHA'nın düşey konumu 3.28'deki gibi ifade edilebilir.

$$H_{n+1}^{IHA} = H_n^{IHA} + h_n \quad (3.28)$$

\mathcal{H}_n düşey aksiyon uzayı olmak üzere $h_n \in \mathcal{H}_n \triangleq \{h_s, -h_s, 0\}$ olarak tanımlanır ve sırasıyla İHA'nın yukarı, aşağı hareketlerini ve aynı düşey konumda kalmasını belirtir.

3.4.2 Problem çözümü

Aksiyon ve ödül ile ilgili parametreler elde edildikten sonra \mathcal{P} problemini çözmek için kullanılan DDQN algoritmasına ilişkin diyagram Şekil 3.2'de gösterilmiştir. DDQN algoritmasında [58]'de belirtilen DNN ağırlık vektörleri θ^Q , Q fonksiyonunun



Şekil 3.2 : DDQN algoritması diyagramı.

$(Q(s(n),a(n))|\theta^Q)$ kestirimini yapmak için kullanılmıştır. Q-öğrenme işleminde ağırlık vektörleri 3.29'da ifade edilen kayıp vektörleri yardımıyla eğitilir.

$$L(\theta^Q) = \mathbb{E} \left[y(n) - Q(s(n), a(n) | \theta^Q) \right] \quad (3.29)$$

3.29’da kullanılan $y(n)$, hedef değeri göstermektedir ve 3.30’daki gibi kestirimi yapılabilir.

$$y(n) = r(s(n), a(n)) + \gamma Q'(s(n+1), \arg \max_a Q(s(n+1) | \theta^Q) | \theta^{Q'}) \quad (3.30)$$

Hedef değeri $y(n)$ çift Q-öğrenme ile hesaplanmış oldu. Orijinal ağa ait Q-değerleri $Q(\cdot)$ ve hedef ağa ait Q-değerleri $Q'(\cdot)$ şeklinde tanımlandı.

DDQN algoritmasının çalışması keşif ve eğitim olmak üzere iki aşamaya ayrılabilir. Keşif aşamasında İHA’nın 3-boyutlu olarak konumlandırılması, uçuş süresi ve kullanıcı hizmet durumu elde edilir. Bu işlem ε olasılığıyla yani rastgele olarak ya da en yüksek ödül değerini verecek şekilde gerçekleştirilir. Eğer yatay konum k_n , yükseklik h_n ve n . zaman aralığında kalma süresi t_n^{IHA} belirlenen aralığın dışına çıkarsa ya da İHA’nın yatay veya düşey hızı sırasıyla V_{max}^y ve V_{max}^d hızlarını aşarsa $k_n = (0, 0)$ veya $h_n = 0$ değerine getirilir. Bu İHA’nın konumunu koruyacağı anlamına gelmektedir. Bu durumda $r(s(n), a(n))$ ödül değerine p cezası uygulanır. İHA’ya ait konum bilgisi ve kullanıcıya ait hizmet durumu elde edildikten sonra RIS’e ait faz bilgisi elde edilir. Sonrasında bir sonraki durum $s(n+1)$ ’e geçilir ve $r(s(n), a(n))$ ödül değeri güncellenir. Yeni oluşturulmuş örnek olan $s(n), a(n), r(\cdot), s(n+1)$ geçici bellek F ’e kaydedilir. Bununla birlikte keşif aşamasından eğitim aşamasına geçilir. Eğitim aşamasında F ’den elde edilen rastgele örnek küçük yığın H , $Q(\cdot)$ orijinal ağı ve $Q'(\cdot)$ hedef ağı eğitmek üzere kullanılır. Ayrıca elde edilen $y(j)$ hedef değeri orijinal ağa ait ağırlık vektörünü güncellemek için kullanılır. Bu aşamada orijinal ağa ait 3.29’da belirtilen şekilde hesaplanan kayıp fonksiyonunu minimize edecek şekilde gerçekleştirilir. Sonrasında hedef ağ $Q'(\cdot)$ ’a ait ağırlık parametreleri $\theta^{Q'}$ güncellenir. Son olarak eğitim bölümleri tamamlandığında ya da her kullanıcı için görev tamamlandığında DDQN algoritması sonlanır.

3.4.3 Faz kaymaları

RIS’e ait faz kaymaları elde edilirken her bir zaman aralığında veri oranının maksimum olması amaçlanır. n . zaman aralığında İHA’nın konumuna bağlı olarak hizmet alan k kullanıcısının veri oranı 3.31’de ifade edilen θ_{m_r, m_c}^n faz kayması uygulanarak

maksimize edilir.

$$\theta_{m_r, m_c}^n = \frac{2\pi}{\lambda} \left\{ d_r(m_r - 1) \phi_k^{RK} \psi_k^{RK} + d_c(m_c - 1) \phi_k^{RK} \psi_k^{RK} \right. \\ \left. + d_r(m_r - 1) \phi_n^{IR} \psi_n^{IR} + d_c(m_c - 1) \phi_n^{IR} \psi_n^{IR} \right. \quad (3.31)$$

Kullanıcı k 'ya gelen işarete uygulanan bu faz kayması değeri ve İHA konumu kullanılarak $g_{k,n}^{IRK}$ kanal kazancı ifadesi 3.32'deki gibi ifade edilir.

$$g_{k,n}^{IRK} = \alpha (g_k^{RK})^T \Theta_n g_n^{IR} = \alpha \frac{M_c M_r \xi}{d_n^{IR} d_k^{RK}} \quad (3.32)$$

Bu ifadeden hareketle RIS faz kayması sonrası maksimize edilen ortalama kanal kazancı ifadesi $g_{k,n}^{max}$ olur ve 3.33'deki gibi ifade edilir.

$$g_{k,n}^{max} = (1 - p_{k,n}) \frac{\xi}{(d_n^{IR})^2} + p_{k,n} \alpha \frac{M_c M_r \xi}{d_n^{IR} d_k^{RK}} \quad (3.33)$$

Ortalama veri hızı ifadesi de RIS faz kayması sonrası $r_{k,n}^{max}$ halini alır. Bu durumda, durum-aksiyon ikilisi $(s(n), a(n))$ n . zaman aralığında 3.34'deki gibi ifade edilir.

$$r(s(n), a(n)) = \sum_{k=1}^K \sum_{n'=1}^{n+1} \frac{t_{n'}^{IHA} r_{k,n'}^{max}}{e_{n'}^{IHA}} - p_0 \quad (3.34)$$

3.5 Kullanıcıların Konum Bilgisinin Değiştirilmesi

Oluşturulan sistem modelinde bu aşamaya kadar kullanıcılara ait koordinat bilgileri rastgele olarak atanıyor ve her bölümde bu sabit konum üzerinden İHA güzergahı oluşturuluyordu. Rastgele olarak belirlenen kullanıcı konumuna her bölümde rastgele yer değiştirme eklenerek hareketli kullanıcılar için sistemin davranışı incelenebilir. $w_K = [x_K, y_K]^T$ kullanıcı konumuna her bölümde rastgele yatay düzlemde $[\Delta_x, \Delta_y]$ konum değerleri eklenmektedir. Bu durumda her bölüm için ayrı kullanıcı konumları elde edilir. Bir sonraki yani $n + 1$. zaman aralığı için kullanıcı konumu $w_{K\Delta} = [x_{K\Delta}, y_{K\Delta}]^T$ olarak tanımlanabilir. Bu durumda RIS ile kullanıcı arasındaki 3.13'te tanımlanan uzaklık 3.35'teki halini alır.

$$d_k^{RK\Delta} = \sqrt{(z_R)^2 - (w_R - w_{K\Delta})^2} \quad (3.35)$$

3.14'te ifade edilen k . kullanıcıya olan ayrılış açısının kosinüsü, k . kullanıcıya olan ayrılış açısının sinüsü ve k . kullanıcıya olan düşey ayrılış açısının sinüsü hareket eden

kullanıcı için $n + 1$. zaman aralığında 3.36'daki gibi olur.

$$\begin{aligned}\phi_k^{RK\Delta} &= \frac{x_k - x_R}{d_k^{RK\Delta}} \\ \varphi_k^{RK\Delta} &= \frac{y_k - y_R}{d_k^{RK\Delta}} \\ \psi_k^{RK\Delta} &= \frac{z_R}{d_k^{RK\Delta}}\end{aligned}\quad (3.36)$$

Bu durumda hareketli kullanıcı için RIS ve k . kullanıcı arasındaki kanal kazancı ifadesi $n + 1$. zaman aralığı için 3.37'deki gibi ifade edilir.

