

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KABLOSUZ HABERLEŞME İÇİN GENİŞ AKILLI YÜZEYLERİN
KULLANIMININ İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Furkan ARSLAN**

**Danışman
Prof. Dr. İbrahim DEVELİ**

Yüksek Lisans Tezi

**Temmuz 2021
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI**

**KABLOSUZ HABERLEŞME İÇİN GENİŞ AKILLI
YÜZEYLERİN KULLANIMININ İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Furkan ARSLAN**

**Danışman
Prof. Dr. İbrahim DEVELİ**

**Temmuz 2021
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Furkan ARSLAN

YÖNERGEYE UYGUNLUK

“Kablosuz Haberleşme İçin Geniş Akıllı Yüzeylerin Kullanımının İncelenmesi”
adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Furkan ARSLAN

Danışman

Prof. Dr. İbrahim DEVELİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Ömer Galip Saraçoğlu

Prof. Dr. İbrahim DEVELİ danışmanlığında **Furkan ARSLAN** tarafından hazırlanan “**Kablosuz Haberleşme İçin Geniş Akıllı Yüzeylerin Kullanımının İncelenmesi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

05 /07/ 2021

JÜRİ:

Danışman	:Prof. Dr. İbrahim DEVELİ	
Üye	:Prof. Dr. Nurhan KARABOĞA	
Üye	:Dr. Öğr. Üyesi Asuman SAVAŞÇIHABEŞ	

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

..... /...../

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde en büyük katkı sahibi sayın hocam Prof. Dr. İbrahim DEVELİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Furkan ARSLAN

Kayseri, Temmuz 2021

KABLOSUZ HABERLEŞME İÇİN GENİŞ AKILLI YÜZEYLERİN KULLANIMININ İNCELENMESİ

Furkan ARSLAN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2021

Danışman: Prof. Dr. İbrahim DEVELİ

ÖZET

Haberleşmenin hayatımızdaki yeri her geçen gün artmaktadır. Kablosuz cihaz sayısındaki artış teknolojinin gelişmesi ile birlikte hız kazanmaktadır. Kablosuz cihaz sayısındaki artış ile beraber; kesintisiz haberleşme, yüksek veri hızı, düşük gecikme süresi ve spektral verimlilik önemli hale gelmiştir. Tüm bu ihtiyaçların karşılanması noktasında yeni bir mobil iletişim teknolojisine ihtiyaç duyulmaktadır. 5G haberleşme teknolojisinin kullanımının giderek yaygınlaşması ile birlikte, önceki 4G veya 3G teknolojilerinden daha hızlı veri transferi sağlaması beklenmektedir.

5G teknolojisinin gereksinimlerini karşılamak için öncelikle MIMO (Çok Girişli Çok Çıkışlı) teknolojisi belirlenmiştir. MIMO, aynı radyo kanalı üzerinden aynı anda birden fazla veri sinyalinin iletilmesini ve alınmasını sağlayan bir kablosuz ağ olarak tanımlanır. Çok antenli baz istasyonlarının sayısının artması ve kablosuz cihaz sayısının 2020’li yıllarda şaşırtıcı rakamlara ulaşacağı düşünüldüğünden dolayı MIMO teknolojisine alternatif olarak son zamanlarda Geniş Akıllı Yüzeyler (LIS) ortaya atılmıştır.

Bu tez çalışmasında, 5G ve 6G teknolojileri için önemli bir yere sahip olacağı düşünülen, LIS konusunun bilgisayar programlı uygulamaları incelenmiştir ve LIS sistemleri için performans analizi ele alınmıştır. LIS Erişim Noktası (AP, Access Point) ve LIS İki Atlamalı (DH, Dual Hop) sistem modelleri incelenmiş olup, AP sisteminin DH sisteminden daha başarılı performansa sahip olduğu gösterilmiştir. LIS sistemlerinin performans analizi Rician ve Weibull kanalları kullanılarak bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Rician kanalının Rayleigh kanalından daha başarılı olduğu da bir LIS sistemi üzerinde gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 5G, MIMO, LIS, Rician kanalı, Weibull kanalı

AN INVESTIGATION OF THE USE OF LARGE INTELLIGENT SURFACES FOR WIRELESS COMMUNICATIONS

Furkan ARSLAN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, July 2021

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim Develi

ABSTRACT

The place of communication in our lives is increasing day by day. The increase in the number of wireless devices gains momentum with the development of technology. With the increase in the number of wireless devices, uninterrupted communication, high data rate, low latency and spectral efficiency have become important. A new mobile communication technology is needed to meet all these needs. With the widespread use of 5G communication technology, it is expected to provide faster data transfer than previous 4G or 3G technologies.

In order to meet the requirements of 5G technology, MIMO (Multiple Input Multiple Output) technology has been determined first. MIMO is defined as a wireless network that allows more than one data signal to be transmitted and received simultaneously over the same radio channel. As the number of multi-antenna base stations increases and the number of wireless devices is thought to reach surprising numbers in the 2020s, Large Smart Surfaces (LIS) have recently been put forward as an alternative to MIMO technology.

In this thesis, computer-programmed applications of LIS, which is thought to have an important place for 5G and 6G technologies, are examined and performance analysis for LIS systems is discussed. LIS Access Point (AP) and LIS Dual Hop (DH) system models have been examined, and it has been shown that the AP system has a more successful performance than the DH system. Performance analysis of LIS systems was performed by computer simulations using Rician and Weibull channels. It has also been shown on a LIS system that the Rician channel is more successful than the Rayleigh channel.

Keywords: 5G, MIMO, LIS, Rician Channel, Weibull Channel

İÇİNDEKİLER

KABLOSUZ HABERLEŞME İÇİN GENİŞ AKILLI YÜZEYLERİN KULLANIMININ İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR VE SEMBOLLER.....	x
TABLOLAR LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv
GİRİŞ	1
G.1	3

1. BÖLÜM

BEŞİNCİ NESİL (5G) HABERLEŞME SİSTEMLERİ

1.1. Kablosuz Haberleşmenin Tarihçesi.....	4
1.2. 5G Teknolojisi	5
1.3. 5G Kullanım Alanları.....	7
1.4. 5G Teknolojisinin Gereksinimleri	9
1.5. 5G İçin Enerji Verimliliği	10
1.6. 5G Ağ Mimarisi.....	11

2. BÖLÜM

ÇOKLU GİRİŞ ÇOKLU ÇIKIŞ SİSTEMLERİ ve SÖNÜMLÜ KANALLAR

2.1. MIMO Formatı	14
2.2. Yığın MIMO	15
2.3. Sönümlü Kanallar	16
2.3.1. Düz Sönümlü Kanallar	17

2.3.2. Rayleigh Sönümlü Kanalı.....	17
2.3.3. Rician Sönümlü Kanal.....	18
2.4. Weibull Dağılımı	19

3. BÖLÜM

GENİŞ AKILLI YÜZEYLER

3.1. LIS Sistem Modeli.....	24
3.2. LIS Avantajları ve Önceki Sistemlerden Farkları.....	30
3.3. LIS'i Bekleyen Zorluklar	33

4. BÖLÜM

SİMÜLASYON SONUÇLARI

4.1. Rician Sönümlü Kanalı.....	36
4.2. Weibull Kanalı.....	41

5. BÖLÜM

SONUÇLAR

SONUÇLAR	47
KAYNAKÇA	48
ÖZGEÇMİŞ.....	54
BİLDİRİ VE MAKALE	55

KISALTMALAR ve SEMBOLLER

5G	5. Nesil
6G	6.Nesil
AN	Erişim Ağı
AP	Erişim Noktası
AWGN	Toplamsal Beyaz Gauss Gürültüsü
BER	Bit Hata Oranı
BPSK	İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama
C-LIS	Merkezi LIS
CN	Çekirdek Ağı
dB	Desibel
DH	İki Atlamalı
D-LIS	Dağıtılmış LIS
IoT	Nesnelerin İnterneti
IRS	Akıllı Yansıtıcı Yüzeyler
LIS	Geniş Akıllı Yüzeyler
LOS	Görüş Hattı Yolu
LTE	Uzun Süreli Evrim
MEMS	Mikroelektromekanik
MIMO	Çoklu Giriş Çoklu Çıkış
MU-MIMO	Çok Kullanıcılı MIMO

NOMA	Ortogonal Olmayan Çoklu Erişim
NTP	Ulusal Toksikoloji Merkezi
PDF	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
PSK	Faz Kaydırmalı Anahtarlama
RF	Radyo Frekansı
RIS	Yeniden Yapılandırılabilir Akıllı Yüzeyler
SEP	Sembol Hata Olasılığı
SER	Sembol Hata Oranı
SNR	Sinyal-Gürültü Oranı
UE	Kullanıcı Ekipmanları
p	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
E	Ortalama
σ^2	Varyans
c	Sönümlenme parametresi
β	Ölçekleme parametresi
r	Alınan sinyal
P_k	k 'inci terminalin iletim gücü
h_i	Baz istasyonu- LIS arasındaki sönümlenme kanalı
g_i	LIS- kullanıcı arasındaki sönümlenme kanalı
CN	Karmaşık gürültü
N	Yansıtıcı eleman sayısı

ϑ_i	Ayarlanabilir faz
s	Veri sembolü
n	Toplamsal Beyaz Gauss Gürültüsü
c_i	Kanal genliği
θ_i	Kanal fazı
y	Temel bant sinyali
ϑ	Köşegen matris
E_s	İletilen enerji
ρ	Anlık SNR
ω_m	İletilen mesajın bilgisi

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo1. Gecikme süreleri karşılaştırması	12
--	----

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 5G teknolojisinin potansiyel kullanım alanları	7
Şekil 1.2 5G teknolojisinin 4G teknolojisinden farkı.....	9
Şekil 2.1 MIMO	14
Şekil 2.2 Sönümlenme Çeşitleri	17
Şekil 2.3 Direkt Görüş Hattı Yolu (LOS) ile Direkt Olmayan Görüş Hattı Yolu (NLOS) .	18
Şekil 3.1 İç ve dış ortamlara yerleştirilmiş LIS	23
Şekil 3.2 Farklı kullanıcıların LIS ile haberleşmesi	23
Şekil 3.3 LIS DH sistemi	24
Şekil 3.4 LIS AP sistemi	26
Şekil 3.5 PIN diyot kullanılarak elektromanyetik yansıma kontrolü	29
Şekil 3.6 Ayarlanabilir rezonatörlerle yeniden yapılandırılabilir yansıtıcı diziler.....	29
Şekil 3.7 Yeniden yapılandırılabilir akıllı yüzeylerin yapısı	30
Şekil 4.1 LIS DH sistem modeli	35
Şekil 4.2 LIS AP sistem modeli	36
Şekil 4.3 LIS sistemlerinde Rician kanalı kullanarak BER analizi ($K=1$ dB)	37
Şekil 4.4 LIS sistemlerinde Rician kanalı kullanarak BER analizi ($K=3$ dB)	38
Şekil 4.5 Farklı M değerleri kullanarak LIS SER analizi ($K=3$ dB)	39
Şekil 4.6 Rician kanalında LIS AP ve LIS DH sistemlerinde BER analizi karşılaştırılması ($K=1$ dB).....	40
Şekil 4.7 LIS sistemlerinde Rician ve Rayleigh kanal karşılaştırılması ($K=2$ dB).....	41
Şekil 4.8 LIS sistemlerinde Weibull kanalı kullanarak BER analizinin yapılması (sönümlenme parametresi=2, ölçekleme parametresi =2)	42
Şekil 4.9 LIS sistemlerinde Weibull kanalı kullanarak BER analizinin yapılması (sönümlenme parametresi=4, ölçekleme parametresi =2)	43
Şekil 4.10 LIS sistemlerinde Weibull kanalı kullanarak BER analizinin yapılması (sönümlenme parametresi=4, ölçekleme parametresi =4)	44
Şekil 4.11 Weibull kanalında LIS AP ve LIS DH sistemlerinde BER analizi karşılaştırılması (Sönümlenme parametresi=2, Ölçekleme parametresi=2)	45
Şekil 4.12 LIS sisteminde Weibull kanalı kullanarak farklı M değerlerinde SER analizi (Sönümlenme parametresi=2, Ölçekleme parametresi=2).....	46

GİRİŞ

Haberleşmenin önemi, gelişmekte olan teknoloji ile birlikte her geçen gün daha fazla anlaşılmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte kullanılmakta olan kablosuz cihaz sayısı her geçen gün artış göstermektedir. Mobil kullanıcı sayısındaki artıştan dolayı haberleşmenin kesintisiz sağlanabilmesi, veri hızı, gecikme ve kapsama alanı gibi durumlar büyük önem arz etmektedir. Bu sebeplerden dolayı, 5. Nesil (5G) teknolojisi önerilmiştir. 5G haberleşme teknolojisinin yaygınlaşması ile birlikte hayatımızda önemli gelişmeler olacağı aşikardır.

5G teknolojisinde ihtiyaç duyulan gereksinimlerin karşılanabilmesi için öncelikli olarak Çok Girişli Çok Çıkışlı (MIMO) teknolojisi önerilmiştir. MIMO, aynı radyo kanalı üzerinden aynı anda çok sayıda veri sinyalinin iletilmesini ve alınmasını sağlayan teknoloji olarak tanımlanabilir. Çok antenli baz istasyonu ve kablosuz cihaz sayılarının 2020’li yıllarda devasa rakamlara ulaşacağı öngörüldüğünden dolayı MIMO teknolojisine alternatif olarak Geniş Akıllı Yüzeyler (LIS) teknolojisi ortaya çıkarılmıştır. LIS, elektronik olarak kontrol edilebilen ve pasif parçalardan oluşan güncel bir düzenlemedir [1].

Literatürde, Ertuğrul Başar LIS konusu ile ilgili Rayleigh kanalı kullanarak Bit Hata Oranı (BER) analizi yapmış ve iki farklı sistem kullanmıştır. LIS’i bir Erişim Noktası (AP) olarak kullanan LIS AP sistemi bu makalede önerilmiştir [2]. Burada, LIS AP ve LIS İki Atlamalı (DH) sistemleri incelenmiş ve karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç olarak, AP sisteminin DH sistemine göre hata performans analizinin daha başarılı olduğu gösterilmiştir. Chongwen Huang ve arkadaşları LIS konusunda enerji verimliliği üzerine çalışmalarda bulunmuştur ve LIS sistemlerinin röle sistemlerine göre daha verimli olduğunu göstermiştir [3]. Davide Dardari modelleme konusunda çalışmalarda bulunurken, LIS tabanlı antenlerin kullanılmasının güçlü görüş hattı yolu (LOS) koşullarında da kullanılabileceğini ifade etmektedir [4]. Sha Hu ve arkadaşları veri

iletimi ile ilgili çalışmalarda bulunmuştur [5]. Diğer makalede, yazarlar LIS mimarisinin dizi kazancı ve uzaysal çözünürlüğünün yüzey alanı ve yarıçapı ile orantılı olduğunu göstermiştir. İki LIS sistemi ele alınmıştır: Bunlar, merkezi LIS (C-LIS) ve dağıtılmış LIS (D-LIS). Elde edilen simülasyon sonuçlarında bu sistemlerin spektral verimliliği karşılaştırılmış olup D-LIS sisteminin C-LIS sistemine göre daha başarılı olduğu gösterilmiştir [6]. V.C. Thirumalavan ve C. Jayaraman, sistem güvenilirliği üzerine çalışmalar yapmış olup RIS destekli Ortogonal Olmayan Çoklu Erişim (NOMA) sisteminin BER analizini yapmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre önerilen sistem, geleneksel NOMA sisteminden daha başarılı olduğu gösterilmiştir [7]. Sha Hu, bir diğer makalesinde küresel LIS'i üç boyutlu olacak şekilde ele almıştır ve iki boyutlu LIS sistemlerinden daha iyi kapsama, daha basit konumlandırma ve alınan ortalama sinyal gücünün daha yüksek olması gibi avantajlara sahip olduğunu göstermiştir [8]. Yu Han ve arkadaşları, LIS destekli antenlerin performansını analiz edip, ergodik spektral verimlilik üzerindeki etkisini araştırmıştır [9]. Abdelrahman Taha ve arkadaşları, LIS sistemlerinde kanal kestirimi konusunda çalışmalarda bulunmuştur. Bu çalışmalarda, LIS'de kanal kestirimi için sıkıştırılmalı algılama ve derin öğrenme kullanılarak elde edilen araçlar ile iki farklı öneri sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, sıkıştırılmalı algılama ve derin öğrenme çözümlerinin kanal bilgisini elde etmede üst sınıra yaklaştığı gösterilmiştir [10]. Jesus Rodriguez Sanchez ve arkadaşları, LIS sistemlerinde yukarı bağlantı algılama sorunu üzerinde çalışmalarda bulunmuş olup, yeni bir mimari önermişlerdir [11]. Wenjing Zhao ve arkadaşları, Nesnelerin İnterneti (IoT) için güvenilir haberleşme sağlanması amacıyla LIS destekli geri saçılma sistemini ele almış olup sembol hata olasılığı (SEP) analizi yapmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, LIS sistemlerinde kullanılan çok sayıda yansıtıcı eleman sayesinde, düşük ve orta sinyal-gürültü oranlarında (SNR) bile güvenilirliğinin üst seviyede olduğu gösterilmiştir [12]. Diğer makalede, 6. Nesil (6G) sistemler için kullanılması planlanan LIS için optimizasyon ve performans analizi yapılmıştır [13]. Bu makalede, LIS'in düşük maliyeti, yüksek enerji verimliliğine sahip ve çevre dostu olduğu ispatlanmış olup 6G sistemleri için umut vaat eden teknolojilerden olduğu belirtilmiştir [13]. A.U. Makarfi ve arkadaşları, yeniden yapılandırılabilir akıllı yüzeyler (RIS) kullanarak araç ağının güvenliği üzerine çalışmalarda bulunmuştur [14].

G.1.Tez Organizasyonu ve Yapısı

Bu tez çalışmasında, LIS teknolojisi ile ilgili çalışmalar yapılmış olup farklı sönümlü kanallarda bilgisayar benzetimli uygulamaları ele alınıp LIS sistemleri için performans analizi yapılmıştır. Tezin 1. bölümünde 5G ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Tezin 2. bölümünde MIMO ve sönümlü kanallar ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. 3. bölümde LIS ile ilgili detaylı analiz ele alınmıştır. 4. bölümde ise bilgisayar benzetimli uygulamalar ele alınmış olup farklı kanal kullanımının analizi yapılmıştır. Son olarak, 5. bölümde sonuçlar tartışılmış ve tezin devamı niteliğinde olabilecek yeni fikirler önerilmeye çalışılmıştır.