$$\begin{aligned}g_k^{RK\Delta} &= \frac{\sqrt{\xi}}{d_k^{RK\Delta}} \left[1, e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} d_r \phi_k^{RK\Delta} \psi_k^{RK\Delta}}, \dots, e^{j\frac{2\pi}{\lambda} (M_r - 1) d_r \phi_k^{RK\Delta} \psi_k^{RK\Delta}} \right]^T \\ &\otimes \left[1, e^{-j\frac{2\pi}{\lambda} d_c \phi_k^{RK\Delta} \psi_k^{RK\Delta}}, \dots, e^{j\frac{2\pi}{\lambda} (M_c - 1) d_c \phi_k^{RK\Delta} \psi_k^{RK\Delta}} \right]^T\end{aligned}\quad (3.37)$$

$\Theta_{n+1} = \text{diag}(\theta_{n+1}) \in \mathbb{C}^{M_r M_c \times M_r M_c}$ RIS'e ait $n + 1$. zaman aralığında yansıma faz katsayı matrisini belirtir ve elemanlarını

$\theta_{n+1} = [e^{j\theta_{1,1}^{n+1}}, \dots, e^{j\theta_{m_r, m_c}^{n+1}}, \dots, e^{j\theta_{M_r, M_c}^{n+1}}]^T \in \mathbb{C}^{M_r M_c \times 1}$ olmak üzere faz kayma açıları oluşturur. Bu durumda hareketli k kullanıcısı için $n + 1$. zaman aralığında kanal kazancı ifadesi 3.38'deki gibi ifade edilebilir.

$$g_{k,n+1}^{IRK\Delta} = \alpha (g_k^{RK\Delta})^T \cdot \Theta_{n+1} \cdot (g_{n+1}^{IR}) \quad (3.38)$$

Görüş hattının olmadığı durum 3.16'da engellenme olasılığı üzerinden belirtilmişti. Hareketli kullanıcı için $n+1$. zaman aralığında engellenme olasılığı 3.39'daki gibi olur.

$$p_{k,n+1} = 1 - \frac{1}{1 + a \exp(-b(\arctan \frac{H_n^{IHA}}{d_k^{IK\Delta}}) - a)} \quad (3.39)$$

3.39'daki $d_k^{IK\Delta}$, $n + 1$. zaman aralığında İHA ve hareketli kullanıcı arasındaki uzaklık olmak üzere 3.40'taki gibi ifade edilir.

$$d_k^{IK\Delta} = \sqrt{(H_n^{IHA})^2 + (K_n^{IHA} - w_{K\Delta})^2} \quad (3.40)$$

Sonuç olarak, engelleme olasılığı yardımıyla hareketli k . kullanıcısı için erişilebilir ortalama kanal kazancı ve veri hızı sırasıyla 3.41 ve 3.42'deki gibi elde edilir.

$$g_{k,n+1} = (1 - p_{k,n+1}) \frac{\xi}{(d_k^{IK\Delta})^2} + p_{k,n+1} g_{k,n+1}^{IRK\Delta} \quad (3.41)$$

$$r_{k,n+1} = c_{k,n+1} B \log_2 \left(1 + \frac{P g_{k,n+1}}{B \sigma^2} \right) \quad (3.42)$$

$c_{k,n+1} = \{0, 1\}$ değerlerini almaktadır ve hareketli kullanıcı k 'nın $n + 1$. zaman aralığında hizmet durumunu belirtmektedir.

3.6 Performans Sonuçları

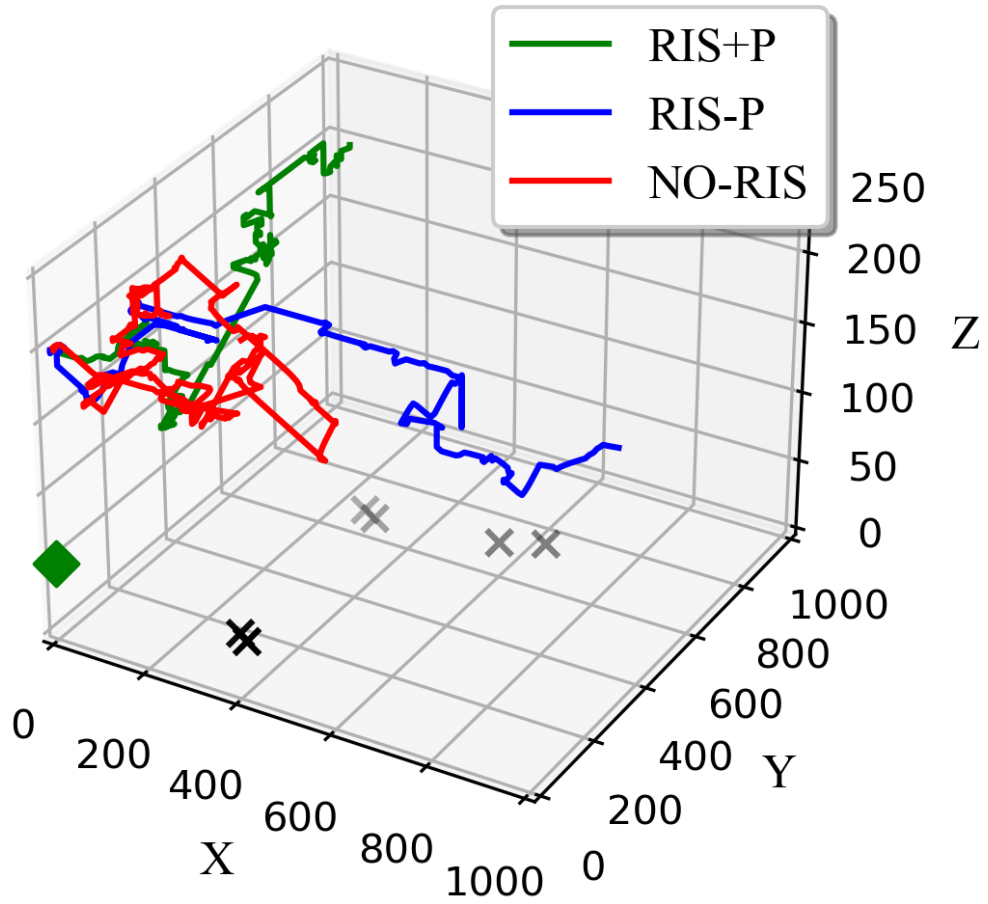
Bu bölümde RIS destekli İHA konumlandırma sisteminin performans analizi yapılacaktır. DDQN algoritmasının, oluşturulan sistemin performansına etkisi üç başlık altında karşılaştırılacaktır. İlk olarak RIS yokluğunda (NO-RIS) İHA konumlandırma sisteminin performansı incelenecektir. Sonrasında RIS varlığında ve faz optimizasyonu sağlanarak (RIS+P) performans sonuçları elde edilecektir. Son olarak ise RIS varlığında ancak faz optimizasyon işlemi gerçekleştirilmeden (RIS-P) sistemin performansı incelenecektir. Bu üç duruma ek olarak sistemin kullanıcı yer değiştirmesine duyarlılığını ölçmek adına sırasıyla sabit ve hareketli kullanıcıların sistem performansına etkisi gözlemlenecektir.

Oluşturulan sistemde kullanıcılar belirlenen alana rastgele olarak dağıtılmaktadır. Ek olarak kullanıcıların her bir zaman aralığında belirli bir aralıkta rastgele yer değiştirmeleri sağlanacaktır. İHA'nın ilk konumu $K_0^{IHA} = [0, 0]^T$, $H_0^{IHA} = 200m$ RIS'in yatay düzlemdeki konumu $w_R = [50, 50]^T m$ ve düşey düzlemdeki konumu $z_R = 50m$ olarak ayarlanmıştır. $F = 3200$ örnekten $H = 32$ eğitim örneği alınmaktadır. Simülasyon toplamda 394 saniyede sonlanmıştır. Yani 3 durum ve 60 bölüm için her bir zaman aralığında İHA'nın ortalama 2.18 saniye kaldığı yani belirlenen aralığa uygun çıktığı söylenebilir. Çizelge 3.1'de performans sonuçları elde edilirken kullanılan simülasyon parametreleri görülmektedir.

İHA güzergahı 3-boyutlu ve 2-boyutlu olarak elde edilmiştir. Güzergah RIS+P, RIS-P ve NO-RIS durumları için ayrı ayrı çizdirilmiştir. Sırasıyla Şekil 3.3, Şekil 3.4'te sabit kullanıcılar için 3-boyutlu ve 2-boyutlu İHA güzergahı görülmektedir. Benzer şekilde Şekil 3.5, Şekil 3.6'da hareketli kullanıcılar için 3-boyutlu ve 2-boyutlu İHA güzergahı görülmektedir.

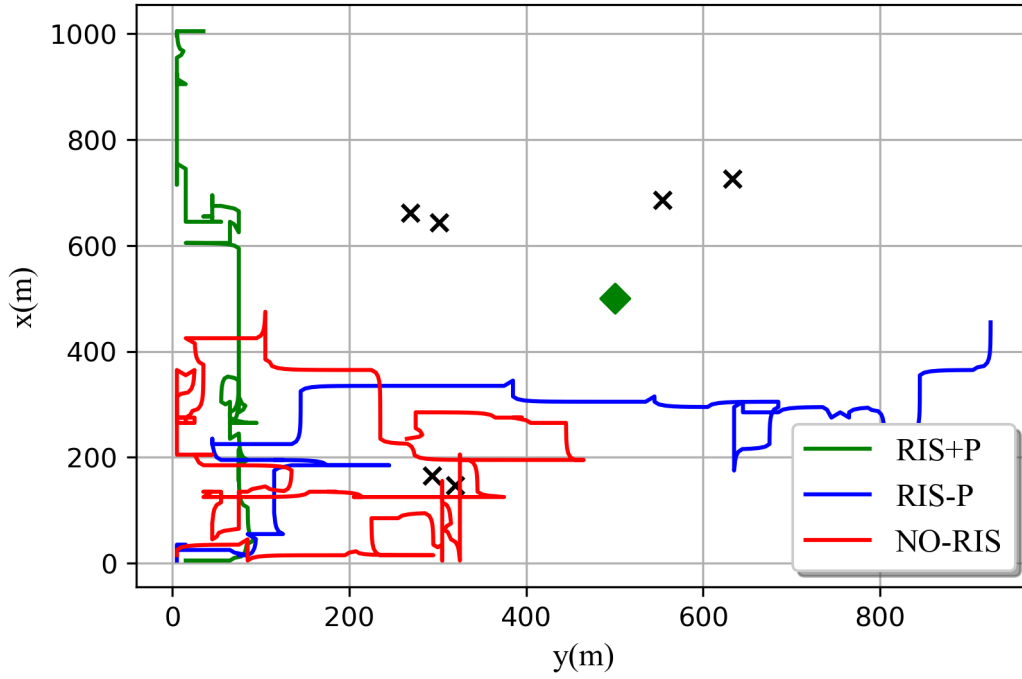
Çizelge 3.1 : Simülasyon parametreleri.

Parametreler	Değerler
Bant genişliği, B	2 MHz
İHA gücü, P	5 mW
$U_{cev}, v_0, d_0, s, \rho, G$	120, 4.3, 0.6, 0.005, 1.225, 0.503
V_{max}^y, V_{max}^d	10 m/s
K, D_k	6, 1024
t_{min}, t_{max}	1s, 3s
Gürültü yoğunluğu, σ	-169 dBm/Hz
$h_0^{IHA}, h_{min}, h_{max}$	100m, 30m, 100m
a, b	9.61, 0.16
Yer değiştirme	20-50 m
M, N, E	100, 600, 60



Şekil 3.3 : Sabit kullanıcılar için 3-boyutlu İHA güzergahı.

RIS+P sistemi, RIS-P ve NO-RIS sistemlerine göre daha az yol katettiğinden daha az hareket enerjisi harcayacaktır ve enerji verimliliği diğer iki sisteme göre daha



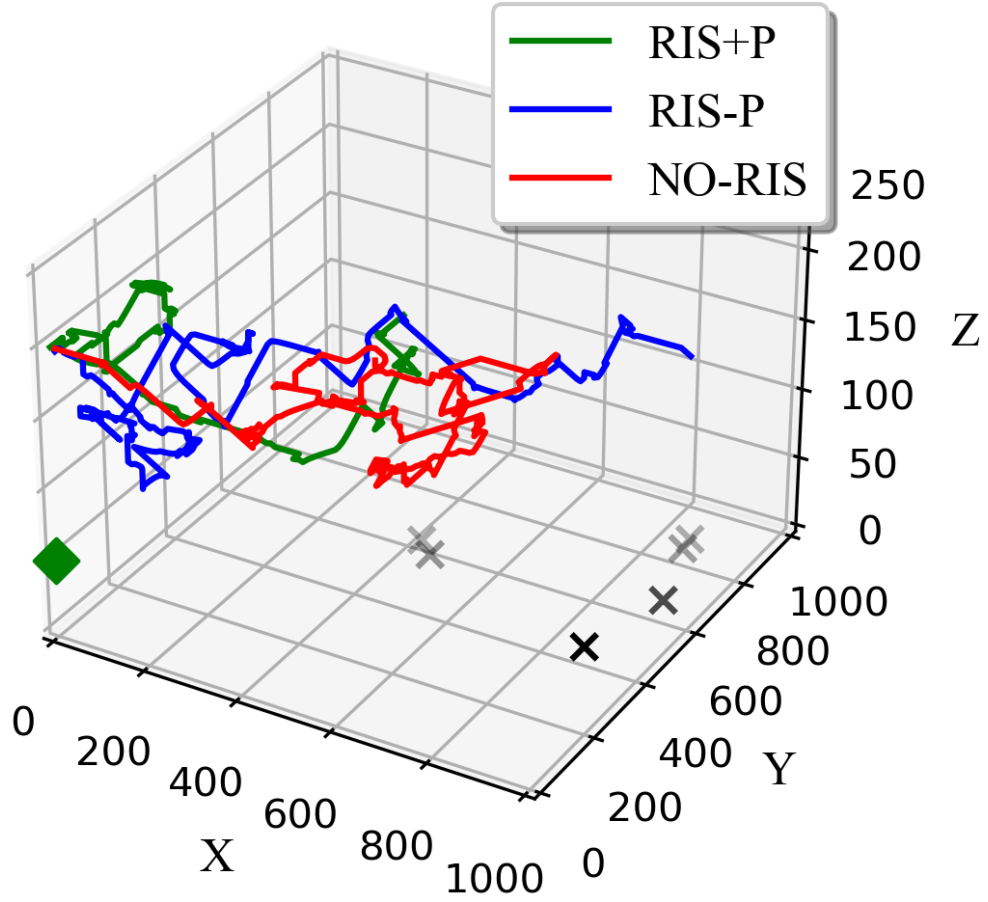
Şekil 3.4 : Sabit kullanıcılar için 2-boyutlu İHA güzergahı.

yüksek olacaktır. Ayrıca NO-RIS sisteminde İHA, kullanıcılara hizmet edebilmek için kullanıcılara daha çok yaklaşmak durumunda kalır. Bu da İHA'nın düşeyde izleyeceği yolu artırmaktadır. RIS+P ve RIS-P durumlarında ise İHA, RIS'e daha yakın konumlarda bulunmaktadır.

Sistemin enerji performansı üzerine etkisini göstermek amacıyla sabit kullanıcılar ve hareketli kullanıcılar için hareket enerjisi (kJ) ve enerji verimliliği (bits/J) birikimli dağılım fonksiyonu (CDF) yardımıyla incelenmiştir. Kullanıcıya uygulanan yer değişiminin sistemin enerji performansını düşürdüğü gözlemlenmektedir. Ayrıca RIS kullanımının sistemin enerji performansını iyileştirdiği görülmüştür. Sırasıyla Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 sabit ve hareketli kullanıcılar için hareket enerji performansını göstermektedir.

Benzer şekilde sırasıyla Şekil 3.9 ve Şekil 3.10 sabit ve hareketli kullanıcılar için enerji verimliliği performansını göstermektedir.

Çizelge 3.2'de sabit ve hareketli kullanıcılar ve RIS+P, RIS-P ve NO-RIS durumları için hareket enerjisi ve enerji verimliliği değerleri görülmektedir. Kullanıcıların belirli



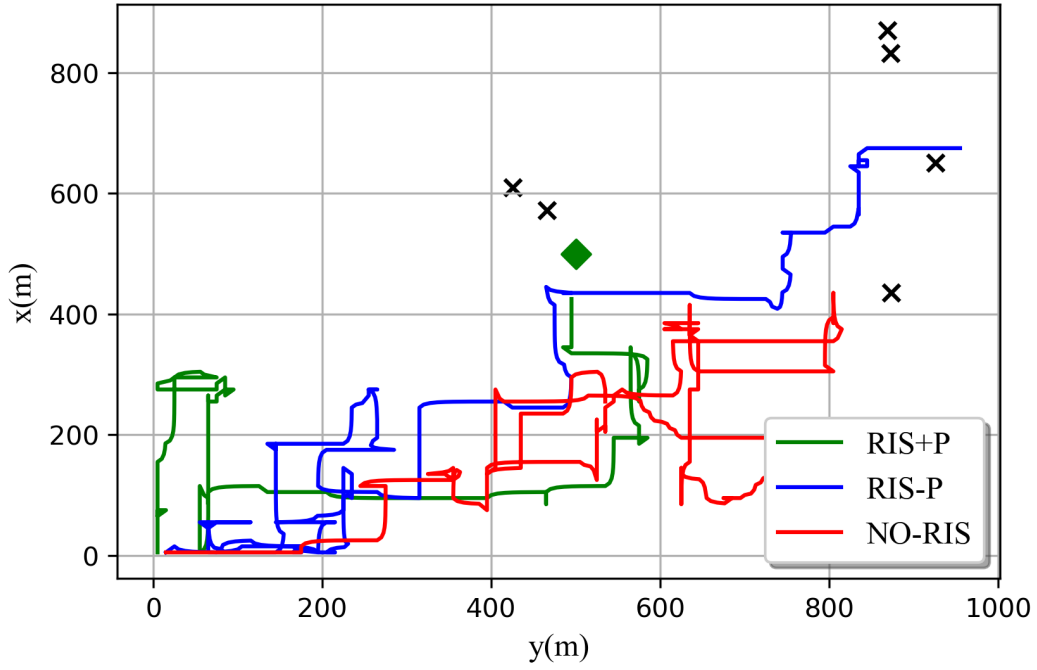
Şekil 3.5 : Hareketli kullanıcılar için 3-boyutlu İHA güzergahı.

miktarda yer değiştirmesine rağmen RIS+P sistemi RIS-P ve NO-RIS sistemine göre daha iyi enerji performansı göstermektedir.