1.BÖLÜM

BEŞİNCİ NESİL (5G) HABERLEŞME SİSTEMLERİ

1.1 Kablosuz Haberleşmenin Tarihçesi

Kablosuz haberleşme teknolojisi hakkında yapılan çalışmalar, 1900'li yılların başında radyonun bulunmasıyla verici ile alıcı arasında fiziksel bir ortam bulunmadan sinyalin gönderilmesiyle birlikte başlamıştır. Radyo üzerine yapılan çalışmanın başarı göstermesi çeşitli kablosuz uygulamaların gelişimine öncülük etmiştir. Fakat, o dönemki çalışmalarda bulunan bilim insanları kesintisiz ve sağlıklı bir haberleşme için veri hızının, düşük seviyelere indirilmesi veya gönderilen sinyalin şiddetinin artırılmasıyla olabileceği düşüncesinde olmuşlardır. 1900'li yılların ortalarına gelindiğinde; Claude Shannon, güvenilir haberleşme ile ilgili birtakım araştırmalarda bulunmuştur. Shannon, kendisinden önceki çalışmalarda hakim olunan düşüncelerin yanlış olduğunu ispatlayan ilk bilim insanıdır [15]. Buna ek olarak, gönderilen bilginin akıllı bir şekilde kodlanması ile birlikte minimum seviyedeki hata olasılıklarıyla haberleşme sağlanabileceğini de göstermiştir [16].

Kablosuz haberleşme teknolojisi son yıllarda büyük öneme sahip bir teknoloji olarak dikkat çekmeye başlamış ve her geçen gün gelişimin olduğu bir teknoloji haline gelmiştir. Onlarca sistemde kablosuz haberleşme teknolojisi kullanılmaktadır. Kablosuz haberleşme teknolojisinin kullanımına radyo ve televizyon yayıncılığı ile başlanmıştır. Günümüzde kablosuz haberleşme teknolojisindeki ilerlemenin ana sebebinin 1980'lerin başlarındaki ilk nesil (1G) araç telefonlarının kurulmasından ilham alındığı söylenebilir. G ifadesi bilindiği üzere nesil anlamını ifade etmektedir. 1G, ilk araç telefonu modellerinde kullanılmıştır ve dijital iletim o dönemler yaygın olmadığı için haberleşme analog olarak sağlanmıştır. 1G'de sadece sesli servisler kullanılmaktaydı. 1G'nin ardından 1990'lı yıllarda ortaya çıkan ikinci nesil (2G), dijital cep telefonu teknolojilerinin kullanılmaya başlanması avantajı ile birlikte hayatımıza girdi. 2G

teknolojisinin, 1G teknolojisinden bir diğer temel avantajı olarak daha yüksek veri hızı sağlaması söylenilebilir. 2000’li yılların başına geldiğimiz zaman ise 3G teknolojisi hayatımıza girmiştir. 3G teknolojisinin 2G teknolojisinden en temel farkı olarak 3G teknolojisinin ses kalitesinin aksine veri iletimine odaklanması olduğu söylenilebilir. 3. Nesil haberleşme teknolojisine gelene kadar veri hızındaki dikkate değer iyileşmelerin olmasına karşın, ilerleyen zamanlarda veri hızının daha yüksek seviyelere çıkması gerektiği bilinen bir gerçektir. Kullanıcı sayısının artışıyla birlikte daha yüksek veri hızlarına olan isteğin artmasından dolayı, 4G teknolojisi hayatımızda yer edinmeye başladı. 4G teknolojisi, 3G teknolojisine göre 5 kat daha yüksek veri hızı sağlamaktadır [17] ve 2010’lu yılların başından itibaren gelişime ve ilgiye açık bir teknoloji haline gelmiştir [16].

1.2 5G Teknolojisi

Mobil haberleşme teknolojisinde yer edinmiş ve kullanıcılara haberleşme imkanı sağlayanların karşılaşmakta olduğu birkaç sorun bulunmaktadır. Bu sorunlardan en dikkat çeken; kullanıcı sayısının ve veri trafiğindeki hızlı artışın kesintisiz haberleşmeyi olumsuz etkileyip etkilemeyeceğidir [18]. CISCO çalışmasına göre, dünya genelinde mobil kullanıcı sayısının 2015 yılına gelindiği zaman %74 arttığı görülmektedir [19]. Buna ek olarak, mobil veri trafiğinin son 10 yılda 4000 kat, son 15 yılda 400 milyon kat arttığı gözlemlenmektedir. Araştırmalardan gözlemlediğimiz kadarıyla 2020 yılında kablosuz cihaz sayısının dünya genelinde 26 milyar adete ulaşması beklenilmektedir. Önümüzdeki yıllarda dünya genelinde kablosuz cihaz sayısının artışıyla birlikte, CO₂ emisyonunun ve enerji tüketiminin hızla artması beklenmektedir. Araştırmacılar, önceki kullanılan teknolojilerden farklı olarak spektral verimlilik, enerji verimliliği, CO₂ emisyonunu azaltma ve operatörlerin maliyetlerini düşürmek için yeni arayışlara girmiştir [20]. Ayrıca 4G teknolojisinde yüksek işaret gecikmesi (latency) nedeniyle cerrahi müdahalelerin uzaktan yapılabilmesi, tamamen insansız araçlar, fabrika otomasyonu gibi ihtiyaçların kesintisiz yapılabilmesi mümkün gözükmemektedir. Bu sebepten dolayı 5G teknolojisi ortaya çıkmıştır [18].

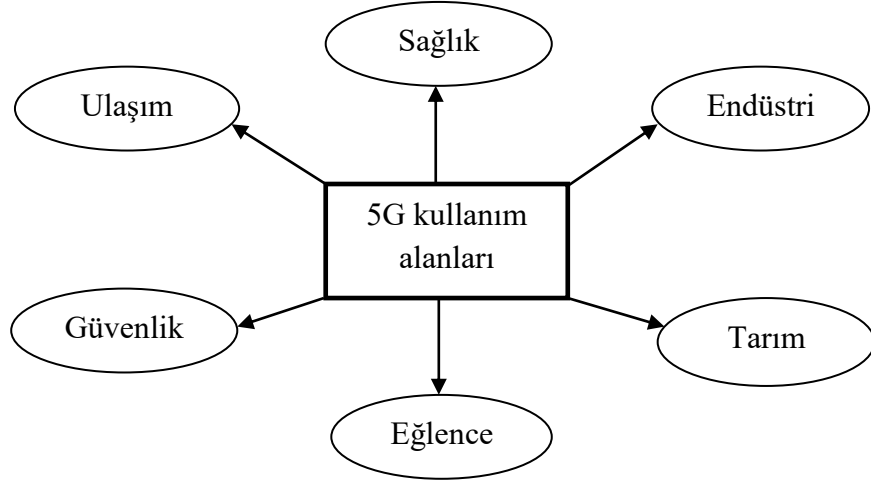
5G teknolojisi, önceki teknolojilerin aksine haberleşme teknolojisinin kullanımını da değiştirecektir. 5G teknolojisinin yaygınlaşması ile birlikte makineler arası haberleşme, makineler ve insanların birbiri ile haberleşmeye geçmesini görmemiz kuvvetli bir

ihtimaldir. 5G ile birlikte artan veri ihtiyacını karşılayarak ve gündelik hayatımızda kullanmakta olduğumuz cihazlara haberleşme yeteneği kazandırılması planlanmaktadır. Bu durumların sağlanabilmesi için, 5G teknolojisinin hız kapasitesi 10 Gbps düzeylerinde olmasının yanı sıra, gecikme süresinin çok düşük seviyelerde olması gerekmektedir. 5G teknolojisi ile birlikte, mevcut teknolojide haberleşme imkanının olmadığı dünyanın birçok kesiminde haberleşme imkanı sağlanmış olacaktır [21]. 5G teknolojisinde; mobil veri hacminin ve performansın artışıyla, gecikme süresinin önceki teknolojilere göre daha düşük seviyede olması beklenmektedir. Bu sebeplerden dolayı 5G teknolojisi üretim verimliliğine ve kesintisiz haberleşmeye olumlu olarak etki etmesi beklenmektedir [22]. 5G teknolojisi ile birlikte hayatımıza girecek olan yenilikler maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır:

- a) Yüksek çekim gücü sayesinde; haberleşme imkanının sınırlı olduğu mevkilerde bağlantı sorununun tamamen ortadan kaldırılması planlanmaktadır. [21]
- b) 5G ile birlikte hayatımıza girmesi beklenen hızlı ağ sayesinde, yüksek çözünürlük isteyen uygulamalara ve sanal dünyaya erişim daha hızlı ve basit olacaktır.
- c) Minimum gecikme süresi ile beraber; gecikmeler 1 mili saniyeden de düşük bir seviyede tutulması planlanmaktadır. Gecikmenin bu seviyede olması dolayısıyla, özellikle ulaşım sektöründe güvenli sürüşün en üst seviyeye çıkarılması imkanı olacaktır.
- d) 4G teknolojisindeki kapasiteye nazaran yaklaşık olarak 1000 kat fazla kapasite büyüklüğü hedeflenmektedir.
- e) Verimlilik sayesinde ise; batarya probleminin büyük oranda çözülmesi hedeflenmektedir.
- f) Ağdan ağa geçiş veya gecikme büyük olmasından dolayı haberleşme kopukluğu muhtemeldir. Bu sebeple, 5G teknolojilerinde bu sıkıntıların önüne geçmek için akıllı geçiş kullanılması beklenilir [23].

1.3 5G Kullanım Alanları

5G'nin kullanım alanlarından bahsedilecek olursa; en yaygın kullanım alanları Şekil 1.1'de gösterildiği gibidir. Bu alanların detayları şu şekilde verilebilir:

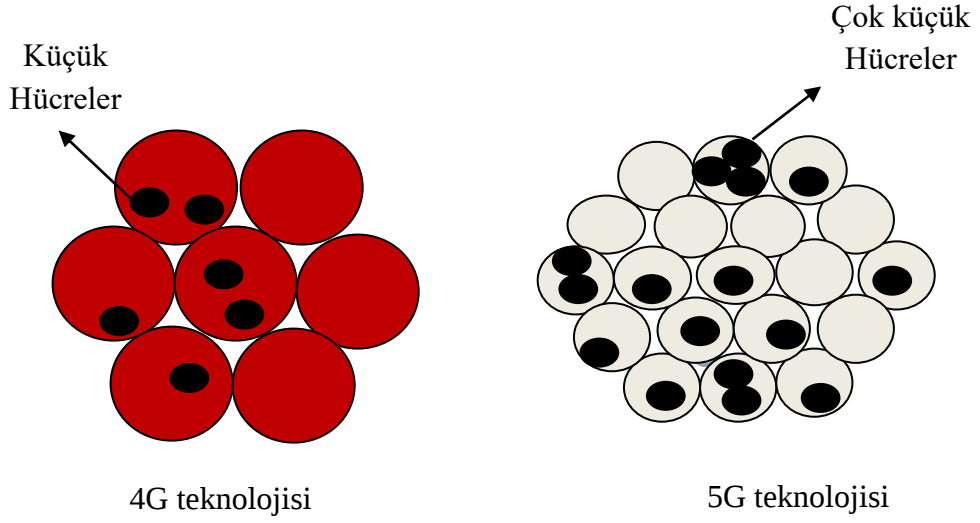


Şekil 1.1 5G teknolojisinin potansiyel kullanım alanları

- a) Ulaşım: 5G'nin hayatımızda yer edinmesiyle birlikte otomotiv sektöründe de birtakım değişiklikler görmemiz mümkün olacaktır. Birçok şirket bu konu hakkında çalışmalarına başlamış olup, araçların takip edilmesi, trafik sıkışıklığının az olduğu yollara araçların yönlendirilip trafik sıkışıklığının azaltılması, ulaşım güvenliğini en üst düzeye çıkarma imkanı sağlanacaktır. Ayrıca sürücüsüz araçlarda da kullanılması beklenmektedir. Günümüzde kullanılan teknolojide araçlar sürücüsüz olarak da hareket ederken, 5G teknolojisinin yaygınlaşması ile birlikte araçlar birbiri ile sürekli bağlantıda olup daha güvenilir bir sürüş ortamının sağlanması beklenmektedir [24].
- b) Sağlık: Sağlık sektörüne 5G'nin girmesi ile birlikte, hastaların daha hızlı sağlık imkanlarına ulaşması beklenmektedir. IoT'e bağlanması ile birlikte akıllı sağlık tedavileri, uzaktan muayene imkanının artırılarak hem zamandan kazanılıp hem de maliyetin daha düşük miktarlarda tutulup muayene olma imkanı sağlanması beklenmektedir [24].

- c) Endüstri: 5G teknolojisi ile birlikte, enerji sektöründe de birçok değişimin olması ümit edilmektedir. Sanayi sektöründe, konutlarımızda 5G teknolojisi kullanılmaya başlanması ile beraber daha verimli ve tasarruflu enerjiyi kullanma imkanına sahip olunacaktır.
- d) Tarım: 5G ile birlikte akıllı tarım hayatımızda yaygınlaşmaya başlayacaktır. Akıllı tarım ile birlikte, verimliliği artırmak için hava durumu, rüzgar şiddeti, nem gibi faktörler kayıt altına alınacaktır. Ayrıca aşılama, ilaçlama gibi yöntemlerde de farklı uygulamalar planlanmaktadır [22].
- e) Eğlence: Gelişen teknoloji ile birlikte eğlence sektörünün de değişime uğradığını görmekteyiz. Evlerimizde kullanmakta olduğumuz televizyonlardaki görüntü kalitelerinin de daha üst seviyelere çıkarılması beklenilmektedir. Görüntü kalitesi olarak daha üst seviyelerde olacak olan televizyonların önceki ve kullanmakta olduğumuz televizyonlara göre veri akışının daha çok olmasına ihtiyaç duymaktadır. Bunu sağlayacak olan da 5G teknolojisi. Oyun sektöründe ise gerçekçiliğin artırılabilmesi 5G teknolojisi ile sağlanacaktır. [21]
- f) Güvenlik: Kullanıcı sayısının, 5G teknolojisinin hayatımıza girmesi ile daha da artması beklenen bir gerçektir. Bu nedenle, kullanıcı sayısının artışı ile 5G teknolojisinde yazılım ve donanım kısımlarının ayrı ayrı planlanması düşünülmektedir. 5G teknolojisinde, herhangi bir siber saldırı olması durumunun da önüne geçilerek daha güvenli haberleşme sağlanması beklenmektedir. [22]

Kullanıcı sayısının artmasıyla birlikte 5G teknolojisinin bu artışı nasıl sağlayacağı merak konusu olmaktadır. Artan gereksinimin üstesinden gelebilmek için kapasite yükseltilmesi planlanmaktadır. Maliyetinde göz önünde bulundurularak kapasite yükseltilmesi ise hücre eleman miktarı artırılmasıyla karşılanacağı düşünülmektedir. Hücre eleman miktarının yükseltilmesi ile beraber, tahsis edilen fakat kullanılmamış kaynakların ihtiyaç duyulması durumunda kullanım miktarının fazla olduğu tarafa gönderilmesi planlanmaktadır [18].



Şekil 1.2 5G teknolojinin 4G teknolojisinden farkı [18]

Şekil 1.2’de kapasitesi yükseltilmiş 5G teknolojinin 4G teknolojisinden farkı ele alınmıştır.

1.4 5G Teknolojisinin Gereksinimleri

5G haberleşme teknolojisi geliştirilirken, bu teknolojinin gereksinimleri belirlenip, bu gereksinimlere çözüm önerileri sunmak gerekmektedir. Farklı uygulamaların kullanılması performans açısından farklı ihtiyaçlar gerektirecektir. Örnek ile açıklamak gerekirse; yüksek çözünürlük ve kalite gerektiren video uygulamalarında en ön planda gecikme süresi ve güvenlik söz konusudur. Otonom araçlarda ise gecikme süresi daha geri planda tutulabilir [25]. 5G’nin gereksinimlerini 4 başlık altında toplayabiliriz:

- a) Veri hızı
- b) Gecikme süresi
- c) Enerji ve maliyet
- d) Bağlanacak cihazlar

- a) Veri hızı: Mobil veri trafiğinin hızlı bir şekilde artması ile birlikte, veri hızı büyük bir önem kazanmıştır. 5G teknolojisinde de veri hızı önem arz etmektedir.

- b) Gecikme süresi: Mevcut 4G sisteminde gecikme süresi yaklaşık olarak 15ms civarlarındadır. Bu gecikme süresi hali hazırdaki 4G teknolojisinde kullanılan çoğu iş için yeterli olarak görülmektedir. 4G’de kullanılan gecikme süresi 5G teknolojisi ile birlikte artan veri trafiği ve kaynak dağıtımı için hayli yüksek bir süredir. 5G ile birlikte gecikme süresinin 1 ms civarlarına indirilmesi beklenmektedir.
- c) Enerji ve Maliyet: 5G ile birlikte, enerji ve maliyet tüketiminin de azalması beklenmektedir. Bağlanan sayısı ile birlikte ortaya konulacak olan veri sayısı tahmini olarak 100 kat artmasından dolayı, enerji ve maliyetin aynı miktarda düşüşe geçmesi beklenmektedir [25].
- d) Bağlanacak Cihazlar: Mevcut kablosuz ağ teknolojilerine nazaran 5G teknolojisinde 100 kat daha fazla kullanıcı olması beklenilirken, bağlanacak olan cihazların haberleşme hızları, gecikme ve güvenilirlikleri kullanılacağı alana göre değişeceğinden dolayı istenilen talebe uygun bir sistem önerilmelidir [20].

1.5 5G İçin Enerji Verimliliği

Enerji verimliliği haberleşme şebekelerinde büyük bir önem arz etmektedir. Önceki teknolojilerde önemli yer tutan veri hızı ve veri büyüklüğü gibi kriterler önemli bir yere sahipken, 5G teknolojisinin daha da yaygınlaşması ile birlikte enerji verimliliği ön plana çıkmaktadır. Mevcut teknolojinin artan talebe yetişmesi mümkün olmayacağından dolayı, yeni bir teknolojinin hayatımızda yer edinmesi ile enerji sıkıntısını önlemek mümkün olacaktır. Enerji sıkıntısını önleme ve kablosuz haberleşme ağlarının enerji verimliliğini yükseltme 4 bölüme ayrılabilir [26].

- a) Kaynak tahsisi: Radyo kaynaklarının dağıtım yöntemi sayesinde kablosuz haberleşmede enerji verimliliğinin maksimize edildiği gözlenmiştir. Bu çözüm üretimin düşmesine sebep olmasına rağmen, enerji verimliliğini arttırdığı gözlenmiştir [27].
- b) Ağ planlaması ve dağıtımı: Diğer bir yöntem türü ise; tüketilen enerjinin kapsadığı alanı maksimize etme yöntemidir.

- c) Enerji hasadı ve aktarımı: Diğer bir yöntem türü ise; çevredeki enerjilerin toplanması ile beraber, haberleşme şebekelerinin aktif hale getirilmesidir. Bu yöntem, yenilenebilir enerji kaynakları için uygun bir yöntemdir.
- d) Son yöntem türü ise; donanımsal tasarım [28] yapılarak enerji harcamasının göz önünde bulundurulması ile problemlerin çözüme kavuşturulmasıdır [26].