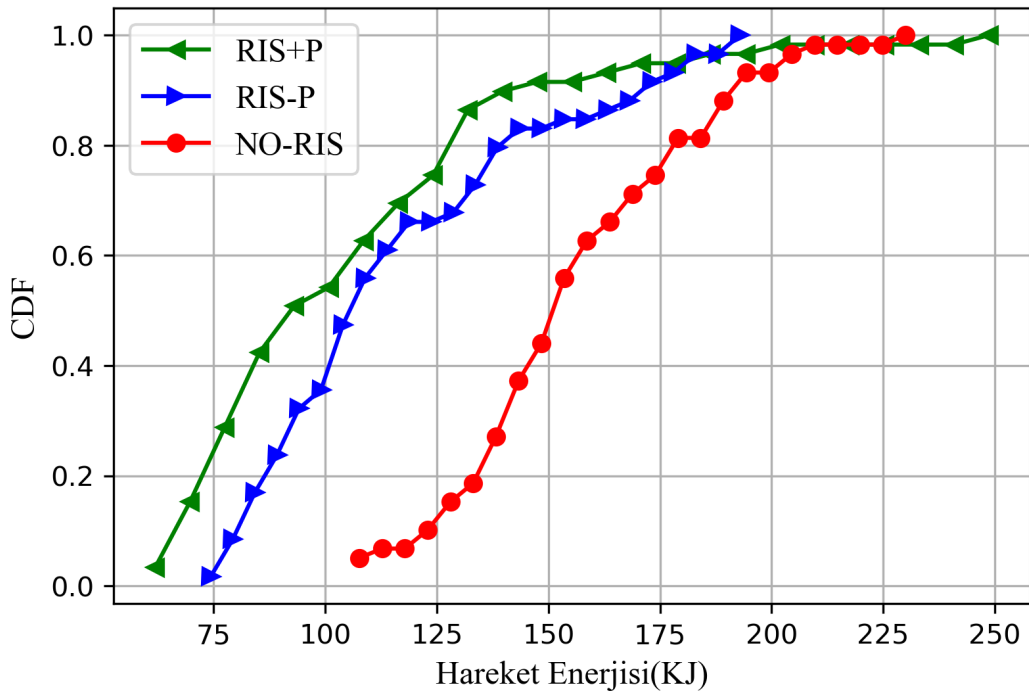
Çizelge 3.2 : Sabit ve hareketli kullanıcılar için RIS+P, RIS-P, NO-RIS hareket enerjisi ve enerji verimliliği değerleri.

Sabit Kullanıcılar	Hareket Enerjisi (kJ)	Enerji Verimliliği (bits/J)
RIS+P	108.2	97.6
RIS-P	118.3	89.6
NO-RIS	157.5	52.9
Hareketli Kullanıcılar		
RIS+P	131.1	75.4
RIS-P	142.8	70.5
NO-RIS	195.2	47.7

Sistemin enerji performansı incelendikten sonra veri hızı(kbps) ve throughput (kbs) performansı incelenmiştir. Sırasıyla Şekil 3.11 ve Şekil 3.12 veri hızı performansı

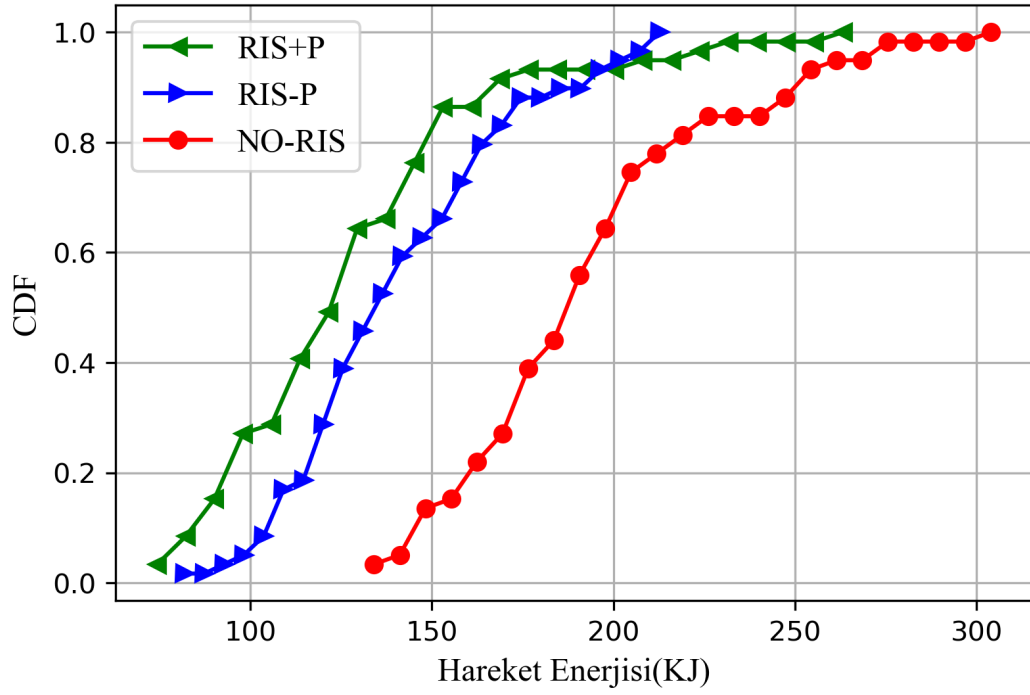


Şekil 3.6 : Hareketli kullanıcılar için 2-boyutlu İHA güzergahı.

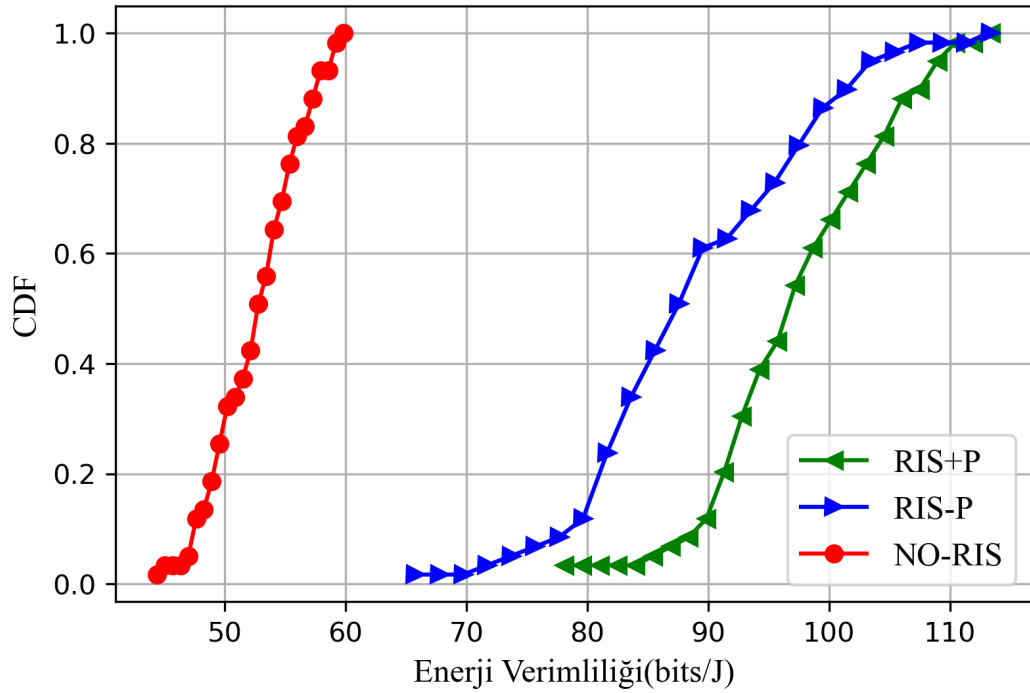


Şekil 3.7 : Sabit kullanıcılar için hareket enerjisi performansı.