1.6 5G Ağ Mimarisi

5G sistemi, 5G çekirdek ağını (CN), 5G erişim ağını (AN) ve kullanıcı ekipmanlarından (UE) oluşmaktadır. 5G çekirdek ağı internete ve uygulamalara bağlantı sağlama amacı taşır. 5G erişim ağı, bir 3GPP yeni nesil radyo erişim ağı (NG RAN) veya 3GPP olmayan bir erişim ağı olabilir. Erişim ağı, bağımsız yeni radyo baz istasyonu, bağımsız uzun süreli evrim (LTE) seçeneklerinden herhangi birisi olabilir. 3GPP olmayan erişim ağına örnek vermek gerekirse Wi-Fi tabanlı kablosuz yerel ağı (WLAN) örnek verilebilir. 3GPP olmayan erişim ağları, 5G çekirdek ağıyla bağlantıya izin vermek için 3GPP olmayan birlikte çalışma işlevi (N3IWF) kullanır. N3IWF, 5G çekirdek ağına yönelik 3GPP ara yüzlerini ve 3GPP olmayan erişim ağına yönelik ara yüzleri destekler [29].

5G için üç ana kullanma kategorisi belirlenmiştir. Bunlar:

- ⇒ Makineden makineye haberleşme
- ⇒ Ultra güvenilir düşük gecikmeli haberleşme
- ⇒ Gelişmiş mobil geniş bant.

Makineden makineye haberleşmede, IoT olarak da bilinir ve tarım, imalat, fabrika gibi yerlerde kullanılması planlanmaktadır. Ultra güvenilir düşük gecikmeli haberleşmede ulaşım ağlarında, sürücüsüz araçlarda ve düşük gecikmenin olması gereken durumlarda kullanılması planlanmaktadır. Gelişmiş mobil geniş bant ise veri hızı artışı imkanı sağlayacak olup herhangi bir noktadan daha kaliteli erişim imkanı sağlayacaktır [29].

Tablo 1. Gecikme süreleri karşılaştırması

Kullanılan teknoloji	Gecikme süresi (mili saniye cinsinden)
Makineden makineye haberleşme	20 ms
Gelişmiş mobil geniş bant	5 ms
Ultra güvenilir düşük gecikmeli haberleşme	<1 ms

Tablo 1’de kullanılan teknolojiye göre gecikme süreleri karşılaştırması yapılmış olup, en düşük gecikme süresine sahip olan teknolojinin ultra güvenilir düşük gecikmeli haberleşme olduğu gösterilmiştir.

2.BÖLÜM

ÇOKLU GİRİŞ ÇOKLU ÇIKIŞ SİSTEMLERİ ve SÖNÜMLÜ KANALLAR

MIMO; çoklu giriş çoklu çıkış anlamına gelen, adını sıkça duyulan bir RF (radyo frekans) teknolojisidir. Wi-Fi, LTE ve birçok teknolojide; bağlantının güvenilirliğini, kapasite boyutunu, verimliliği arttırmak amacıyla MIMO kullanılmaktadır. 1990'lı yıllara gelinceye kadar, uzaysal çeşitlilik ile ilgili çalışmalar çok kısıtlıydı. MIMO ile ilgili çalışmalar, çok yollu iletim ile ortaya çıkan bozulmanın minimum seviyeye indirilmesinden sonra başladı. Buradan yola çıkarak, çok yollu iletimin faydalarını ortaya çıkarmak için çalışmalar yapıldı. 1990'lı yıllarda bilim insanları MIMO için uzaysal çoğullama kullanımı ile ilgili çalışmalarda bulundular. Daha sonrasında ise Bell Labs uzaysal çoğullama ile ilgili ilk örneği ortaya koymuştur [30].

MIMO, tekli giriş tekli çıkış sistemlere nazaran daha yüksek performans ortaya koymuş bir kablosuz haberleşme teknolojisidir ve 2000'li yılların başından beri üzerinde çalışmalar yapılan bir konudur [31]. MIMO'nun temellerinden bahsedilmesi gerekirse, kullanılan kanalın sönümlenme sebebiyle etkilenmesi durumunda, SNR etkilenmesi kaçınılmazdır. Bu durumun etkisini en düşük seviyeye çekebilmek için çeşitlilik yöntemi esas alınır. Çeşitlilik; kanal üzerinden iletilen sinyali birkaç çeşit olarak iletilmesini sağlar ve birkaç değişik yolla iletilmesi durumunda SNR'nin etkisi de azalmış olacaktır. Çeşitlilik 3 ana başlıkta ele alınabilir:

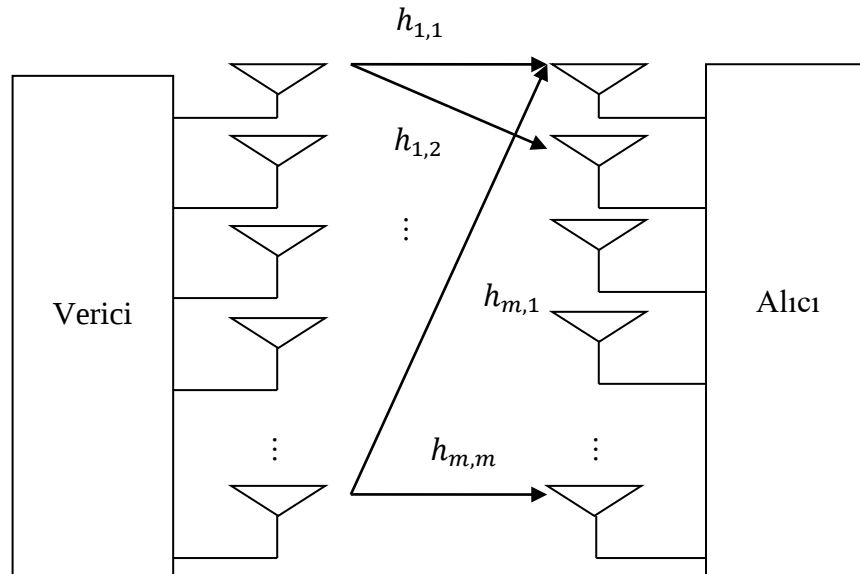
Zaman çeşitliliği: İletilmek istenen ileti bu çeşitlilik sayesinde çeşitli vakitlerde aktarılabilir.

Frekans çeşitliliği: Değişik frekans bantları kullanılarak iletim sağlanır. Uzak çeşitliliği: MIMO teknolojisinde kullanılan çeşitliliktir. Ayrı yerlerde bulunmakta olan antenlerin kullanımı ile çeşitli radyo yollarından faydalanılır.

MIMO sistemlerinin, verici ile alıcı arasında bulunması sebebiyle sinyalin iletimini gözlemlemek mümkündür. Önceki dönemlerde kullanılmakta olan çeşitli yolların artması girişi artırılmaktaydı. Ancak MIMO'nun kullanımının yaygınlaşması ile SNR oranını düzeltilmesi ve veri iletim hacminin çoğaltılması konularında fayda sağlanmıştır. MIMO için iki başlık ele alınabilir. Bunlar mekânsal çeşitlilik ve uzaysal çoğullama. Mekansal çeşitlilik; SNR oranını düzeltmek ve yapının güvenilirliğini arttırmak amacıyla kullanılır. Uzaysal çoğullama ise veri işleyiş miktarını arttırmaya yarar [30].

2.1 MIMO Formatı

MIMO: Verici ve alıcı kısmında anten sayısının çok sayıda olduğu türdür. Kanalin kapasitesinin artışı ve girişim etkisinin azaltılması amacıyla MIMO kullanılır. Şekil 2.1'de MIMO'nun formatı gösterilmiştir.



Şekil 2.1 MIMO

2.2 Yığın MIMO

MIMO, iki ya da daha çok anten kullanılması ile aynı zamanda daha çok verinin iletilmesini kolaylaştıran teknolojidir. Alıcı ile verici arasındaki anten sayısı iki ise 2X2 MIMO, dört ise 4X4 MIMO olmaktadır. MIMO kullanımı ile beraber, benzer verinin iletilmesi ve iletilen verinin desteklenmesi ile alıcının veriyi eksiksiz edinmesi olabileceği gibi, birbirinden ayrı verilerin iletilmesi ile kapasitenin de anten sayısı ile orantılı olarak arttığı şekiller bulunmaktadır. 4G teknolojisinde MIMO sıklıkla tercih edilir. 5G teknolojisine geldiğimiz zaman, aynı zamanda ve aynı frekans hattında baz istasyonu aracılığıyla çok sayıda kullanıcının MIMO ile haberleşmesi düşünülmektedir. İletilen verinin sayısının artması sebebiyle ve IoT teknolojisinin daha da yaygınlaşması ile veri hızlarının arttırılması gerekmektedir [32]. Bu talebin gerçekleşebilmesi için Çok Kullanıcı MIMO (MU-MIMO) gerekmektedir, MU-MIMO sisteminin kullanılabilmesi için ise baz istasyonunda kullanılmakta olan anten sayısının yükseltilmesi gerekmektedir [21].

Geleneksel MIMO sistemlerindeki anten sayısı oldukça kısıtlıdır, iki veya dört anten kullanılmaktadır, fakat bu durum MIMO sisteminin gelişimine katkıda bulunmuştur. Yığın (Masif) MIMO teknolojisinin avantajları oldukça fazladır. Yığın MIMO'nun avantajlarından bahsedilecek olunursa:

Anten sayısı: Anten sayısının arttırılması ile iletim kalitesinde gelişme olduğu gözlenir.

Veri hızı: Anten sayısının artması ve çoklu erişim ile birlikte veri hızında da dikkate değer artış gözlemlenmektedir.

Bağlantı sinyalinin SNR değerinin iyileştirilmesi: Sistemin SNR oranını iyileştirmesi MIMO sistemlerinin en önemli avantajlarının başında gelir. Yığın MIMO'nun kullanımı ile SNR oranının iyileşmesi daha da fazla artmaktadır.

Kanal güçlendirme: Yığın MIMO kullanımı ile artan anten sayısı sayesinde, sistemin kanal matris girişimlerine olan gücünü arttırmakta olup, bu durum sinyal işleme alanında avantaja dönüşmektedir [30].

Kanal kapasitesi: Kanal kapasitesinde artış sağlamaktadır.

Verimlilik: Enerji verimliliğinde iyileştirmeye sebep olur.

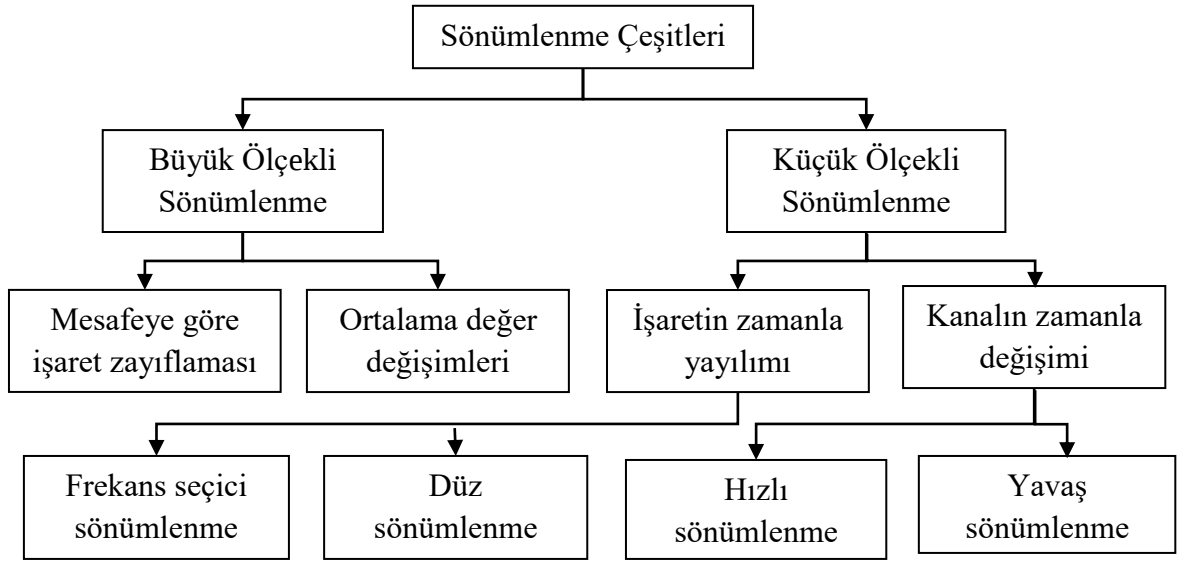
Maliyet: Ucuz ve düşük güç tüketen malzemelerden yapılır. Yığın MIMO sisteminde güç tüketimini düşürebilmek için analog/dijital ön kodlama fikirleri önerilmiştir [31]. Yığın MIMO ile birlikte, önceki kullanılan MIMO sistemlerindeki yüksek maliyete sahip ve 50 watt güç amplifikatörlerinin yerine çok fazla sayıda milli-watt çıkış gücünde amplifikatörler kullanılmaktadır [33].

Dayanıklılık: Gürültüye karşı ve insan yapımı girişimlere karşı dayanıklıdır.

2.3 Sönümlü Kanallar

Kablosuz haberleşme teknolojisinde radyo dalgalarının yayılmasına tesir eden 3 ana sebep bulunmaktadır. Bunları yansıma, kırılma ve saçılma olarak ele alabiliriz. Herhangi bir düz, pürüzsüz yüzeye dalganın çarpması ile yansıma oluşur. Radyo dalgalarının boyut olarak işaret dalga boylarından yüksek olduğu durumlarda kırılma oluşur. Düz olmayan bir yüzeye radyo dalgasının vurması ile de saçılma meydana gelmektedir. Şehirlerimizde artan nüfus yoğunluğu ile beraber, devasa büyüklükte konutlar, iş merkezleri veya radyo dalgalarına engel teşkil edecek ağaçlar, sokak tabela veya sokak lambaları bulunmaktadır. Radyo dalgalarının konutlardan, iş merkezlerinden yansıma yaptıktan sonra birden fazla sayıda yolu tercih ederek baz istasyonlarına ulaşması mümkündür. Bu durum çok yollu yayılma olarak tarif edilmektedir.

Şekil 2.2’den de görüleceği üzere sönümlenme çeşitleri büyük ve küçük olmak üzere iki ana başlıkta ele alınmaktadır. Büyük ölçekli sönümlenme çeşidinde büyük yol kayıpları göz önünde bulundurulurken, küçük ölçekli sönümlenme de kısa zaman mesafeleri göz önünde bulundurulur. Kanalin zaman değişimine göre yavaş sönümlenme ve hızlı sönümlenme olarak ayrılır. İşaretin zamanla yayılımına göre değişen sönümlenmeler ise frekans seçici sönümlenme ve düz sönümlenme olarak ikiye ayrılır. Düz sönümlenme ile frekans seçici sönümlenme arasındaki fark ise, düz sönümlenme de dar bant kullanılırken frekans seçici sönümlenme de daha geniş bir bant kullanılmaktadır [34].



Şekil 2.2 Sönümlenme Çeşitleri

2.3.1 Düz Sönümlü Kanallar

Düz sönümlü kanallar, çok yollu iletimin alıcı tarafına ulaşma biçimine göre Rayleigh ve Rician olarak iki kısma ayrılabilir.

2.3.2 Rayleigh Sönümlü Kanal

Rayleigh sönümlü kanalda, verici ve alıcı arasındaki kısımda görüş hattı yolunun (LOS) olmadığı yani birbirlerini görmediği durumlarda kullanılan kanal türü olarak ifade edilir. Rayleigh dağılımı, teorik açıklamasının diğer kanal türlerine göre kolaylığı ile çok yollu sönümlenmeyi tanımlamak için yaygın olarak kullanılır [35]. Rayleigh kanalının olasılık yoğunluk fonksiyonunu (PDF) ifade etmek gerekirse:

$$p(r) = \frac{2r}{\sigma} \exp\left(-\frac{r^2}{\sigma}\right) \quad (2.1)$$

olarak gösterilir. Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonuna ilişkin ortalama:

$$E = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma \quad (2.2)$$

varyans:

$$\sigma^2 = \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) \sigma^2 \quad (2.3)$$

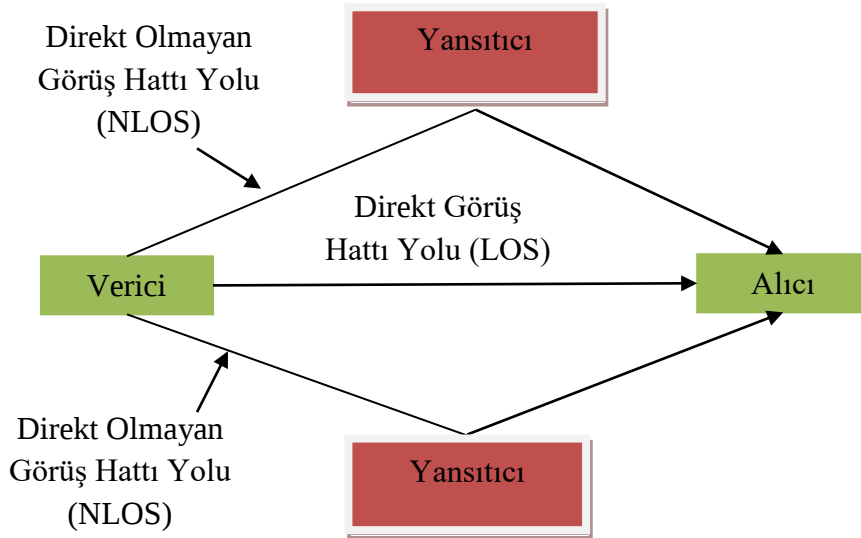
olarak gösterilir.

2.3.3 Rician Sönümlü Kanal

Rician kanalı Rayleigh kanalından farklı olarak bir LOS yolu olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Rician dağılımı, düşük seviyeli dağınık yollara ek olarak güçlü bir yol olduğunda ortaya çıkar [35]. Rician kanalına Nakagami-n sönümlü kanalı da denilmektedir. Rician kanalının olasılık yoğunluk fonksiyonun ifadesi:

$$p(r) = \frac{2(1+n^2)e^{-n^2}}{\Omega} \exp\left(-\frac{(1+n^2)r^2}{\Omega}\right) I_0\left(2nr\sqrt{\frac{1+n^2}{\Omega}}\right) \quad (2.4)$$

olarak tanımlanmaktadır. I_0 parametresi Bessel fonksiyonunu belirtmektedir. Rician dağılımında $n=0$ olması koşulunda Rayleigh sönümlenmesi elde edilirken $n=\infty$ olması koşulunda sönümlenme olmadığı belirtilir [34].



Şekil 2.3 Direkt Görüş Hattı Yolu (LOS) ile Direkt Olmayan Görüş Hattı Yolu (NLOS)

Şekil 2.3’de LOS ile NLOS arasındaki temel farkın gösterimi ele alınmıştır.

2.4 Weibull Dağılımı

Weibull dağılımı, hem iç hem de dış ortamlarda çok yollu sönümlü kanalların modellenmesi için kullanılmakta olan dağılım türüdür. Weibull modeline destek olmak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmış olup Hashemi [35] tarafından iç mekan için bir model olarak kullanıldı. Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonunun ifadesi:

$$p(r) = \frac{cr^{c-1}}{\beta} \exp\left(-\frac{r^c}{\beta}\right) \quad (2.5)$$

Olarak tanımlanmaktadır. Kullanılmakta olan c ifadesi Weibull sönümlenme parametresidir. β ise pozitif ölçekleme parametresidir. c ifadesi 0 ile ∞ aralığında değer alması gerekmektedir. Eğer ki $c=1$ ise Weibull dağılımı üstel bir dağılım halini alırken, $c=2$ olması durumunda ise Weibull dağılımı Rayleigh dağılımı halini almaktadır [36].

3.BÖLÜM

GENİŞ AKILLI YÜZEYLER

Kullanıcı sayısının ve IoT'ye olan ilginin de artmasıyla birlikte veri hızının önemi bir kez daha anlaşılmıştır [37]. Yapılan çalışmalardan da anlaşılaçağı üzere önümüzdeki 10 yıl boyunca veri trafiğine olan talebin 7 kat artış göstermesi beklenilmektedir [38]. İhtiyaçların kesintisiz olarak karşılanabilmesi için 5. Nesil haberleşme sistemi devreye girmiştir. 5G'nin hayatımıza girmesi ile birlikte, test aşamaları gerçekleştirilmiş olup bazı yerlerde kullanımı başlamıştır.

5G ile birlikte, geniş bant kullanımı, üst düzey güvenlik, gecikme süresinin minimum düzeyde tutulması ve haberleşmenin genişletilmesi beklenilir. Fakat, 5G teknolojisinin beklenen bu durumların tamamını karşılayabilmesi düşünölmemektedir. Ayrıca, 5G'de dahil olmak üzere kullanılmakta olan önceki teknolojiler de, haberleşme için kullanılan kablosuz ortama müdahalenin olamayacağı savunulmaktadır [39]. Saydığımız bu sebeplerden dolayı, bilim insanları 6. Nesil (6G) teknolojisi konusuna yoğunlaşmaya başlamıştır [40]. 6G teknolojisi, 5G'nin devamı olarak düşünölse bile, yüksek frekans bantları kullanılacaktır. Bu sebepten dolayı, günümüzde kullanılmakta olan mevcut yapıda değişikliklere ihtiyaç duyulacaktır. Bu değişikliklerin yapılabilmesi ve ihtiyaçların karşılanabilmesiyle beraber 6G sistemlerinin 2020'li yılların sonlarına doğru hayatımıza girmesi beklenilmektedir [41].

Baz istasyonlarından uzakta olan ve coğrafi olarak haberleşme için müsait bir konumda bulunmayan yerleşim yerleri için kablosuz haberleşme teknolojisi, yüksek güçlü bağlantı yerine sahip yeni ifadeler haline gelmektedir [42]. Kablosuz haberleşme teknolojisinin gelişiminin etkisiyle, ağların akıllı haberleşmesi ve algılama ve denetleme öğelerine dönüşmesi beklenilmektedir. Ayrıca; yüksek güvenlik, spektral verimlilik, gecikme süresinin minimize edilmesi ve enerji tüketiminin azaltılması ihtiyaçlarının da

karşılanması beklenilmektedir. İhtiyaçların karşılanabilmesi için çeşitli öneriler sunulmuştur. Bunlar, terahertz haberleşmesi, yığın MIMO, milimetre dalga (mmWave) çözümleridir [2]. Ayrıca haberleşmenin mesafesine göre de çeşitli öneriler sunulmaktadır. Yakın aralık haberleşmeleri için geri saçılma haberleşmesi önerilirken, uzak mesafeli haberleşme için röle destekli geri saçılma haberleşmesi önerilmektedir. Röle destekli haberleşme sistemlerinde, dönüştürücüler, osilatörler ve güç yükseltecinde [43] aktif elemanlar rol aldığı için her uygulamada kullanılmamaktadır [12]. Röle destekli haberleşmede görüş hattı olmayan yolun, görüş hattına çevrilmesi mümkündür fakat bu çevirinin yapılabilmesi yüksek maliyetlere sebep olacaktır [38]. MIMO, milimetre dalga (mmWave) gibi önerilerde ise enerji harcaması çok fazladır ve maliyetleri yüksektir [44]. Ayrıca MIMO sistemlerinde yayılma ortamının kontrolü mümkün değildir [13].

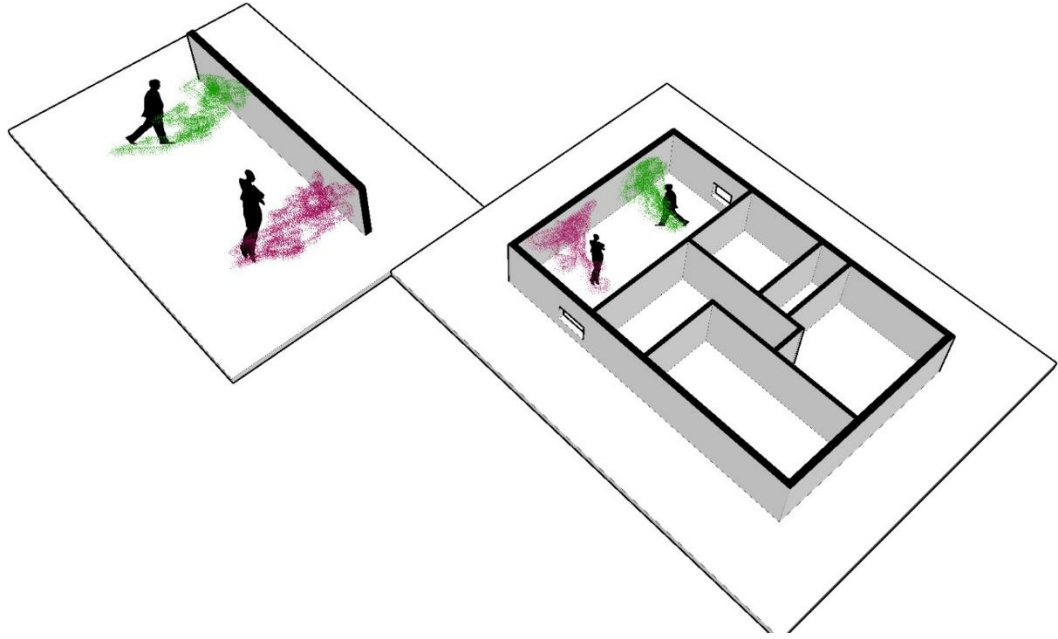
Kablosuz haberleşme ortamında iletilen sinyal; yansıma ve kırılmayla beraber birden çok şekliyle karşılaşır, bu sebeplerden dolayı alıcı kısmına sinyal iletilirken bozulmalar meydana gelmektedir. Buna ek olarak, kablosuz haberleşme için haberleşme yapılan alanı denetlemek şimdiye kadar pek mümkün olmamıştır. Bu problemlerin üstesinden gelebilmek için bilim insanları çalışmalarda bulunmaktadır ve yapılan çalışmalarda üzerinde durulan en önemli kısımlardan biri yayılma ortamının kontrol edilebilmesidir. Bu çalışmalardan yola çıkarak bilim insanları LIS üzerinde araştırmalar yapmaktadır. LIS, kablosuz haberleşme sistemlerinde yakın zamanda ortaya çıkmıştır [45]. 5G ötesi ve 6G haberleşme teknolojisi için LIS temel bir eleman olarak öngörülmektedir [46]. LIS'ler elektronik parçaların birleşimi ile ve LIS denetleyicisi vasıtasıyla kontrolü sağlanacak olan insan eliyle yapılmış yapılardır [1]. LIS'ler elektromanyetik dalgaların kontrolü ve istenilen yöne doğru yansıma, filtreleme, polarizasyon gibi özellikleri kullanma aşamasında başarılı sonuçlar göstermektedir [47]. LIS'lerin elektromanyetik dalgaları istenilen yöne doğru yansıtabilmesi için içeriğinde yansıtma dizileri, frekans seçici yüzeyler [48], meta yüzeyler [49] bulunur. Yeniden düzenlenebilir olmayan meta yüzeylerin kullanılmasıyla geçmiş dönemlerde radar ve uydu haberleşme sistemlerinde meta yüzeylerin kullanılması sınırlı bir durumdaydı. Ancak, meta malzemelerin ve mikroeletromekanik (MEMS) sistemlerdeki gelişme ile birlikte yeniden düzenlenebilir olmasının ve kullanımının genişlemesinin önü açılmıştır [13]. Ayrıca LIS'ler kullanılmakta olan tüm yüzeyi akıllı duruma dönüştürme özelliğine sahiptir [50].

İlerleyen zamanlarda kablosuz haberleşme sistemlerinin içerdiği alanı güçlendirmek ve kablosuz haberleşme alanına müdahale edilebilmek amacıyla LIS kullanımının yaygınlaşacağı bilinmektedir. LIS'ler, gönderilen ve alınan sinyallerde haberleşme imkanı sağlayarak verimliliği arttıran çok sayıda küçük ve pasif elemandan oluşan maliyeti düşük yapılardır [10]. LIS, içinde barındırmış olduğu pasif yansıtıcı elemanların kullanılması ile, sinyallerin istikametini yazılım vasıtasıyla istenilen yöne doğru değiştirerek iletir. Bu yüzden sinyalleri tekrar göndermek için ekstra enerji kaynaklarına sahip değildirler [51]. Güvenlik ve spektrum verimliliği gibi ihtiyaçların karşılanması LIS ile mümkün olacaktır [37]. LIS'lerin hayatımızda yaygınlaşması ile birlikte, telekomünikasyon operatörleri tarafından çevre kontrolü de sağlanabilecektir [51].

LIS kavramına ilk olarak UC Berkeley'deki [52] eWallpaper projesinde değinilmiştir. Bu projenin asıl amacı elektromanyetik olarak aktif ve işlem yapabilme gücüne sahip duvar kağıtlarının üretilmesidir. Ancak bu projede bilgi transferinin nasıl yapılacağı, sinyal ve sistem modelleri ile ilgili analizlere yer verilmemiştir [5]. LIS teknolojisinin kullanımının yaygınlaşması ile birlikte hayatımızın her alanında görmemiz mümkün olacaktır. LIS teknolojisinin kullanılması beklenen alanlardan bahsetmek gerekirse: giyim endüstrisi, inşaat endüstrisi, elektronik cihaz kılıfları [1]. Ayrıca LIS sistemlerini iç ve dış ortamlarda sıkça görmemiz mümkün olacaktır.

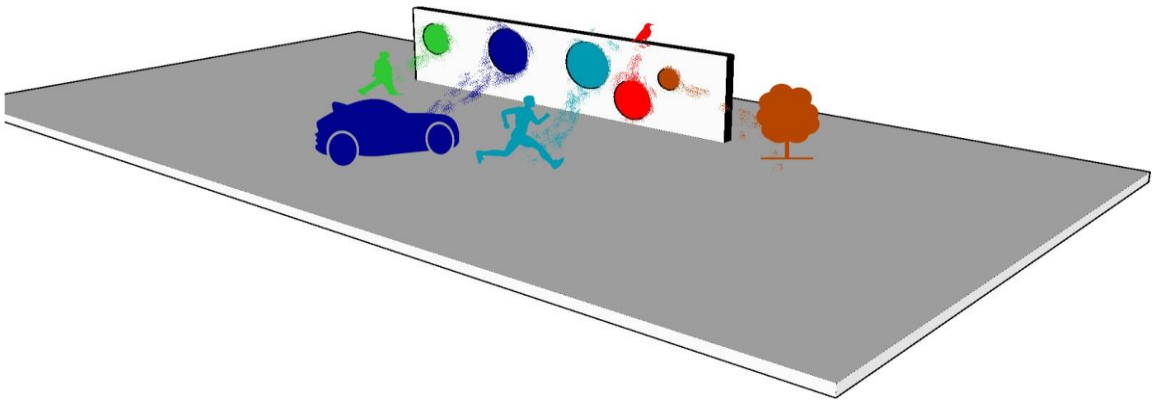
LIS teknolojisini pasif ve aktif LIS olarak iki ana kategoride ele almak mümkündür. Pasif parçalara sahip LIS, faz yönünün değişmesiyle birlikte baz istasyonundan LIS'e gelen sinyalleri istenilen yönde yansıtabilir. Aktif LIS daha iyi SNR oranına sahip olmasına rağmen karmaşıklığı daha fazladır ve yansıtıcı elemanlarda güç kaynağına ihtiyaç duymaktadır ve maliyet artışına sebep olmaktadır [37]. Aktif LIS hakkında yayınlanmış olan makale sayısı çok azdır.

Şekil 3.1'den de anlaşılacağı üzere LIS sistemleri iç ve dış ortamlarda kullanılmasına uygun olarak yapılması planlanmaktadır. Elektromanyetik olarak aktif duvar kağıtlarının olmasıyla birlikte, orta büyüklükte odaya yerleştirilmiş olan LIS sistemi ile, yaklaşık olarak 100 kullanıcının haberleşmeye geçmesi beklenilmektedir [11].



Şekil 3.1 İç ve dış ortamlara yerleştirilmiş LIS [5].

Şekil 3.1'den de anlaşılacağı üzere LIS yapıları iç ve dış mekanlarda sıklıkla kullanılması mümkün olacaktır. LIS teknolojinin iç mekanlarda kullanılmaya başlanması ile birlikte dış mekanlarda kullanılmasına göre çok daha fazla sayıda kullanıcının yararlanması beklenmektedir.



Şekil 3.2 Farklı kullanıcıların LIS ile haberleşmesi

LIS sistemlerin hayatımızda yer edinmesi ile birlikte, sadece insanlar ile haberleşmesi değil herhangi bir canlı ile de haberleşmesi beklenilmektedir. Şekil 3.2'de buna benzer örnek gösterilmektedir. İki boyutlu yüzeye iletimi sağlayabilmek için üç boyutlu uzaydan faydalanılmaktadır. Kartezyen koordinatlarda $-A \leq x \leq A, -B \leq y \leq B, z = 0$ olarak ele alınır. $(x,y,z) = (x_0, y_0, z_0)$ olarak alınırsa yüzeye şu şekilde iletilir [45]:

$$s_{x_0,y_0,z_0}(x,y) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \frac{\sqrt{z_0}}{(z_0^2 + (x-x_0)^2 + (y-y_0)^2)^{\frac{3}{4}}} x \exp\left(-\frac{2\pi j}{\lambda} \sqrt{z_0^2 + (y-y_0)^2 + (x-x_0)^2}\right) \quad (3.1)$$

λ dalga boyunu temsil etmektedir. K 'inci terminalin (x_k, y_k, z_k) konumunda olduğu varsayılarak ve a_k 'nın veri sembolü olduğu varsayılarak, (x,y) konumundaki toplam alınan sinyali şu şekilde bulunabilir [45]:

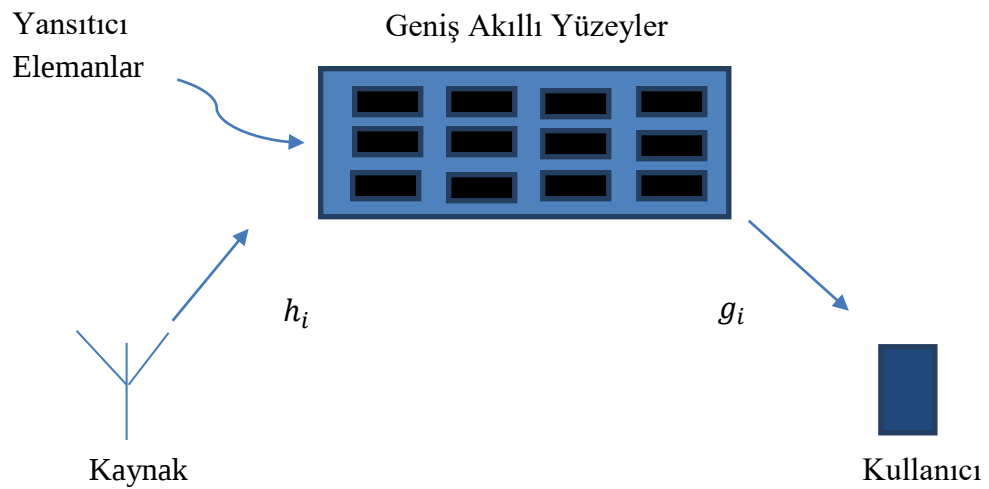
$$r(x,y) = \sum_{k=1}^K \sqrt{P_k} s_{x_k,y_k,z_k}(x,y) a_k + n(x,y) \quad (3.2)$$

Burada, P_k k 'inci terminalin iletim gücünü temsil ederken, $n(x,y)$, x ve y 'den bağımsız olarak ve güç spektral yoğunluğu N_0 olan sıfır ortalamalı karmaşık Gauss gürültüsünü ifade eder [45].

3.1 LIS Sistem Modeli

Pasif yansıtıcı elemanlara sahip olan LIS'ler literatürde RIS (yeniden yapılandırılabilir akıllı yüzeyler), IRS (akıllı yansıtıcı yüzeyler) olarak da bilinmektedir.

Şekil 3.3'te gösterildiği üzere, h_i ve g_i sırası ile baz istasyonu ve LIS, LIS ve kullanıcı arasındaki sönmelenme kanalını ifade etmektedir. Bu bölümde LIS iki atlamalı (Dual Hop) tabanlı uygulamaların sistem modeli ele alınmıştır.