CDF üzerinden gösterilmiştir. Benzer biçimde, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te throughput performansı gösterilmiştir. RIS destekli ve faz optimizasyonu sağlanan sistemin sabit ve hareketli kullanıcıların olduğu senaryolarda diğer sistemlere göre daha iyi performans verdiği görülmüştür.

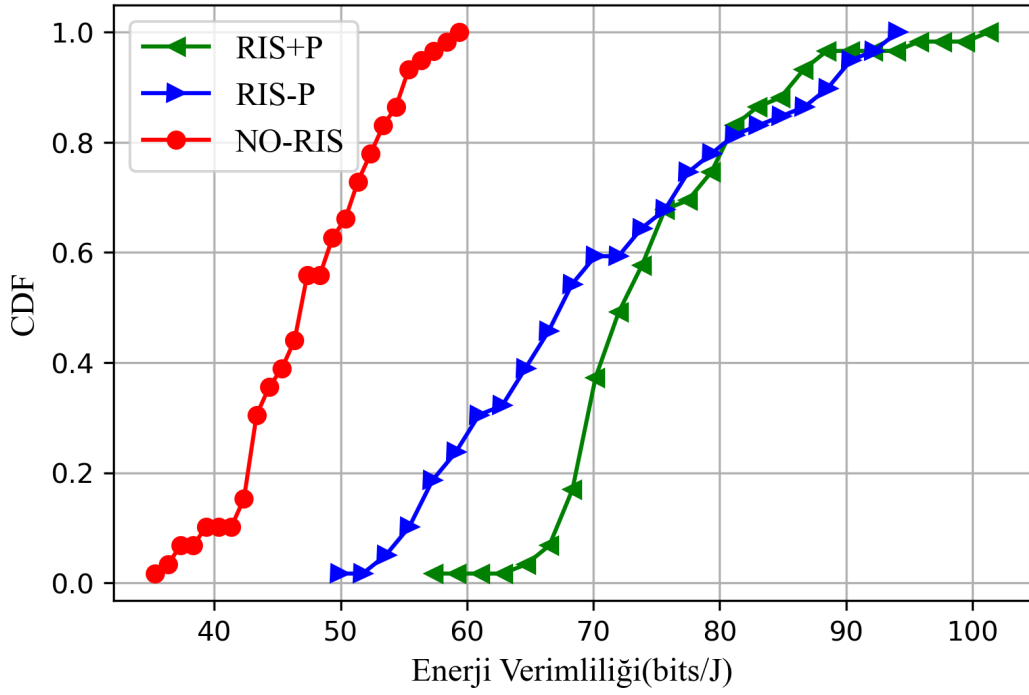


Şekil 3.8 : Hareketli kullanıcılar için hareket enerjisi performansı.

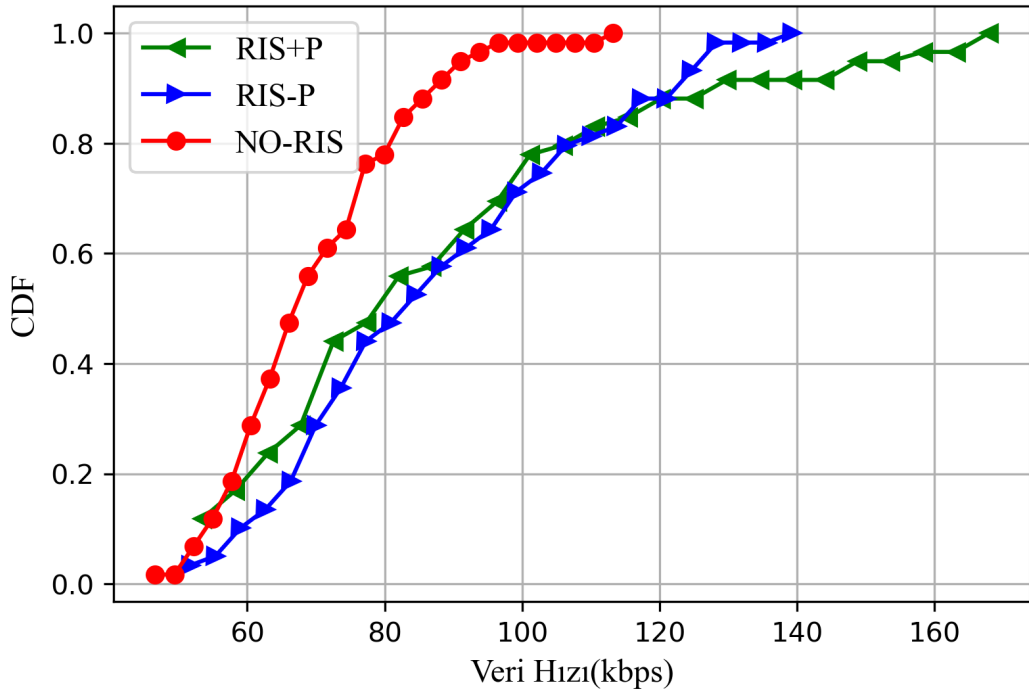


Şekil 3.9 : Sabit kullanıcılar için enerji verimliliği performansı.

Çizelge 3.3’de sabit ve hareketli kullanıcılar ve RIS+P, RIS-P ve NO-RIS durumları için ortalama veri hızı ve throughput değerleri görülmektedir. Kullanıcıların belirli miktarda yer değiştirmesine rağmen RIS+P ve RIS-P sistemi NO-RIS

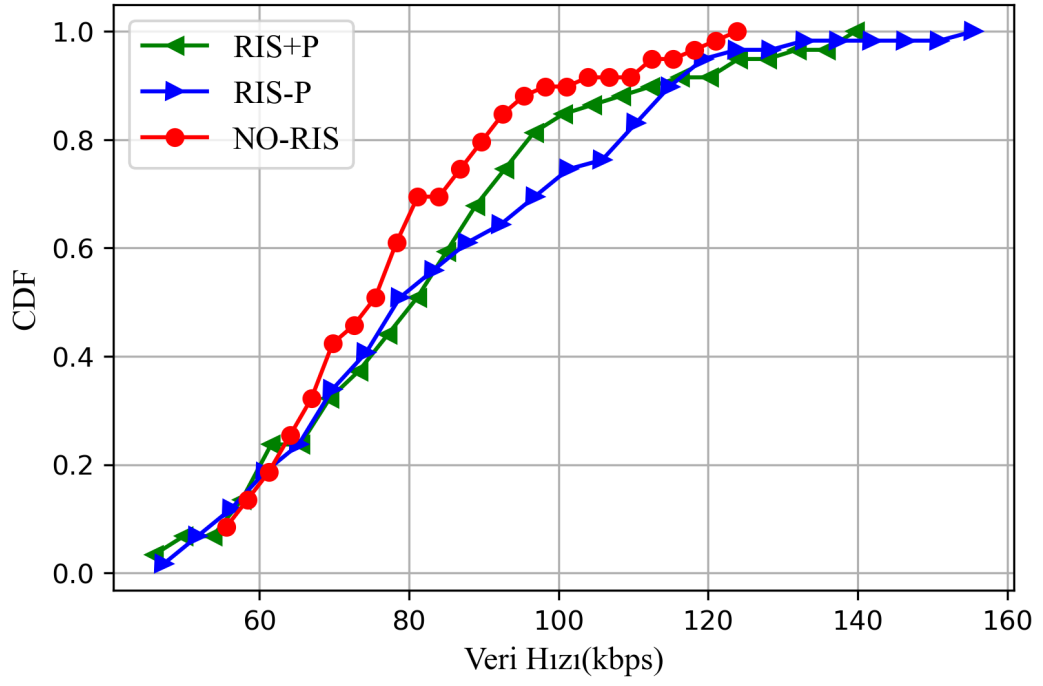


Şekil 3.10 : Hareketli kullanıcılar için enerji verimliliği performansı.