Şekil 3.3 LIS DH sistemi [2]

h_i ve g_i , $CN(0,1)$ ve $CN(0, \sigma^2)$ ifadesi karmaşık gürültü anlamına gelmekte olup, sıfır ortalamaya sahip ve σ^2 varyansına sahip karmaşık Gaussian dağılımını ifade eder. LIS'in N adetten oluşan yeniden yapılandırılabilir yansıtıcı eleman içerdiğini varsayılmaktadır. N adet pasif yansıtıcı elemana sahip LIS'in temel bant sinyali şu şekilde gösterilir [2]:

$$y = [\sum_{i=1}^N h_i e^{j\theta_i} g_i] s + n \quad (3.3)$$

θ_i ayarlanabilir fazı ifade ederken, s veri sembolünü temsil etmektedir. n ise $CN(0, N_0)$ toplamsal beyaz Gauss gürültüsünü temsil eder. $h_i = c_i e^{-j\theta_i}$ ve $g_i = d_i e^{-j\varphi_i}$ olarak c_i ve d_i kanal genliklerini ve θ_i ve φ_i ise fazını temsil eder. Yapılan bu işlemler MIMO sistemlerindeki ön kodlama, hüzmleme işlemlerine benzemesine karşın, MIMO sistemlerinde bu işlemler alıcı veya verici kısımda yapılırken LIS sistemlerinde iletim hattında gerçekleştiriliyor olmasıdır. Formül 3.3'deki temel bant sinyali bir başka formda şu şekilde ifade edilir [40] :

$$y = g^T \vartheta h s + n \quad (3.4)$$

$g = [g_1 \ g_2 \ \dots \ g_N]^T$ ve $h = [h_1 \ h_2 \ h_3 \ \dots \ h_N]^T$ iki terminal ve LIS arasındaki kanal katsayılarının vektörlerini temsil eder ve $\vartheta = \text{diag}([e^{j\theta_1} e^{j\theta_2} e^{j\theta_3} \dots e^{j\theta_N}])$ faz kaymalarını içeren köşegen matristir. Kullanıcı tarafındaki anlık SNR değeri şu şekilde bulunur [40]:

$$\rho = \frac{|\sum_{i=1}^N c_i d_i e^{j(\theta_i - \theta_i - \varphi_i)}|^2 E_s}{N_0} \quad (3.5)$$

E_s sembol başına ortalama iletilen enerjiyi temsil etmektedir. LIS yardımıyla anlık SNR formülünün maksimize edilmesi mümkündür. $\vartheta_i = \theta_i + \varphi_i$, $i=1 \dots N$ 'e kadar olacak şekilde düzenledikten sonra ifade şu şekilde düzenlenebilir [40]:

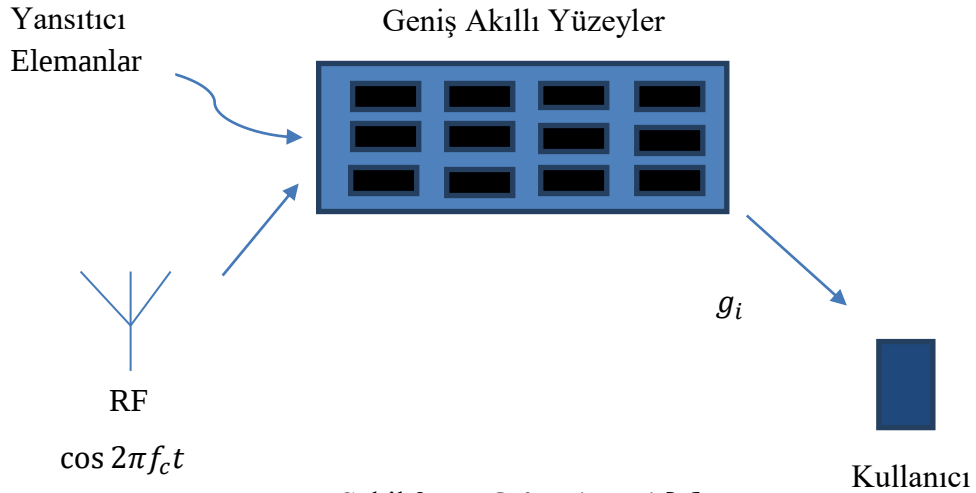
$$|\sum_{i=1}^N f_i e^{j\tau_i}|^2 = \sum_{i=1}^N f_i^2 + 2 \sum_{i=1}^N \sum_{k=i+1}^N f_i f_k \cos(\tau_i - \tau_k) \quad (3.6)$$

Şekil 3.6'daki tüm i değerleri için $\tau_i = \tau$ ifadesi kullanılarak formül maksimize edilir.

Alınan anlık SNR değeri şu şekilde bulunur [2]:

$$\rho = \frac{|\sum_{i=1}^N c_i d_i|^2 E_s}{N_0} \quad (3.7)$$

Bu bölümde, LIS erişim noktası (AP) teknolojisi verici kısmında kullanılarak verimliliğin artırılması planlanmaktadır. LIS sistemleri için AP sistemi kullanılması ile ilgili blok diyagram Şekil 3.4’de gösterilmiştir. LIS AP modelinde, SNR’ın maksimize edilmesinin yanı sıra bilgi taşıma işlemi de yapılmaktadır. Bu sistemde, LIS modeli ağa kablolu bir bağlantı vasıtasıyla veya optik fiber üzerinden bağlanır. AP sistemlerinde, kaynak tarafında LIS RF sinyal jeneratörü tarafından desteklenir veya modüle edilmemiş $\cos 2\pi f_c t$ ve taşıyıcı frekansı f_c olan bir taşıyıcı sinyal içerir. Modüle edilmemiş taşıyıcı sinyal, RF dijital-analog-dönüştürücü tarafından kolayca elde edilir. Ayrıca RF kaynağının LIS’e yakın olduğunu varsayarak sistemin sönümlenmeden etkilenmediği düşünülür. g_i kanalı $g_i = d_i e^{-j\varphi_i}$ olarak ifade edilir. Bu sistemlerde, LIS, SNR değerini düzeltmekle yetinmeyip ek olarak 2 boyutlu sistemlerdeki sinyalleri de dizerek yansıtıcı elemanların fazlarını ayarlar [2].



Şekil 3.4 LIS AP sistemi [2]

Alınan temel bant sinyali şu şekilde ifade edilir:

$$y = \sqrt{E_s} [\sum_{i=1}^N e^{j\vartheta_i} g_i] + n \quad (3.8)$$

E_s iletilen enerjiyi temsil eder. ϑ_i i'inci yansıtıcı tarafından uyarılan fazdır. Yansıtıcı fazlarını aşağıda görüldüğü üzere ayarlayıp toplam $\log_2 M$ bitin iletildiği düşünülmektedir. $\vartheta_i = \omega_m + \varphi_i$, ω_m , $m \in (1,2,3,4, \dots, M)$ m'inci mesajın bilgisini

taşımak için LIS tarafından uyarılmış faz terimidir. AP sistemlerinde alınan sinyal şu şekilde ifade edilir:

$$k = \sqrt{E_s} B e^{j\omega_m} + n \quad (3.9)$$

Bu sinyal modelinin B kanalı üzerinden Faz Kaydırmalı Anahtarlama (PSK) işaretlenmesine benzediği belirtilir. $m=1,2,3,\dots,M$ değerleri için $\omega_m = \frac{2\pi(m-1)}{M}$ ifade edilir ve anlık SNR değeri şu şekilde bulunur [2] :

$$\rho = \frac{E_s B^2}{N_0} \quad (3.10)$$

LIS'in özelliklerini maddeler halinde sıralayacak olursak şunlar söylenebilir:

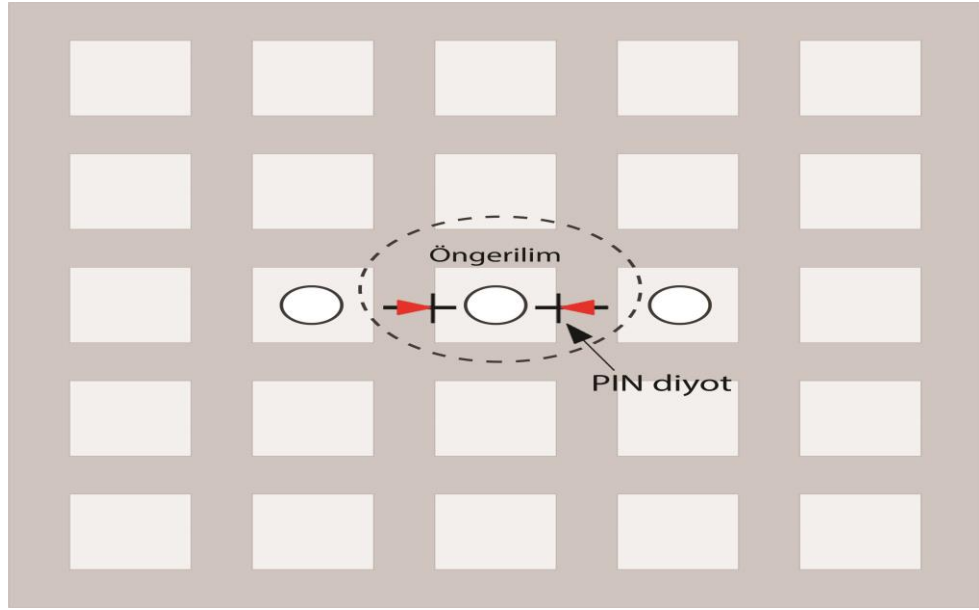
- 1) Neredeyse bütün parçalar pasif elemanlardan oluşur ve enerji kaynağına ihtiyaç duymazlar.
- 2) LIS yüzeylerinin tamamında iletim ve alım imkanı sağlandığı için üzerine çarpan dalgayı istenilen şekilde düzenleyip gönderebilir.
- 3) LIS sistemleri, güç kaynağına, analog-dijital veya dijital-analog dönüştürücülerine ihtiyaç duymaz, ayrıca alıcı tarafındaki gürültüden etkilenmez.
- 4) Tam bant yanıtları sağladığı için herhangi bir frekans aralığında çalışabilir.
- 5) Bina yüzeylerinde, oda tavanlarında, elektronik aletlerin kılıflarında kolayca kullanılabilir [40].

Geleneksel yüzeyler ile akıllı yüzeyler arasındaki farklardan bahsedilecek olunursa, geleneksel yüzeylerde radyo dalgası duvara çarptığı zaman yüzey akımlarını etkilemektedir ve bu yüzey akımları duvarın geçirgenliğine, kullanılan malzeme kalınlığına bağlı olarak olumsuz etkilenir. Akıllı yüzeylerde ise, radyo dalgası duvara çarptığı zaman yüzey akımlarının yayılması geleneksel yüzeylerdekinden farklıdır ve hücrelerin bulunduğu malzeme, mesafe ve boyutlarına göre ağı oluşturan devrelerin konumu kararlaştırılır [39].

Meta kelimesi yunanca kökenli bir kelimedir ve ötesinde anlamına gelmektedir. Sıra dışı özelliklere sahip olan iki ve üç boyutlu bir yapı anlatılır. Elektromanyetik meta yüzeyler, doğal materyallerde olmayan özelliklere sahip olarak dizayn edilmiş elektromanyetik materyallere sahip yüzeyler olarak ifade edilir [53].

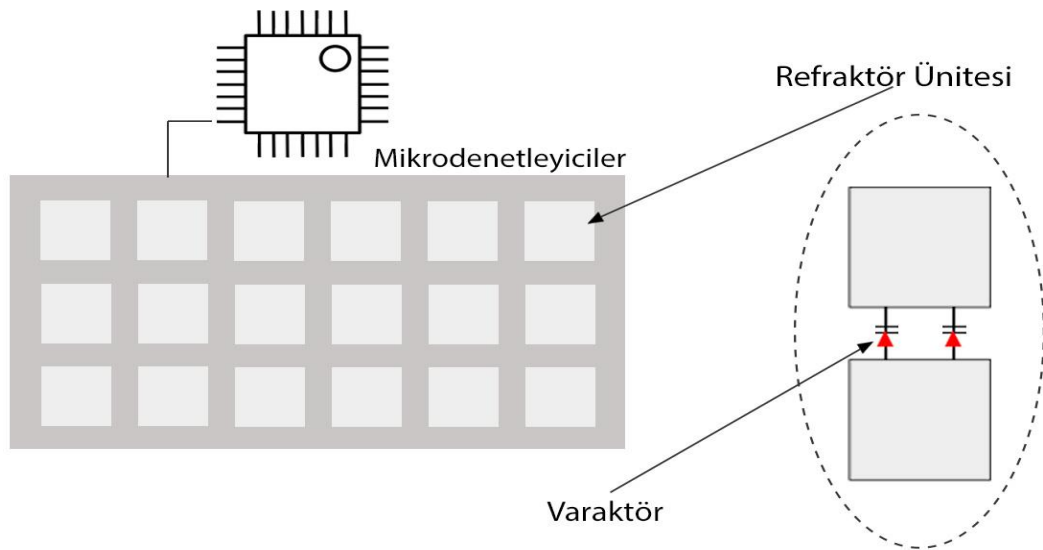
LIS sistemlerinin kullanım alanları ilk başlarda sınırlı olmasına karşın, meta malzemeler ve mikroelektromekanik (MEMS) sistemlerdeki gelişmeler ile yeniden yapılandırılabilir özelliği kazanmıştır. LIS sistemlerinde kullanılmakta olan meta malzemelerin yüzeylerinde varaktör diyotları veya MEMS'ler bulunur [54]. Meta malzemelerin elektromanyetik hareketi meta-atom yapısına bağlıdır. Meta-atom yapısına bağlı olarak, bazı modeller elektromanyetik dalgaları emerken bazıları yansıtma durumunda olabilir. Meta yüzeyler yeniden yapılandırılabilir parçalardan meydana gelmektedir. Yeniden yapılandırılabilir parçaları elde edebilmek ve meta-atom yapıları kontrol edebilmek için CMOS veya MEMS anahtarları kullanılır [13].

Çeşitli anahtarlama teknikleri elektromanyetik yansımaları kontrol edebilmek için akıllı yüzeylerde kullanılır. Bunlar pozitif iç-negatif (PIN) diyotlar, varaktör ayarlı rezonatörler, sıvı kristaller ve MEMS'lerdir. Her yüzey elemanının metal parçasına PIN diyotlarının yerleştirilmesi sayesinde meta yüzeylerdeki yansımalar kontrol edilebilir. PIN diyotlar kullanılarak elektromanyetik yansımaların kontrol edilmesi Şekil 3.5'te ele alınmıştır. Akıllı yüzeyler iki farklı PIN diyot durumu için çalışır. PIN diyot kapalı olduğunda enerjinin çoğu emilir, PIN diyot açık olduğu durumda ise enerjinin çoğu yansıtılır [13].

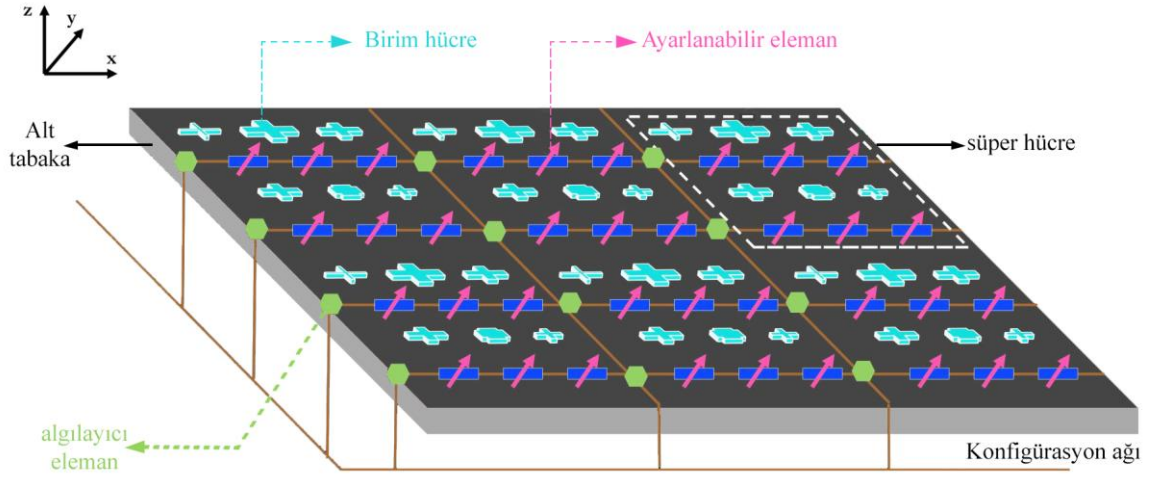


Şekil 3.5 PIN diyot kullanılarak elektromanyetik yansıma kontrolü [40]

Yeniden yapılandırılabilir yüzeylerin elde edilebilmesi için diğer öneri varaktör ayarlı rezonatörlerdir. Bu sistemlerde, yansıtıcı eleman ünitesinin her birine yeniden ayarlama imkanı sağlayan kapasitör (varaktör) kullanılarak ve varaktörlere ön gerilim uygulandığı zaman ayarlanabilir faz kayması elde edilmektedir. Şekil 3.6’da varaktör ayarlı rezonatörler kullanılarak yeniden ayarlanabilir yansıtıcı diziler elde edildiği gösterilmiştir [40].



Şekil 3.6 Ayarlanabilir rezonatörlerle yeniden yapılandırılabilir yansıtıcı diziler [40]



Şekil 3.7 Yeniden yapılandırılabilir akıllı yüzeylerin yapısı [39]

Yeniden yapılandırılabilir akıllı yüzeyler  birim hücrelerden oluşmaktadır. Birim hücreler birleşerek süper hücre olarak adlandırılan hücreleri oluşturur.  ise ayarlanabilir elemanları belirtmektedir.  ise algılayıcı elemanları temsil etmektedir. Şekil 3.7’den de görüleceği üzere iki boyutlu yapı olarak modellenen LIS, enine büyüklüğü radyo dalgalarının dalga boyundan büyük, kalınlığı ise küçük olarak dizayn edilmektedir. İki boyutlu tasarımı, üç boyutlu tasarımına göre daha ucuz ve yerleştirilmesi kolaydır. Birim hücreler substrat tabakasının üzerine konularak oluşturulmuş kompozit elemanlardır. LIS’in radyo dalgaları ile nasıl etkileşime geçeceği birim hücrelerin tasarımına bağlıdır. LIS sistemlerinde metamateryallerin kullanılması ile birlikte ekstradan ayarlanabilir eleman kullanılmasına ihtiyaç kalmamaktadır. Elektromanyetik dalgaların istenilen şekil haline getirilmesi meta yüzeylerin her kesime eşit olarak dağıtımı sayesinde mümkün olmaktadır [39].

3.2 LIS Avantajları ve Önceki Sistemlerden Farkları

LIS kullanım alanları ve önceki sistemlerden farklarından bahsedilecek olursa:

- ⇒ LIS’ler elektromanyetik parçalar kullanılarak oluşturulmuş maliyeti ucuz ve pasif cihazlardır. Bu yüzden, bina yüzeyleri, elektronik cihazlar, insanların giysilerine, iç ve dış mekan cihazlarına, ulaşım araçlarına ve daha birçok konuma yerleştirilmesi mümkündür.