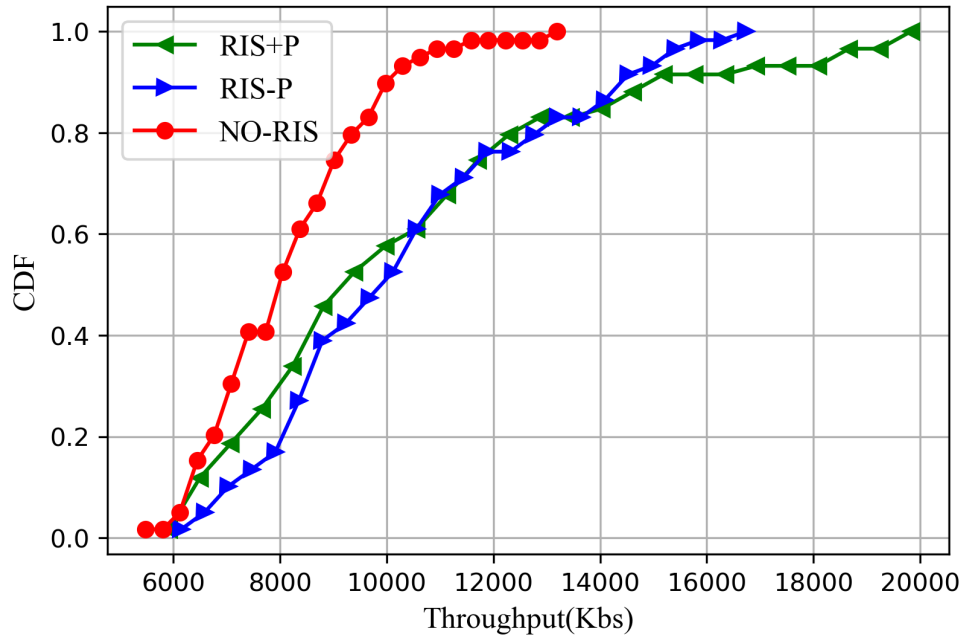


Şekil 3.11 : Sabit kullanıcılar için veri hızı performansı.

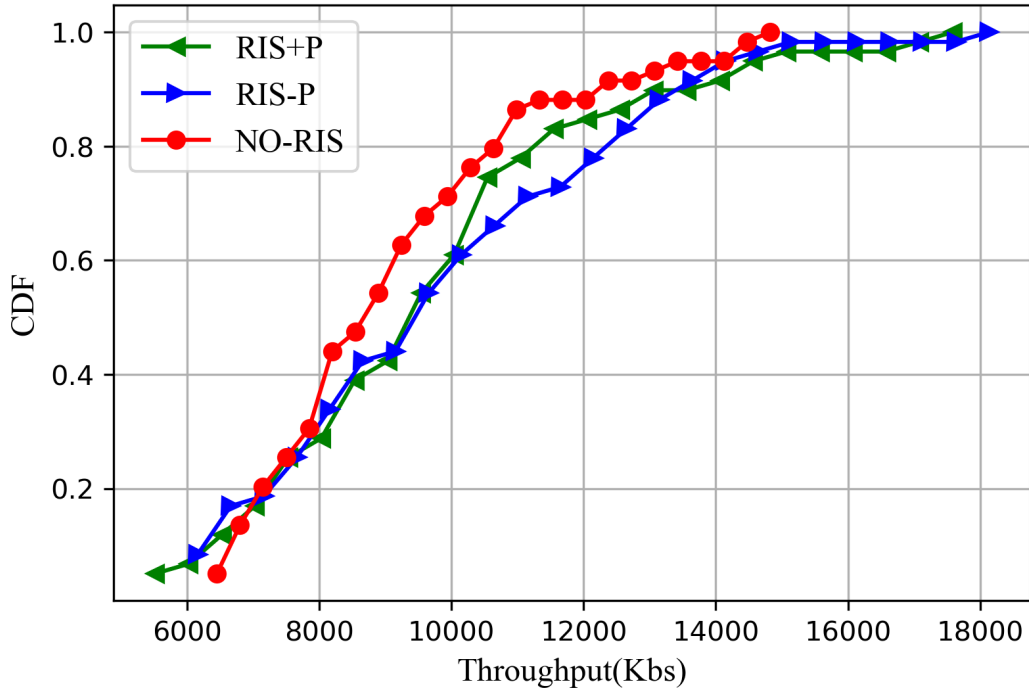
sistemine göre daha iyi veri hızı ve throughput performansı göstermektedir.



Şekil 3.12 : Hareketli kullanıcılar için veri hızı performansı.



Şekil 3.13 : Sabit kullanıcılar için throughput performansı.



Şekil 3.14 : Hareketli kullanıcılar için throughput performansı.

Çizelge 3.3 : Sabit ve hareketli kullanıcılar için RIS+P, RIS-P, NO-RIS ortalama veri hızı ve throughput değerleri.

Sabit Kullanıcılar	Ortalama Veri Hızı (kbps)	Ortalama Throughput (kbs)
RIS+P	89	10530
RIS-P	88.7	10514
NO-RIS	71	8313
Hareketli Kullanıcılar		
RIS+P	83.7	9832
RIS-P	86.8	10058
NO-RIS	78.6	9289

3.6.1 Referans çalışma ve tez çalışmasına ait hareket enerjisi performansı karşılaştırması

Referans [63] çalışması ile bu tezde yapılan çalışma enerji performansı açısından karşılaştırılırken nümerik değerler birebir karşılaştırılmamaktadır. Çünkü İHA'nın hareket enerjisinin optimizasyonu sağlanırken kullanıcıların konumlarına göre İHA'nın konumlandırılması elde edilir. Sistem modeli gereği kullanıcılar rastgele bir şekilde konumlandırılmaktadır. Referans çalışmada kullanıcıların konumları tam olarak belli olmadığından yani rastgele belirlendiğinden o çalışmaya ilişkin

sistemde kullanılan kullanıcı konumları aynı olarak elde edilememektedir. Bu sebeple sistem her gerçekleştirildiğinde enerji performansı değişiklik göstermektedir. Ancak, bir çıkarımda bulunabilmek adına simülasyon parametreleri aynı kalmak koşulu ile birbirine yakın sonuçlar elde edilebilir. Çizelge 3.4'te referans çalışma [63] ve bu çalışmaya ilişkin hareket enerjisi değerleri karşılaştırılması görülmektedir.

Çizelge 3.4 : Referans çalışma ve tez çalışması hareket enerjisi (kJ) karşılaştırması.

Konfigürasyon	Referans çalışma	Tez çalışması
RIS+P	84.06	108.2
RIS-P	93.77	118.3
NO-RIS	86.28	157.5

Sonuçlar karşılaştırıldığında kullanıcı konumunun hareket enerjisi performansında oldukça etkili görülmektedir. Referans çalışmada kullanıcı konumları birbirine yakın şekilde dağılım göstermiştir. Bu çalışmada ise kullanıcı konumları daha geniş bir aralıkta dağılım göstermektedir. Kullanıcıların geniş bir alana yayılması durumunda RIS'in hareket enerjisini önemli bir ölçüde düşürdüğü söylenebilir.



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde, RIS destekli telsiz haberleşme sistemi ve bu sistemin İHA konumlandırma uygulamalarında kullanımı sabit ve hareketli kullanıcılar için güzergah ve RIS faz kayma optimizasyon problemi üzerinden incelenmiştir. İlk olarak RIS, İHA üzerine entegre biçimde düşünülmüştür. Nakagami-m sönümlenme ve ters Gamma gölgeleme etkisi altında kesinti olasılığı hesaplanarak RIS'in telsiz haberleşme uygulamalarında kullanılabilirliği test edilmiştir.

RIS üzerinde bulunan yansıtıcı eleman sayısının kesinti olasılığına etkisi incelenerek yansıtıcı yüzey boyutunun önemi gözlemlenmiştir. Örneğin -2.5 dB verici SNR değeri için $N = 8$ yansıtıcı eleman sayısında kesinti olasılığı değeri 3.7×10^{-1} olarak hesaplanırken $N = 16$ yansıtıcı eleman sayısında kesinti olasılığı değeri 1.6×10^{-3} olarak hesaplanmıştır.

Bir diğer çalışmada gerçek haberleşme ortamı göz önünde bulundurularak sönümlenme ve gölgeleme etkisi varlığında sistemin kesinti olasılığı hesaplanmıştır. Nakagami-m sönümlenme ve ters Gamma gölgeleme etkisinin incelenmesi için bu modellere ait biçim parametreleri değiştirilmiştir. $m = 1, 1.5, 2$ ve $\alpha = 2, 2.5, 3$ değerleri için kesinti olasılığı hesaplanmıştır. Sönümlenme ve gölgeleme etkisinin kanal performansını düşürdüğü ve kesinti olasılığı üzerinde artırıcı etki yaptığı görülmüştür. Bu sonuçlar göz önünde bulundurularak RIS teknolojisinin İHA konumlandırma ve güzergah oluşturma uygulamalarında kullanılabilirliği üzerinde durulmuştur.

Tezin ana amacı hareketli kullanıcıların olduğu sistem modelinde İHA'nın RIS yardımıyla düşük enerji harcayarak konumlandırılmasıdır. Sabit ve hareketli kullanıcılar için ayrı ayrı RIS bulunduran ve bulundurmeyen telsiz haberleşme sistemleri üzerinde İHA güzergah optimizasyonu üzerine çalışılmıştır. Ek olarak RIS varlığında faz optimizasyonu sağlanması durumunda performans analizi gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak sabit ve hareketli kullanıcılar için RIS+P, RIS-P ve NO-RIS senaryoları için 3-boyutlu güzergah oluşturulmuştur. Bu güzergah sistemin enerji performansı üzerinde direkt olarak etkilidir. Hareketli kullanıcıların olduğu senaryoda sistem performansında düşme görülse de RIS+P ve RIS-P senaryolarının NO-RIS senaryosuna göre enerji performansının ciddi biçimde artırdığı ve enerji verimliliği sağladığı görülmüştür.

Benzer şekilde sistemin ortalama veri hızı ve throughput performansları sabit ve hareketli kullanıcılar için ayrı ayrı incelenmiştir. RIS'in kullanıldığı durumda yine performans iyileşmesi gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak bu tezde yeni nesil haberleşme çalışmalarında kendine yer bulan RIS teknolojisinin İHA konumlandırma uygulamalarında etkinliği incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, RIS destekli İHA konumlandırma uygulamalarının hem sabit hem de hareketli kullanıcılar için enerji performansı açısından avantajlı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, gelecekte İHA konumlandırma ve güzergah oluşturma uygulamalarında RIS'in kullanılacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **URL-1.** <<https://insidetelecom.com/hibernating-5g-stations-in-china-to-save-energy/>>, erişim tarihi: 14.12.2022.
- [2] **Liu, R., Wu, Q., Di Renzo, M. ve Yuan, Y.** (2022). A Path to Smart Radio Environments: An Industrial Viewpoint on Reconfigurable Intelligent Surfaces, *IEEE Wireless Communications*, 29(1), 202–208.
- [3] **Di Renzo, M., Zappone, A., Debbah, M., Alouini, M.S., Yuen, C., de Rosny, J. ve Tretyakov, S.** (2020). Smart Radio Environments Empowered by Reconfigurable Intelligent Surfaces: How It Works, State of Research, and The Road Ahead, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38(11), 2450–2525.
- [4] **Tang, W., Dai, J.Y., Chen, M.Z., Wong, K.K., Li, X., Zhao, X., Jin, S., Cheng, Q. ve Cui, T.J.** (2020). MIMO Transmission Through Reconfigurable Intelligent Surface: System Design, Analysis, and Implementation, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38(11), 2683–2699.
- [5] **Wu, Q. ve Zhang, R.** (2020). Beamforming Optimization for Wireless Network Aided by Intelligent Reflecting Surface With Discrete Phase Shifts, *IEEE Transactions on Communications*, 68(3), 1838–1851.
- [6] **Pradhan, C., Li, A., Song, L., Vucetic, B. ve Li, Y.** (2020). Hybrid Precoding Design for Reconfigurable Intelligent Surface Aided mmWave Communication Systems, *IEEE Wireless Communications Letters*, 9(7), 1041–1045.
- [7] **Nadeem, Q.U.A., Kammoun, A., Chaaban, A., Debbah, M. ve Alouini, M.S.** (2020). Asymptotic Max-Min SINR Analysis of Reconfigurable Intelligent Surface Assisted MISO Systems, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 19(12), 7748–7764.
- [8] **Daniels, R.C., Murdock, J.N., Rappaport, T.S. ve Heath, R.W.** (2010). 60 GHz Wireless: Up Close and Personal, *IEEE Microwave Magazine*, 11(7), 44–50.
- [9] **Yang, L.L.** (2008). 60GHz: opportunity for gigabit WPAN and WLAN convergence, *Comput. Commun. Rev.*, 39, 56–61.
- [10] **Maltsev, A., Maslennikov, R., Sevastyanov, A., Lomayev, A. ve Khoryaev, A.** (2010). Statistical channel model for 60 GHz WLAN systems in

conference room environment, *Proceedings of the Fourth European Conference on Antennas and Propagation*, s.1–5.

- [11] **Perović, N.S., Renzo, M.D. ve Flanagan, M.F.** (2020). Channel Capacity Optimization Using Reconfigurable Intelligent Surfaces in Indoor mmWave Environments, *ICC 2020 - 2020 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, s.1–7.
- [12] **Tan, X., Sun, Z., Koutsonikolas, D. ve Jornet, J.M.** (2018). Enabling Indoor Mobile Millimeter-wave Networks Based on Smart Reflect-arrays, *IEEE INFOCOM 2018 - IEEE Conference on Computer Communications*, s.270–278.
- [13] **He, J., Wymeersch, H., Kong, L., Silvén, O. ve Juntti, M.** (2020). Large Intelligent Surface for Positioning in Millimeter Wave MIMO Systems, *2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring)*, s.1–5.
- [14] **Wang, P., Fang, J., Yuan, X., Chen, Z. ve Li, H.** (2020). Intelligent Reflecting Surface-Assisted Millimeter Wave Communications: Joint Active and Passive Precoding Design, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(12), 14960–14973.
- [15] **Chen, G., Tang, J. ve Coon, J.P.** (2018). Optimal Routing for Multihop Social-Based D2D Communications in the Internet of Things, *IEEE Internet of Things Journal*, 5(3), 1880–1889.
- [16] **Krikidis, I., Timotheou, S., Nikolaou, S., Zheng, G., Ng, D.W.K. ve Schober, R.** (2014). Simultaneous wireless information and power transfer in modern communication systems, *IEEE Communications Magazine*, 52(11), 104–110.
- [17] **Zhou, X., Zhang, R. ve Ho, C.K.** (2013). Wireless Information and Power Transfer: Architecture Design and Rate-Energy Tradeoff, *IEEE Transactions on Communications*, 61(11), 4754–4767.
- [18] **Liu, L., Zhang, R. ve Chua, K.C.** (2013). Wireless Information and Power Transfer: A Dynamic Power Splitting Approach, *IEEE Transactions on Communications*, 61(9), 3990–4001.
- [19] **Zhang, R. ve Ho, C.K.** (2013). MIMO Broadcasting for Simultaneous Wireless Information and Power Transfer, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 12(5), 1989–2001.
- [20] **Thien, H.T., Tuan, P.V. ve Koo, I.** (2022). A Secure-Transmission Maximization Scheme for SWIPT Systems Assisted by an Intelligent Reflecting Surface and Deep Learning, *IEEE Access*, 10, 31851–31867.
- [21] **Cui, M., Zhang, G. ve Zhang, R.** (2019). Secure Wireless Communication via Intelligent Reflecting Surface, *IEEE Wireless Communications Letters*, 8(5), 1410–1414.

- [22] **Feng, B., Wu, Y. ve Zheng, M.** (2019). Secure Transmission Strategy for Intelligent Reflecting Surface Enhanced Wireless System, *2019 11th International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)*, s.1–6.
- [23] **Chen, J., Liang, Y.C., Pei, Y. ve Guo, H.** (2019). Intelligent Reflecting Surface: A Programmable Wireless Environment for Physical Layer Security, *IEEE Access*, 7, 82599–82612.
- [24] **Yu, X., Xu, D. ve Schober, R.** (2019). Enabling Secure Wireless Communications via Intelligent Reflecting Surfaces, *2019 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, s.1–6.
- [25] **Yang, L., Yang, J., Xie, W., Hasna, M.O., Tsiftsis, T. ve Renzo, M.D.** (2020). Secrecy Performance Analysis of RIS-Aided Wireless Communication Systems, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(10), 12296–12300.
- [26] **Li, Z., Chen, M., Yang, Z., Zhao, J., Wang, Y., Shi, J. ve Huang, C.** (2021). *Energy Efficient Reconfigurable Intelligent Surface Enabled Mobile Edge Computing Networks with NOMA*, <https://arxiv.org/abs/2105.00093>.
- [27] **Li, H., Shou, G., Hu, Y. ve Guo, Z.** (2016). Mobile Edge Computing: Progress and Challenges, *2016 4th IEEE International Conference on Mobile Cloud Computing, Services, and Engineering (MobileCloud)*, s.83–84.
- [28] **Huang, C., Hu, S., Alexandropoulos, G.C., Zappone, A., Yuen, C., Zhang, R., Renzo, M.D. ve Debbah, M.** (2020). Holographic MIMO Surfaces for 6G Wireless Networks: Opportunities, Challenges, and Trends, *IEEE Wireless Communications*, 27(5), 118–125.
- [29] **Bai, T., Pan, C., Deng, Y., El Kashlan, M., Nallanathan, A. ve Hanzo, L.** (2019). *Latency Minimization for Intelligent Reflecting Surface Aided Mobile Edge Computing*, <https://arxiv.org/abs/1910.07990>.
- [30] **Bai, T., Pan, C., Ren, H., Deng, Y., El Kashlan, M. ve Nallanathan, A.** (2021). Resource Allocation for Intelligent Reflecting Surface Aided Wireless Powered Mobile Edge Computing in OFDM Systems, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 20(8), 5389–5407.
- [31] **Zhao, G., Chen, S., Qi, L., Zhao, L. ve Hanzo, L.** (2019). Mobile-Traffic-Aware Offloading for Energy- and Spectral-Efficient Large-Scale D2D-Enabled Cellular Networks, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18(6), 3251–3264.
- [32] **Song, L., Niyato, D., Han, Z. ve Hossain, E.** (2015). *Wireless Device-to-Device Communications and Networks*, Cambridge University Press.