- ⇒ LIS'lerin kullanımının yaygınlaşması ile birlikte spektral verimlilikte iyileşme gözlemlenmektedir. LIS'lerin kullanılması ile birlikte haberleşme ortamı kontrolü olacaktır. Ortam kontrolü sayesinde, orta ve uzun menzilli haberleşmelerde kaybedilen enerjiyi minimum seviyede tutma imkanı sağlanacaktır [56].
- ⇒ Şehir içinde kablosuz haberleşme ortamında olan yüksek binalar veya herhangi bir sebepten dolayı oluşabilecek parazitleri önlemek ve LOS bağlantısının sağlanabilmesi LIS'lerin uygun pozisyonlara yerleştirilmesi ile sağlanacaktır. Ek olarak, LIS'lerin kullanılması ile birlikte SNR'de iyileşme sağlanması beklenilmektedir [56].
- ⇒ LIS'ler geleneksel yükselt ve ilet, çöz ve ilet sistemlerinden farklı olarak faz kayması kontrolünü sağlayarak iletilen sinyali istenilen konuma ve pozisyona dönüştürülebilir. [38],[55] Bu sebeplerden dolayı, yükselt ve ilet, çöz ve ilet sistemlerine göre enerji verimliliği yüksektir.
- ⇒ LIS'ler tam bant iletimi ve iki taraflı iletimi mümkün kılar [56].
- ⇒ MIMO sistemlerinde kullanılacak olan her bir anten elemanı için RF zinciri gerekmektedir. Bu durum, MIMO sistemlerinde maliyet ve güç harcamasını artırmaktadır. LIS'te böyle bir durum yoktur.
- ⇒ MIMO, zayıf saçılma ortamında zarar görür. mmWave teknolojisinde ise, yolun uzunluğu ve nüfuz etmesi sebebiyle sinyal kayıpları görülmektedir [54].
- ⇒ LIS'lerin, çoğunlukla pasif olması, radyo dalgalarının kullanılacak olan akıllı yüzeyler vasıtasıyla yönlendirilecek olması sebebiyle ve baz istasyonlarına yakın konumda yerleştirilmesi durumunda kanal kestirimi yapmak için gerekli olan işlemlere ihtiyaç duyulmamaktadır.
- ⇒ LIS sistemlerinde kullanılmakta olan radyo dalgalarının tekrardan kullanılması sayesinde yeni elektromanyetik dalgalar oluşturulmamaktadır. Bu sebepten dolayı, elektromanyetik dalga kirliliği azaltılır.

- ⇒ LIS sistemlerinde kullanılmakta olan meta malzemeler sayesinde, maliyeti ve ayak izi düşük akıllı yüzeyler kullanılması sağlanacaktır.
- ⇒ LIS'lerin insan yoğunluğunun fazla olduğu ortamlara yerleştirilmesi ile sinyal kalitesinin aynı şekilde sağlanabilmesi ve güç tüketimi düşük olan teknolojik aletlerin güç aktarım metodu vasıtasıyla şarj edilebilmesi için yakın mesafelerde kullanılması mümkündür [39].
- ⇒ LIS kullanımı sayesinde mmWave ve Terahertz gibi yüksek frekansa sahip kablosuz haberleşme sistemlerinde LOS yolu kaybının önüne geçilmesi mümkün olacaktır.
- ⇒ Şehirlerin bazı yerlerinde veya kişi sayısının fazla olduğu yerlerde haberleşmenin sıkıntılı olduğu noktalar bulunmaktadır. Bunlara örnek vermek gerekirse, fabrikalar ve metro durakları söylenilebilir. Haberleşme imkanının sıkıntılı bölgelerde kesintisiz sağlanabilmesi için baz istasyonu sayısının artırılması veya röle kullanılması gerekir. Bu durum, pahalı bir çözüm yoludur ve karbon ayak izi artışına sebep olur. Böyle durumlarda LIS kullanımı, maliyeti daha da düşürecek olup karbon ayak izini de azaltır [40].
- ⇒ IoT teknolojisinde alınan veriler çözümlenme ve analiz için merkeze gönderilmesi gerekir ancak gönderim esnasında harcanan enerji kullanılan mevcut sistemde yüksektir. LIS teknolojisinde kullanılacak olan meta malzemeler, IoT teknolojisinin kullanıldığı cihazlarda enerji harcamadan verilerin iletilmesini sağlayacaktır [53].
- ⇒ MIMO sistemlerinde iletim ve alım için baz istasyonu gerekir. LIS sistemlerinde ise insan yapımı yapıların tamamında iletim ve alım mümkündür.
- ⇒ Kanal kestirimi ve geri bildirimi MIMO sistemlerine göre daha basittir.
- ⇒ LIS sistemlerinin enerji verimliliği röle sistemleri ile kıyaslandığı zaman, %300'e varan enerji verimliliği sağlandığı gözlemlenmektedir [3].

3.3 LIS'i Bekleyen Zorluklar

LIS'in avantajlarından ve kullanılması beklenen alanlardan yukarıda bahsedilmiştir. Bu kısımda ise LIS sistemlerinin karşılaşması muhtemel sorunları ele alınmıştır.

- ⇒ LIS sistemlerinin kullanımının yaygınlaşması ile birlikte, önceki teknolojilerde kullanılmakta olan formüllerin tekrardan gözden geçirilmesi gerekecektir. Çünkü, LIS sistemlerinin çalışmaları teorik olarak ele alınmıştır ve uygulamada kullanılmasının nasıl olacağı konusunda belirsizlikler mevcuttur [13].
- ⇒ LIS sistemlerinin kapalı ortamlarda kullanımı ile birlikte, elektromanyetik dalgalara maruz kalmak mümkün olacaktır. Bant genişliğinin artması yüksek veri hızları elde edilecektir. Yüksek veri hızlarının insan sağlığına etkisi analiz edilmelidir. Ulusal Toksikoloji Programı (NTP)'na göre, pasif parçalara sahip kapalı mekanlara konulmuş olan farelerin elektromanyetik dalgalara maruz kalması sebebiyle sağlık sorunları ortaya çıkmıştır [57],[58]. Gelecekteki araştırmalar da bu konu üzerinde çalışmalarda bulunması gerekmektedir [13].
- ⇒ LIS sistemlerinin 6G teknolojilerinde temel bileşen olması beklenilmektedir. Ayrıca IoT [59] teknolojisi ile LIS sistemlerinin haberleşmesinin nasıl olacağı da araştırma konularından biridir. LIS'lerin görüş hattı yolu olan ve olmayan kısımlarda gürültü ve parazit etkisini inanılmaz seviyede düşürdüğü gözlemlendiği için nüfusun yüksek olduğu konserler, stadyumlar, alışveriş merkezleri ve havaalanları gibi mekanlarda kullanılması mümkündür. Ancak LIS sistemlerinin 6G teknolojisinde kullanılabilmesi için yapılan çalışmalar halen teorik olarak kalmıştır [13].
- ⇒ LIS sistemlerinde kullanılması planlanan elemanların LIS yüzeyine hangi pozisyonlarda yerleştirileceği belirsizdir. Bu konu hakkında çalışma yapılmalıdır [13].
- ⇒ LIS sistemleri için yapılmış olan çalışmalarda meta malzemelerin yansıtıcı konusunda kusursuz olduğu izlenimine dayanılarak çalışmalar yapılmıştır. Ancak, meta yüzeylere gelen ışınların gelme açısı, yansıma açısı, kırılma açısı

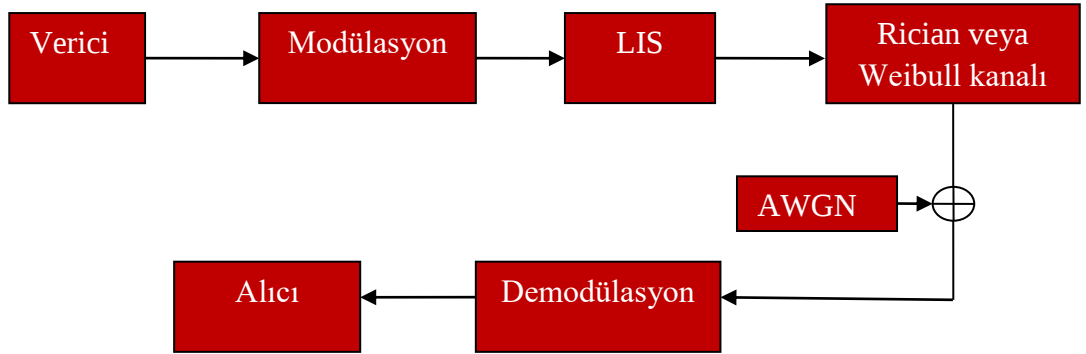
gibi sebepler önemlidir, bu sebepten dolayı meta malzemeler üzerinde daha iyi sonuçlar elde edebilmek için çalışmalar gerekir [40].

- ⇒ LIS sistemlerinde kullanılacak olan kanal modellerinin deneysel olarak doğruluğu kanıtlanmış değildir. Bu konu hakkında detaylı çalışmalar yapmak gerekir [40].
- ⇒ LIS destekli haberleşme ağlarının verimliliği üzerinde yapılan çalışmalar sınırlıdır. Bu nedenle, LIS destekli haberleşme ağlarının verimlilik analizi detaylı olarak yapılması gerekir [40].
- ⇒ Büyük ölçekli LIS sistemlerinde haberleşme tahlili ve optimizasyonu hakkında da yeterli çalışma bulunmamaktadır. Büyük ölçekli LIS sistemlerinin optimizasyonu ve tahlili üzerinde çalışılması gereken başlıca konulardandır [40].
- ⇒ LIS sistemleri neredeyse pasif parçalardan yapılacak olup, herhangi bir güç amplifikatörüne, kanal tahmini yapacak alete, analog-dijital çevirici veya dijital-analog çeviriciye ihtiyaç bulunmamaktadır. LIS sistemlerinde üzerine düşünülmesi gereken başlıca konulardan bir tanesi de ayarlanması gereken kanalların LIS vasıtasıyla haberleşme ağı kontrolcüsüne nasıl iletileceğidir. Bu konu hakkında birkaç öneri sunulmuş olsa bile üzerine çalışılması gereken konulardan bir tanesidir [40].
- ⇒ LIS sistemlerinin test aşamalarının analizi yetersizdir. Bu konu hakkında da çalışılması gerekir [40].

4.BÖLÜM

SİMÜLASYON SONUÇLARI

Bu bölümde; LIS sistemlerinin farklı sönümlü kanallarda başarımlı analizi ele alınmıştır. Kanal olarak Rician ve Weibull sönümlü kanallar kullanılmış olup LIS AP ve LIS DH sistemlerinde başarımlı analizi yapılmıştır. Simüle edilen sistem modelleri Şekil 4.1 ve 4.2’de gösterildiği gibidir:

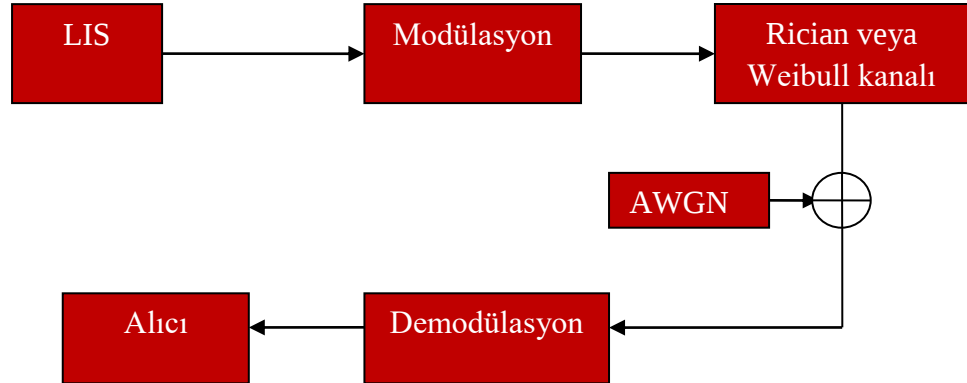


Şekil 4.1 LIS DH sistem modeli

Şekil 4.1’den anlaşılacağı üzere simüle edilmiş LIS DH sistem modeli ele alınmıştır.

LIS sistemlerinde decoder, encoder, RF işleme ünitelerine ihtiyaç duyulmamaktadır. Modülasyon türü olarak PSK modülasyonu kullanılmış olup sistem Rician ve Weibull kanalları ele alınmıştır. Modüle edilen sinyal LIS yansıtıcı elemanları ile kanala

verilerek alıcıya gönderilir. Gönderilen sinyal demodüle edilerek alıcıya iletilir.

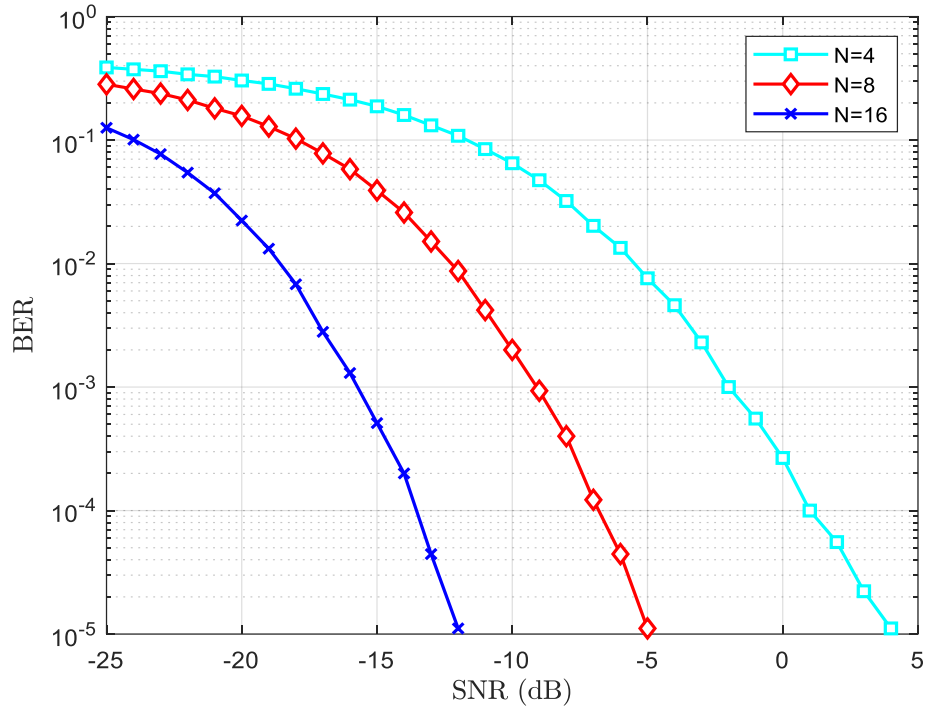


Şekil 4.2 LIS AP sistem modeli

Şekil 4.2’de LIS AP simüle edilen sistem modeli ele alınmıştır. Bu modelde LIS verici kısmında kullanılarak verimlilikte artış planlanmaktadır. Modülasyon türü olarak PSK modülasyonu kullanılmış olup sistem Rician ve Weibull kanallarında ele alınmıştır.

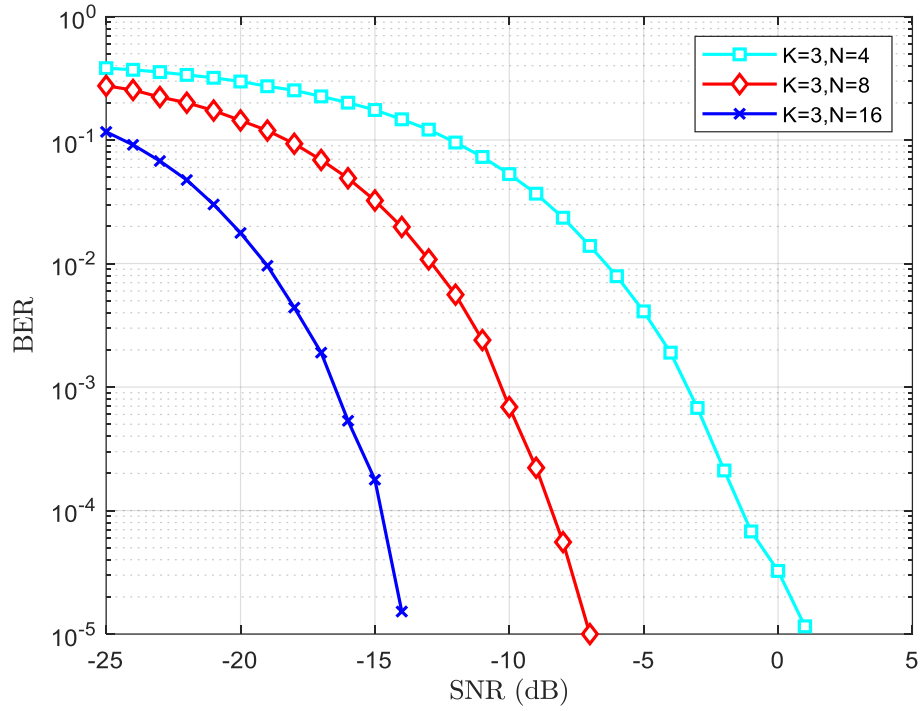
4.1 Rician Sönümlü Kanalı

LIS sistemlerinde Rician sönümlü kanalı kullanarak BER analizi Şekil 4.3’de ele alınmıştır. N değeri yansıtıcı eleman sayısı olup K (sönümlenme parametresi) 1 dB olarak alınmıştır. Modülasyon türü olarak İkili faz kaydırmalı anahtarlama (BPSK) modülasyonu kullanılmıştır. BER oranının 10^{-3} olduğu durumda N sayısındaki artış ile birlikte hata performans oranında yaklaşık olarak 9 dB’lik iyileşme olduğu gözlemlenmiştir.



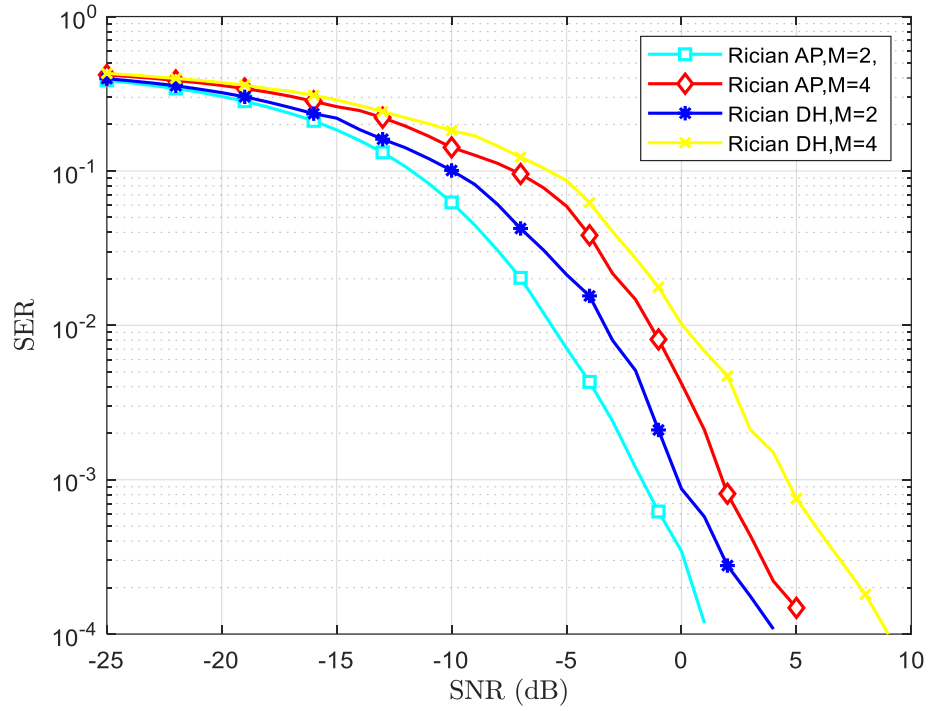
Şekil 4.3 LIS sistemlerinde Rician kanalı kullanarak BER analizi ($K=1$ dB)

LIS sistemlerinde Rician sönümlü kanalı kullanarak BER analizi Şekil 4.4'de ele alınmıştır. LIS AP sistemi baz alınarak çalışmalar yapılmış olup, N değeri yansıtıcı eleman sayısını ifade eder. K parametresi 3 dB olarak alınmıştır. Modülasyon türü olarak BPSK modülasyonu kullanılmış olup K parametresinin artışıyla birlikte hata performansında iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. BER oranının 10^{-3} olduğu durumda N değerindeki artış ile birlikte hata performans oranında yaklaşık olarak 7 dB'lik iyileşme olmuştur.