- [33] **Choi, K.W. ve Han, Z.** (2015). Device-to-Device Discovery for Proximity-Based Service in LTE-Advanced System, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 33(1), 55–66.
- [34] **Gu, Y., Zhang, Y., Pan, M. ve Han, Z.** (2014). Cheating in matching of device to device pairs in cellular networks, *2014 IEEE Global Communications Conference*, s.4910–4915.
- [35] **Chen, Y., Ai, B., Zhang, H., Niu, Y., Song, L., Han, Z. ve Vincent Poor, H.** (2021). Reconfigurable Intelligent Surface Assisted Device-to-Device Communications, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 20(5), 2792–2804.
- [36] **Yang, L., Meng, F., Zhang, J., Hasna, M.O. ve Renzo, M.D.** (2020). On the Performance of RIS-Assisted Dual-Hop UAV Communication Systems, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(9), 10385–10390.
- [37] **Yang, L., Chen, J., Hasna, M.O. ve Yang, H.C.** (2018). Outage Performance of UAV-Assisted Relaying Systems With RF Energy Harvesting, *IEEE Communications Letters*, 22(12), 2471–2474.
- [38] **Ye, J., Zhang, C., Lei, H., Pan, G. ve Ding, Z.** (2019). Secure UAV-to-UAV Systems With Spatially Random UAVs, *IEEE Wireless Communications Letters*, 8(2), 564–567.
- [39] **Lei, H., Wang, D., Park, K.H., Ansari, I.S., Pan, G. ve Alouini, M.S.** (2019). On Secure UAV Communication Systems with Randomly Located Eavesdroppers, *2019 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC)*, s.201–206.
- [40] **Zeng, S., Zhang, H., Di, B., Tan, Y., Han, Z., Poor, H.V. ve Song, L.** (2021). *Reconfigurable Intelligent Surfaces in 6G: Reflective, Transmissive, or Both?*, <https://arxiv.org/abs/2102.06910>.
- [41] **Zhang, H., Di, B., Bian, K., Han, Z., Poor, H.V. ve Song, L.** (2022). Toward Ubiquitous Sensing and Localization With Reconfigurable Intelligent Surfaces, *Proceedings of the IEEE*, 110(9), 1401–1422.
- [42] **Zhang, S., Zhang, H., Di, B., Tan, Y., Di Renzo, M., Han, Z., Vincent Poor, H. ve Song, L.** (2022). Intelligent Omni-Surfaces: Ubiquitous Wireless Transmission by Reflective-Refractive Metasurfaces, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 21(1), 219–233.
- [43] **Akdeniz, M.R., Liu, Y., Samimi, M.K., Sun, S., Rangan, S., Rappaport, T.S. ve Erkip, E.** (2014). Millimeter Wave Channel Modeling and Cellular Capacity Evaluation, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 32(6), 1164–1179.
- [44] **Griffin, J.D. ve Durgin, G.D.** (2008). Gains For RF Tags Using Multiple Antennas, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 56(2), 563–570.

- [45] **Ayach, O.E., Rajagopal, S., Abu-Surra, S., Pi, Z. ve Heath, R.W.** (2014). Spatially Sparse Precoding in Millimeter Wave MIMO Systems, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 13(3), 1499–1513.
- [46] **ElMossallamy, M.A., Zhang, H., Song, L., Seddik, K.G., Han, Z. ve Li, G.Y.** (2020). Reconfigurable Intelligent Surfaces for Wireless Communications: Principles, Challenges, and Opportunities, *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 6(3), 990–1002.
- [47] **Perović, N.S., Renzo, M.D. ve Flanagan, M.F.** (2020). Channel Capacity Optimization Using Reconfigurable Intelligent Surfaces in Indoor mmWave Environments, *ICC 2020 - 2020 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, s.1–7.
- [48] **Mohamed, E.M., Hashima, S. ve Hatano, K.** (2022). Energy Aware Multiarmed Bandit for Millimeter Wave-Based UAV Mounted RIS Networks, *IEEE Wireless Communications Letters*, 11(6), 1293–1297.
- [49] **Ramírez-Espinosa, P. ve López-Martínez, F.J.** (2021). Composite Fading Models Based on Inverse Gamma Shadowing: Theory and Validation, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 20(8), 5034–5045.
- [50] **Prabhu, G. ve Shankar, P.** (2002). Simulation of flat fading using MATLAB for classroom instruction, *IEEE Transactions on Education*, 45(1), 19–25.
- [51] **Björnson, E., Özdogan, ve Larsson, E.G.** (2020). Intelligent Reflecting Surface Versus Decode-and-Forward: How Large Surfaces are Needed to Beat Relaying?, *IEEE Wireless Communications Letters*, 9(2), 244–248.
- [52] **Peebles** (2022). Probability, Random Variables, And Random Signal Principles, Mc Graw Hill.
- [53] **Trigui, I., Ajib, W. ve Zhu, W.P.** (2020). A Comprehensive Study of Reconfigurable Intelligent Surfaces in Generalized Fading, <https://arxiv.org/abs/2004.02922>.
- [54] **Dhaka, A., Bhaskar, V., Chauhan, S. ve Nandal, A.** (2021). Analysing Outage Probability and Diversity for Matrix Based Shadowed Attenuation in Multipath Fading Environment, *Wireless Personal Communications*, 117, 1–18.
- [55] **Zeng, Y., Zhang, R. ve Lim, T.J.** (2016). Wireless communications with unmanned aerial vehicles: opportunities and challenges, *IEEE Commun. Mag.*, 54(5), 36–42.
- [56] **Bor-Yaliniz, R.I., El-Keyi, A. ve Yanikomeroglu, H.** (2016). Efficient 3-D placement of an aerial base station in next generation cellular networks, *2016 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, IEEE.

- [57] **Mozaffari, M., Saad, W., Bennis, M. ve Debbah, M.** (2016). Unmanned aerial vehicle with underlaid device-to-device communications: Performance and tradeoffs, *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, 15(6), 3949–3963.
- [58] **Liu, C.H., Chen, Z., Tang, J., Xu, J. ve Piao, C.** (2018). Energy-efficient UAV control for effective and fair communication coverage: A deep reinforcement learning approach, *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, 36(9), 2059–2070.
- [59] **Tang, J., Song, J., Ou, J., Luo, J., Zhang, X. ve Wong, K.K.** (2020). Minimum throughput maximization for multi-UAV enabled WPCN: A deep reinforcement learning method, *IEEE Access*, 8, 9124–9132.
- [60] **Wu, Q., Zeng, Y. ve Zhang, R.** (2018). Joint trajectory and communication design for multi-UAV enabled wireless networks, *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, 17(3), 2109–2121.
- [61] **Yang, D., Wu, Q., Zeng, Y. ve Zhang, R.** (2018). Energy tradeoff in ground-to-UAV communication via trajectory design, *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 67(7), 6721–6726.
- [62] **Zeng, Y. ve Zhang, R.** (2017). Energy-efficient UAV communication with trajectory optimization, *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, 16(6), 3747–3760.
- [63] **Mei, H., Yang, K., Liu, Q. ve Wang, K.** (2022). 3D-trajectory and phase-shift design for RIS-assisted UAV systems using deep reinforcement learning, *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 71(3), 3020–3029.
- [64] **Mei, H., Wang, K., Zhou, D. ve Yang, K.** (2019). Joint trajectory-task-cache optimization in UAV-enabled mobile edge networks for cyber-physical system, *IEEE Access*, 7, 156476–156488.
- [65] **Al-Hourani, A., Kandeepan, S. ve Lardner, S.** (2014). Optimal LAP Altitude for Maximum Coverage, *IEEE Wirel. Commun. Lett.*, 3(6), 569–572.

ÖZGEÇMİŞ

Adı SOYADI: Emir ASLANDOĞAN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** 2020, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİMLER VE ÖDÜLLER:

- 2020-günümüz, Araştırma Görevlisi, Yıldız Teknik Üniversitesi

TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Aslandoğan E.** (2022). Nakagami-m Sönümleme ve Ters Gamma Gölgeleme Etkisi Altında Akıllı Yansıtıcı Yüzey Destekli Telsiz Haberleşme Sistemi Performans Analizi. *INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES*, November 10-13, 2022 Konya, Turkey.