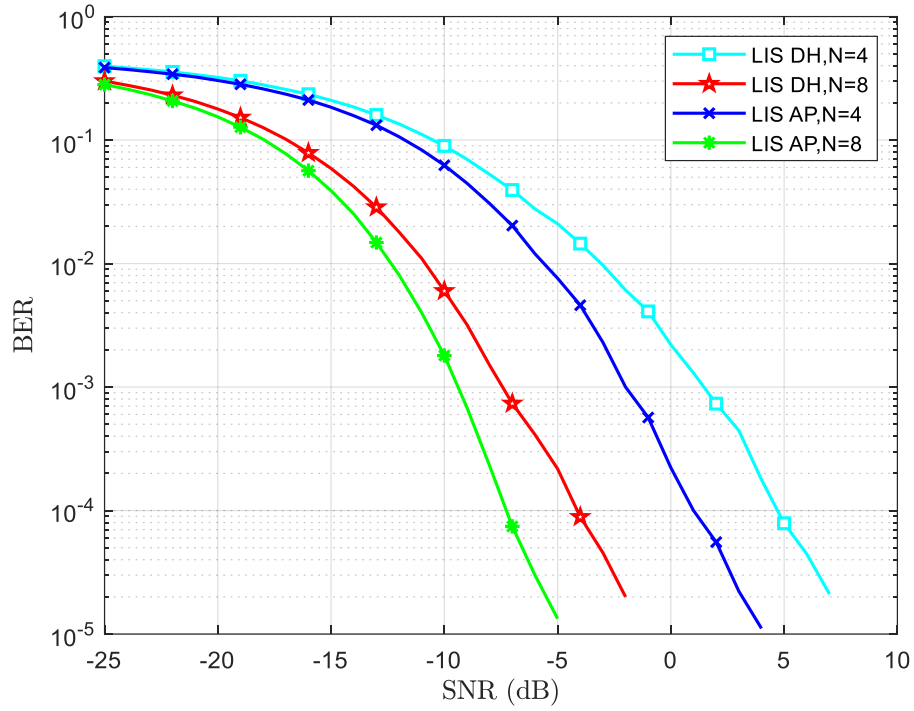
Şekil 4.4 LIS sistemlerinde Rician kanalı kullanarak BER analizi ($K=3$ dB)

LIS sistemlerinde Rician kanalı üzerinden farklı M (modülasyon derecesi) kullanarak Sembol Hata Oranı (SER) analizi Şekil 4.5'te ele alınmıştır. K değeri 1 dB olarak alınmış olup, M değeri 2 ve 4 olarak alınmıştır. N değeri 4 olarak alınmış olup, elde edilen sonuçlara göre Rician kanalında LIS AP sisteminin LIS DH sistemine göre daha başarılı performans sergilediği belirtilmiştir. SER oranının 10^{-3} olduğu durumda, LIS AP sistemi LIS DH sistemine göre 2 dB'lik iyileşme sağladığı gözlemlenmiştir.



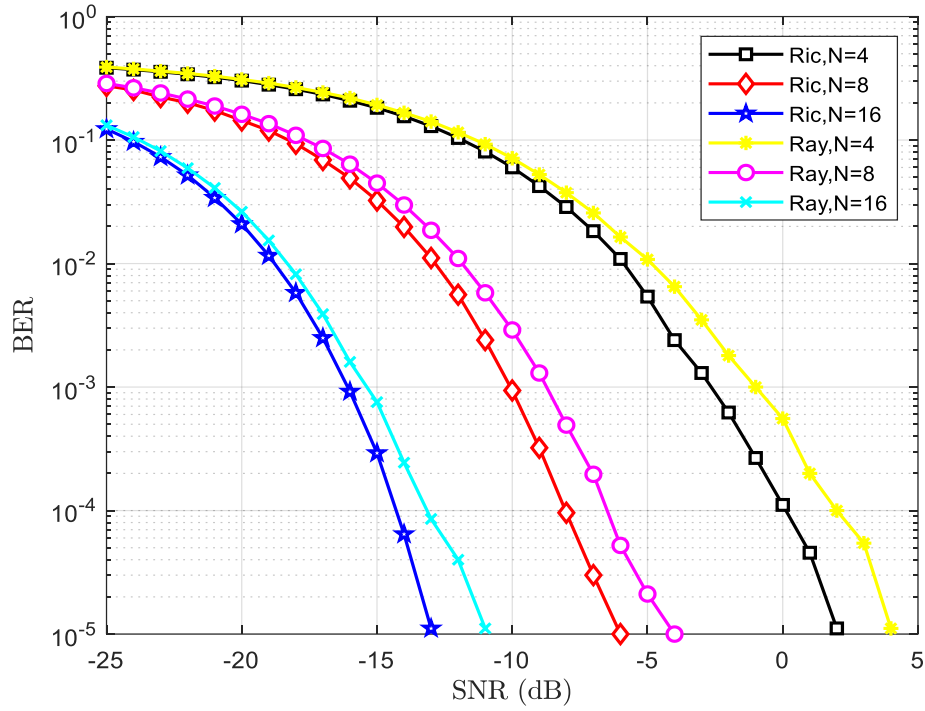
Şekil 4.5 Farklı M değerleri kullanarak LIS SER analizi ($K=1$ dB)

LIS AP ve LIS DH sistemlerinde farklı N değerleri kullanarak performans analizi Şekil 4.6'te ele alınmıştır. AP ve DH sisteminde BPSK modülasyon türü kullanılmıştır. K değeri 1 dB olarak alınmıştır. Şekil 4.6 incelendiği zaman, Rician kanalında AP sisteminin DH sistemine göre hata performans oranının daha iyi olduğu gösterilmiştir. BER oranının 10^{-3} olduğu, AP ve DH sistemlerinde aynı N değerleri baz alındığında, AP sisteminin DH sistemine göre yaklaşık olarak 3 dB'lik iyileşme sağladığı sonucu çıkarılmıştır.



Şekil 4.6 Rician kanalında LIS AP ve LIS DH sistemlerinde BER analizi
karşılaştırılması ($K=1$ dB)

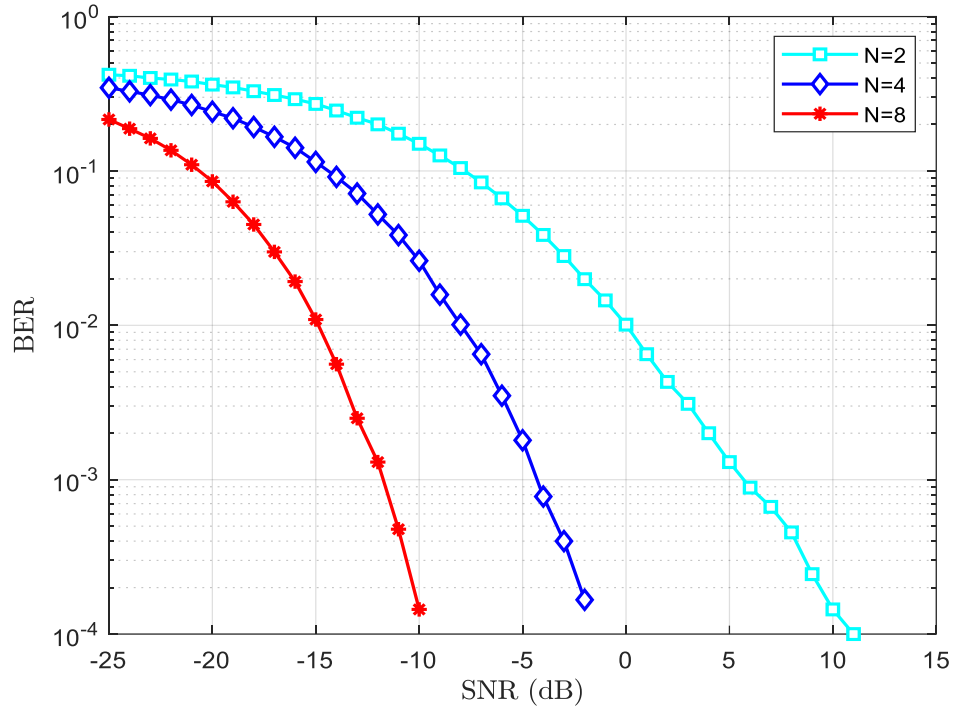
LIS sistemlerinde Rician ve Rayleigh kanallarının karşılaştırılması Şekil 4.7’de yapılmıştır. Modülasyon türü olarak BPSK modülasyonu kullanılmış olup, Rician kanalında K parametresi 2 dB olarak alınmıştır. $K = 0$ ’a gittiği zaman, yani verici ile alıcı arasında LOS yolu yoksa Rician dağılımı Rayleigh dağılımına dönüşür. K değeri arttıkça ve ∞ ’a doğru gittikçe Rician dağılımı ideal kanal tipi olan Toplamsal Beyaz Gauss Gürültüsü (AWGN)’ne dönüşecektir. Bu yüzden, Rician kanalı, Rayleigh kanalına göre daha iyi hata performans oranına sahip olduğu gösterilmiştir. BER oranının 10^{-3} olduğu ve N değerlerinin aynı olduğu durumlar incelendiği zaman, Rician kanalının yaklaşık olarak 2 dB’lik iyileşme sağladığı sonucu elde edilmiştir.



Şekil 4.7 LIS sistemlerinde Rician ve Rayleigh kanal karşılaştırılması ($K=2$ dB)

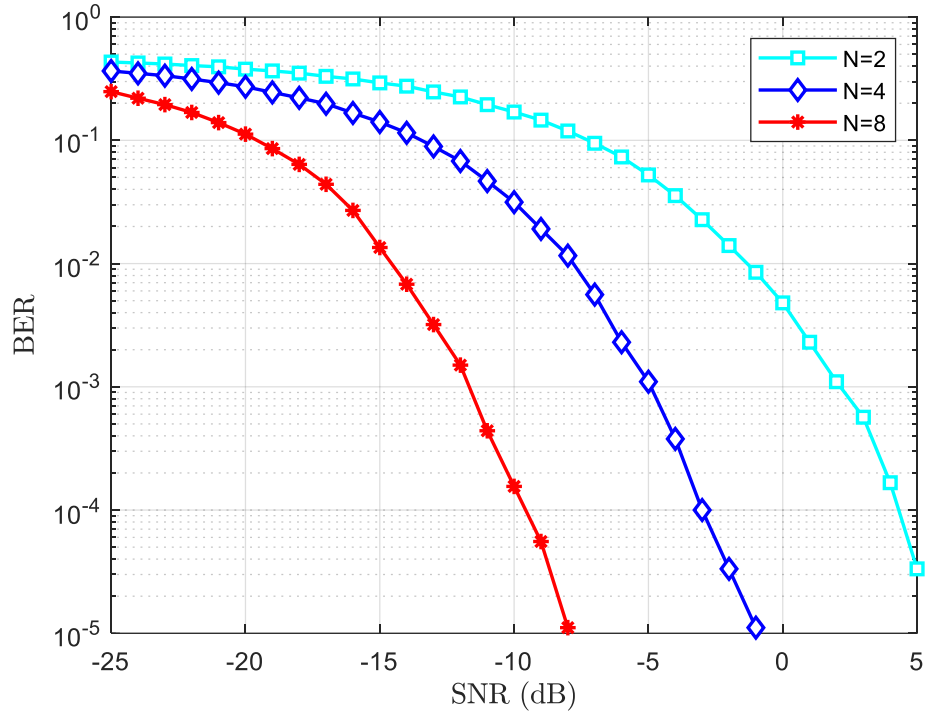
4.2 Weibull Kanalı

Bu kısımda LIS sistemlerinin Weibull kanalı kullanarak BER analizi yapılmıştır. Şekil 4.8’de performans analizi ele alınmıştır. Modülasyon türü olarak BPSK modülasyonu kullanılmıştır. Weibull kanalında kullanmış olduğumuz sönmülenme ve ölçekleme parametreleri 2 olarak alınmış olup, N değerinin artışıyla birlikte hata performans oranında iyileşme sağlanmıştır. BER oranının 10^{-3} olduğu ve N değerinin iki katına çıkması durumu incelendiği zaman, SNR değerinde yaklaşık olarak 8 dB’lik iyileşme olduğu gözlemlenmiştir.



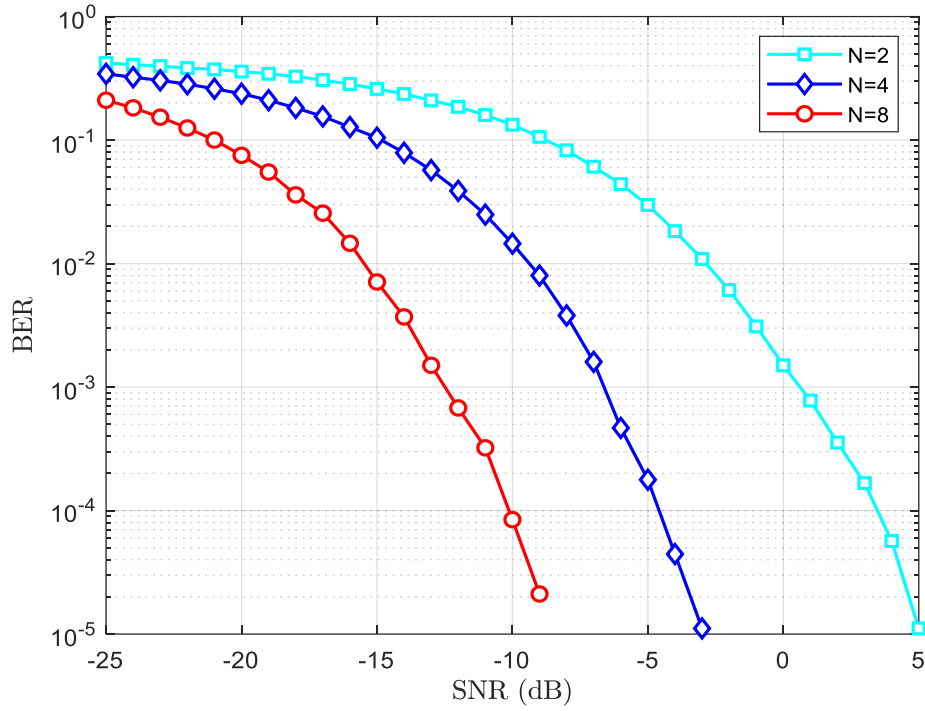
Şekil 4.8 LIS sistemlerinde Weibull kanalı kullanarak BER analizinin yapılması
(sönümlenme parametresi=2, ölçekleme parametresi=2)

LIS sistemlerinde Weibull kanalı kullanarak BER analizi Şekil 4.9'da ele alınmıştır. Modülasyon türü olarak BPSK modülasyonu kullanılmıştır. Weibull kanalında kullanılmış olan sönümlenme parametresi 4 olarak ve ölçekleme parametresi ise 2 olarak alınmış olup, N değerinin artışıyla birlikte hata performans oranında iyileşme sağlanmıştır. BER oranının 10^{-3} olduğu ve N değerinin iki katına çıkması durumu incelendiği zaman, SNR değerinde 8 dB'lik iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. BER oranının 10^{-3} olduğu durum incelendiği zaman, sönümlenme parametresinin artışıyla birlikte hata performans oranında Şekil 4.8'e göre yaklaşık olarak 2 dB'lik iyileşme olduğu görülmüştür.



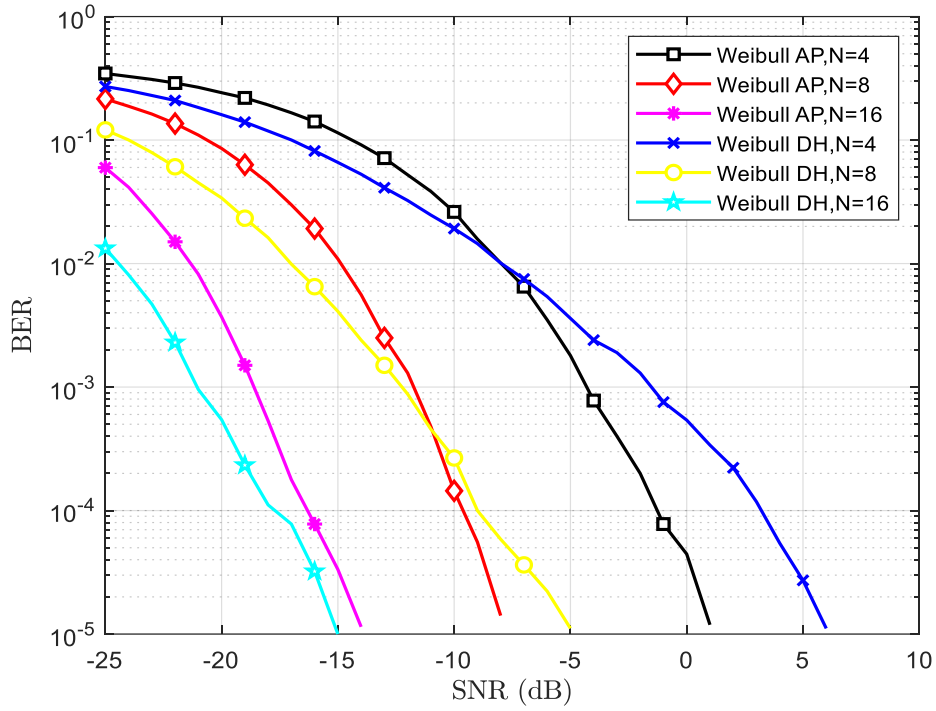
Şekil 4.9 LIS sistemlerinde Weibull kanalı kullanarak BER analizinin yapılması
(sönümlenme parametresi=4, ölçekleme parametresi=2)

LIS sisteminde Weibull kanalı kullanarak BER analizi Şekil 4.10'de ele alınmıştır. Modülasyon türü olarak BPSK modülasyonu kullanılmış olup, sönümlenme ve ölçekleme parametreleri 4 olarak alınmıştır. BER oranının 10^{-3} olduğu durumda Şekil 4.10 ile Şekil 4.8 karşılaştırıldığı zaman, sönümlenme ve ölçekleme parametrelerinin iki katına çıkmasıyla birlikte, hata performans oranında 3 dB'lik iyileşme görülmüştür. Bunun nedeni olarak, N sayısındaki artış ile birlikte çeşitliliğin artış göstermesidir. Buna ek olarak, sönümlenme ve ölçekleme parametrelerindeki artış ile birlikte Weibull kanalının AWGN'ye dönüşmesi beklenmektedir, bu durum neticesinde LIS sisteminde hata performans oranında iyileşme sağlandığı sonucuna varılmıştır.



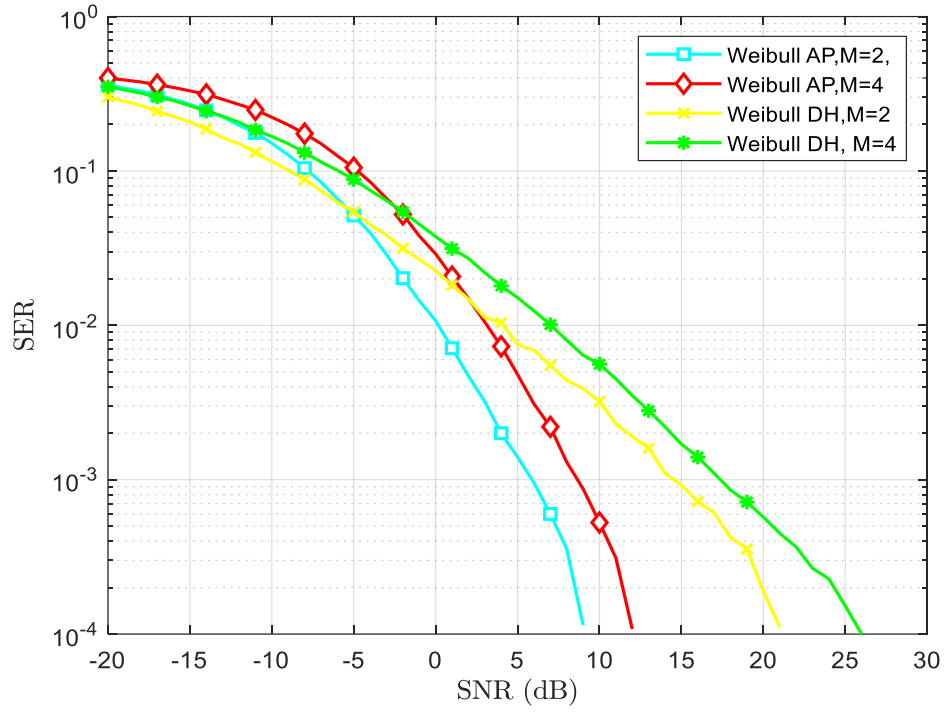
Şekil 4.10 LIS sistemlerinde Weibull kanalı kullanarak BER analizinin yapılması
(sönümlenme parametresi=4, ölçekleme parametresi=4)

LIS sistemlerinde Weibull kanalı kullanarak AP ve DH sistem modellerinin karşılaştırılması Şekil 4.11’de ele alınmıştır. Sönümlenme ve ölçekleme parametreleri 2 olarak alınmış olup, M değeri de 2 olarak alınmıştır. Weibull kanalında düşük SNR değerlerinde DH sisteminin daha başarılı olduğu görülmüştür ancak SNR değerinin büyümesi ile birlikte $N=4$ ve $N=8$ değerleri için AP sisteminin başarılı olduğu gözlemlenmiştir. DH sisteminin düşük SNR’da başarılı olmasının sebebi olarak, Weibull kanalında düşük SNR değerlerinde sönümlenme etkisi daha az olduğu içindir. SNR değeri arttıkça DH sisteminde çift sönümlenmeden dolayı performans zayıflar ve AP sistemi daha başarılı bir hale gelir. N değerinin küçülmesi ile birlikte AP ve DH sistemleri arasındaki SNR farkı gözle görülür bir şekilde artış göstermiştir.



Şekil 4.11 Weibull kanalında LIS AP ve LIS DH sistemlerinde BER analizi karşılaştırılması (Sönümlenme parametresi=2, Ölçekleme parametresi=2)

LIS sistemlerinde farklı M değerlerinin kullanılması ile birlikte SER analizi Şekil 4.12’de ele alınmıştır. M değerleri 2 ve 4 olarak alınmış olup sönümlenme ve ölçekleme parametreleri 2 olarak alınmıştır. LIS DH sistemi düşük SNR değerlerinde LIS AP sistemine göre daha başarılı olurken, SNR değerinin artışıyla birlikte LIS AP sisteminin daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun gerekçesi ise, Weibull kanalında düşük SNR değerlerinde sönümlenme etkisinin daha az olmasından dolayıdır. SER oranının 10^{-3} olduğu durum incelendiği zaman, LIS AP sisteminin kullanılmasının LIS DH sistemine göre yaklaşık olarak 9 dB’lik iyileşme sağladığı sonucu çıkarılmıştır.



Şekil 4.12 LIS sisteminde Weibull kanalı kullanarak farklı M değerlerinde SER analizi
(Sönümlleme parametresi=2, Ölçekleme parametresi=2)

5.BÖLÜM

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, 5G teknolojisinde kullanılması muhtemel teknolojilerden olan LIS teknolojisi incelenmiştir. LIS sistemlerinin hata performansı Rician ve Weibull kanalları kullanılarak bilgisayar simülasyonları aracılığıyla analiz edilmiştir. Rician kanalı için sönümlenme faktörünün artışıyla beraber hata performans oranında iyileşme olduğu, modüle edilmemiş taşıyıcı sinyalin LIS tarafından yansıtıldığı ve basit alıcı-verici AP sisteminin DH sistemine göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Bunun gerekçesi olarak ise, AP sisteminin yansıtıcı olmasının yanında bilgi iletimi de sağladığı için DH sisteminden daha başarılı olduğu söylenir. Ayrıca Rician kanalının Rayleigh kanalından daha başarılı olduğu gösterilmiştir. Bunun sebebi olarak ise, K sönümlenme parametresinin artışı ile birlikte ideal kanal tipi AWGN'ye yaklaşılmasıdır. Weibull kanalında ise sönümlenme ve ölçeklenme parametrelerinin artışının hata performans oranını iyileştirdiği ve düşük SNR değerlerinde DH sistemi daha başarılı iken SNR değerinin artmasıyla beraber AP sisteminin daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak, Weibull kanalı düşük SNR değerlerinde sönümlenme etkisinden daha az etkilenirken, SNR değerinin yükselmesiyle beraber sönümlenme etkisi de artar. Bununla beraber, SNR değerinin yükselmesi ile birlikte DH sisteminde çift sönümlenme olduğu için performansı zayıflamaktadır.

Gelecekteki çalışmalara katkıda bulunmak için, LIS'in yansıtıcı eleman sayısının artışıyla birlikte daha iyi performans sağladığını ve bu durumun kablosuz haberleşmede MIMO'nun ötesinde veri iletimi için umut vaat eden bir araştırma konusu olduğunun altı çizilmelidir.

KAYNAKÇA

- 1) Huang, C., Alexandropoulos, G. C., Zappone, A., Debbah, M. and Yuen, C., Dec. 2018. Energy efficient multi-user MISO communication using low resolution large intelligent surfaces, pp. 1–6. in *Proceeding IEEE GLOBECOM Workshops*, 2018, Abu Dabi.
- 2) Basar, E., 2019. Transmission Through Large Intelligent Surfaces: A New frontier in wireless communications, pp.112-117. *European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*, Valencia, İspanya.
- 3) Huang, C., Zappone, A., Alexandropoulos, G. C., Debbah, M. And Yuen, C., 2019. Reconfigurable intelligent surfaces for energy efficiency in wireless communication. **IEEE Transactions on Wireless Communications**, **18**(8): 4157-4170.
- 4) Dardari, D., 2019. Communication with large intelligent surfaces: fundamental limits and models. **CoRR**, **38**(11): 2526-2537.
- 5) Hu, S., Rusek, F., and Edfors, O., 2018. Beyond Massive MIMO: The potential of data transmission with large intelligent surfaces. **IEEE Transactions on Signal Processing**, **66**(10): 2746-2758.
- 6) Yuan, J., Ngo, H. Q., and Matthaiou, M., 2020. Large intelligent surface (LIS)-based communications: new features and system layouts, pp.1-6. *IEEE International Conference on Communications*, Dublin, İrlanda.
- 7) Thirumavalavan, V. C., and Jayaraman, T. S., 2020. BER analysis of reconfigurable intelligent surface assisted downlink power domain NOMA system, pp. 519–522. *IEEE International Conference on Communication Systems & Networks (COMSNETS)*, Bangalore, Hindistan.
- 8) Hu, S., and Rusek, F., 2020. Spherical large intelligent surfaces, pp. 8673–8677. in *IEEE ICASSP*, Barselona, İspanya, 4964.
- 9) Han, Y., Tang, W., Jin, S., Wen, C.-K., and Ma, X. 2019. Large intelligent surface-assisted wireless communication exploiting statistical CSI. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, **68**(8): 8238-8242.
- 10) Taha, A., Alrabeiah, M., and Alkhateeb, A., 2019. Enabling large intelligent surfaces with compressive sensing and deep learning.

- 11) Sanchez, J. R., Rusek, F., Edfors, O., and Liu, L., 2019. An iterative interference cancellation algorithm for large intelligent surfaces.
- 12) Zhao, W., Wang, G., Atapattu, S., Tsiftsis, T. A., and Ma, X., 2020. Performance analysis of large intelligent surface aided backscatter communication systems. **IEEE Wireless Communication Letters**, 9(7): 962-966.
- 13) Alghamdi, R., et al. 2020. Intelligent surfaces for 6G wireless networks: a survey of optimization and performance analysis techniques. **IEEE Access**.
- 14) Makarfi, A. U., Rabie, K. M., Kaiwartya, O., Li, X., and Kharel, R., 2019. Physical layer security in vehicular networks with reconfigurable intelligent surfaces, pp. 1-6. *IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC 2020-Spring)*. Antwerp, Belçika.
- 15) Shannon, C., 1948. A Mathematical Theory of Communication. Bell System Technical Journal 27: 379–423 and 623–656.
- 16) Mesleh, R., Alhasssi. A., 2018. Space Modulation Techniques. Wiley Telecom. Pp.288.
- 17) ITU-R, 2008. Requirements related to technical performance for IMT-advanced radio interface(s). Tech, *Report ITU-R M.2134*. ITU
- 18) Bayar, S., 2016. 5G mobil iletişim teknolojileri nereye gidiyor?. **Elektrik Mühendisleri Odası dergisi**. Sayı- 457: 20-22.
- 19) CISCO, 2016. Cisco visual networking index: global mobile data traffic forecast update, White paper.
- 20) Bogale, T. E., and Le, L. B., 2016. Massive MIMO and mmWave for 5G wireless HetNet: potential benefits and challenges, in **Proceeding IEEE Vehicular Technology Magazine**, 11(1): 64–75.
- 21) <https://www.turktelekom.com.tr/hakkimizda/duyurular/Documents/tt-5g-final-version-03082018.pdf>, (Erişim tarihi: Mart 2021)
- 22) <https://www.btk.gov.tr/uploads/announcements/5g-ve-dikey-sektorler-raporu-yayimlandi/20180308-5gvedikeysektorlerraporu.pdf>, (Erişim tarihi: Mart 2021)
- 23) Kumar, A., Gupta. M., 2018. A review on activities of fifth generation mobile communication system. **Alexandria Engineering Journal**, 57(2): 1125-1135.

- 24) Le, N.T., Hossain, M.A., Islam, A., Kim, D.-Y., Choi, Y.-J., Jang, Y.M., 2016. Survey of promising technologies for 5G networks. **Mobile Information Systems**.
- 25) Andrews, J. G., et al., 2014. What will 5G be? **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, 32(6):1065–1082.
- 26) Buzzi, S., et al., 2016. A survey of energy-efficient techniques for 5G networks and challenges ahead. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, 34(4): 697–709.
- 27) Zappone, A., and Jorswieck, E., 2015. Energy efficiency in wireless networks via fractional programming theory. **Now Foundations and Trends**, 11(3-4): 185–396.
- 28) Han, C., et al., 2011. Green radio: radio techniques to enable energy-efficient wireless networks. **IEEE Communications Magazine**, 49(6):46–54.
- 29) C. Johnson. 2019. 5G New Radio in Bullets, pp. 592.
- 30) <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/mimo/massive-mimo-large.php> , (Erişim tarihi: Mart 2021).
- 31) Adnan, N. H. M., Rafiqul, I. M., and Alam, A. H. M. Z., 2016. Massive MIMO for fifth generation (5G): opportunities and challenges, pp. 47–52. *International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE)*, Kuala Lumpur, Malezya.
- 32) Dikmen, O., Kulaç, S., 2018. Determining the difficulties of massive MIMO technology for next generation wireless system. **Journal of Engineering Research and Applied Science**, 7(2): 896-901.
- 33) Larsson, E. G., Tufvesson, F., Edfors, O., and Marzetta, T. L., 2014. Massive MIMO for next generation wireless systems. **IEEE Communication Magazine**, 52(2): 186–195.
- 34) Simon, M. K., Alouini, M-S., 2005. Digital Communication over Fading Channels. John Wiley & Sons, New Jersey, 900 pp.
- 35) Hashemi, H., 1993. The indoor radio propagation channel. **Proceedings of the IEEE**, 81(7): 943-968.
- 36) Cheng, J., Tellambura, C., and Beaulieu, N. C., 2004. Performance of digital linear modulations on weibull slow-fading channels, **IEEE Transaction on Communications**, 52(8): 1265–1268.

- 37) Ferreira, R. C., Facina, M. S. P., Figueiredo F. A. P. D., Fraidenraich, G., and Lima, E. R. D., 2020. Bit error probability for large intelligent surfaces under double-nakagami fading channels, **IEEE Open Journal of the Communications Society**, **1**: 750–759.
- 38) Di Renzo, M., et al., 2019. Reconfigurable intelligent surfaces vs. relaying: differences, similarities, and performance comparison. **IEEE Open Journal of the Communications Society**, **1**: 798-807. arXiv:1908.08747.
- 39) Di Renzo, M., et al., 2020. Smart radio environments empowered by reconfigurable intelligent surfaces: How it works, state of research, and road ahead, **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, **38**(11): 2450-2525.
- 40) Basar, E., et al., 2019. Wireless communications through reconfigurable intelligent surfaces. **IEEE Access**, **7**: 16753–116773.
- 41) Katz, M., et al., 2018. 6Genesis flagship program: Building the bridges towards 6G-enabled wireless smart society and ecosystem. pp. 1–9. *IEEE 10th Latin-American Conference Communications (LATINCOM)*, Doi: 10.1109/LATINCOM.2018.8613209, Guadalajara, Meksika.
- 42) Hu, S., Rusek, F., and Edfors, O., 2017. Cramer-Rao lower bounds for positioning ' with large intelligent surfaces, pp. 1–6. *in Proceeding IEEE 86th Vehicular Technology Conference*, Toronto, Kanada.
- 43) Griffin, J. D., and Durgin, G. D., 2008. Gains for RF tags using multiple antennas. **IEEE Transaction on Antennas and Propagation**, **56**(2): 563–570.
- 44) Zhang, S., Wu, Q., Xu, S., and Li, G. Y., 2016. Fundamental green tradeoffs: progresses, challenges, and impacts on 5G networks. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, **19**(1) :33–56.
- 45) Hu, S., Rusek, F., and Edfors, O., 2017. The potential of using large antenna arrays on intelligent surfaces, pp. 1-6. *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC)*, Sydney.
- 46) Yuan, X., Zhang, Y.-J., Shi, Y., Yan, W., and Liu, H., 2020. Reconfigurable intelligent-surface empowered 6G wireless communications: Challenges and opportunities.

- 47) Badiu, M.-A., and Coon, J. P., 2019. Communication through a large reflecting surface with phase errors. **IEEE Wireless Communications Letters**, (9)2: 184-188.
- 48) Subrt, L., and Pechac, P., 2012. Controlling propagation environments using intelligent walls, pp. 1-5. *In 2012 6th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP)*, Prag, Çekya.
- 49) Cui, T. J., et al., 2014. Coding metamaterials, digital metamaterials and programmable metamaterials. **Light: Science & Applications**, 3(10): e218-e218.
- 50) Yuan, J., Ngo, H. Q., and Matthaiou, M., 2020. Large intelligent surface (LIS)-based communications: New features and system layouts, pp.1-6. *In Proceedings IEEE ICC*, Dublin, İrlanda.
- 51) Liaskos, C., Nie, S., Tsioliaridou, A., Pitsillides, A., Ioannidis, S. and Akyildiz, I., 2018. A new wireless communication paradigm through software-controlled metasurfaces, **IEEE Communications Magazine**, 56(9): 162–169.
- 52) Puglielli, A., Narevsky, N., Lu, P., Courtade, T., Wright, G., Nikolic, B., and Alon, E., 2015. A scalable massive MIMO array architecture based on common modules, pp. 1310-1315. *IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW)*, London, UK.
- 53) Di Renzo, M., et al., 2019. Smart radio environments empowered by reconfigurable AI meta-surfaces: An idea whose time has come, **EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking**, 2019(1): 1-20.
- 54) Nadeem, Q.-U.-A., Kammoun, A., Chaaban, A., Debbah, M., and 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.
- 55) Bjornson, E., Ozdogan, O., and 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.
- 56) Liu, Y., et al., 2020. Reconfigurable intelligent surfaces: Principles and opportunities, **IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking**, 6: 990-1002.

- 57) Chiaraviglio, L., Elzanaty, A., and Alouini, M.-S., 2020. Health risks associated with 5G exposure: A view from the communications engineering perspective.
- 58) Wyde, M., Cesta, M., Blystone, C., Brix, A., Bucher J., 2018. Toxicology and carcinogenesis studies in hsd: Sprague dawley SD rats exposed to wholebody radio frequency radiation at a frequency (900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones. National Toxicology Program, US Department of Health and Human Services.
- 59) Zhang, Q., Liang, Y.-C., and Poor, H. V., 2020. Large intelligent surface/antennas (LISA) assisted symbiotic radio for IoT communications.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Furkan ARSLAN
Uyruğu: Türkiye (T.C.)
Doğum Tarihi ve Yeri: 04.08.1995 - KAYSERİ
Medeni Durum: Bekar
e- posta: furkan.arslan@erciyes.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği	
Lisans	Eskişehir Anadolu Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2018
Lise	Nevşehir Anadolu Lisesi, NEVŞEHİR	2013

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
Mart 2020-Halen	Erciyes Üniversitesi	Araştırma Görevlisi (35. Madde)
Aralık 2019-	Kars Kafkas Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YABANCI DİL

İngilizce

BİLDİRİ VE MAKALE

Bildiri

- 1) Arslan, F., Develi, İ., 2020. Kablosuz haberleşme için geniş akıllı yüzeylerin kullanımının incelenmesi, pp.144. *4th Engineers of Future International Student Symposium (EFIS)*, Zonguldak.

Makale

- 1) Arslan, F., Adıgüzel, Ö., Develi, İ., 2021. An investigation of large intelligent surfaces over different fading channels, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 37(1): 169-178, Kayseri.