

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YÜKSEK RAKIMLI PLATFORM İSTASYONLARDA (HAPs) YAYILIM
MODELLEMESİ VE BAŞARIM ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Müh. Zeynep HASIRCI

**MAYIS 2011
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YÜKSEK RAKIMLI PLATFORM İSTASYONLARDA (HAPs) YAYILIM
MODELLEMESİ VE BAŞARIM ANALİZİ**

Elektrik-Elektronik Müh. Zeynep HASIRCI

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Elektronik Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26.04.2011
Tezin Savunma Tarihi : 11.05.2011**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAVDAR
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Haydar KAYA
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Çetin CÖMERT**

Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Trabzon 2011

ÖNSÖZ

“Yüksek Rakımlı Platform İstasyonlarda (HAPs) Yayılım Modellemesi ve Başarım Analizi” adlı bu çalışma Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında “Yüksek Lisans Tezi” olarak seçilmiştir.

Yüksek Lisans tez konusunun belirlenmesinde ve çalışmaların programlı bir şekilde tamamlanmasında göstermiş olduğu desteklerden dolayı değerli tez danışmanım Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAVDAR’ a saygılarımı sunuyorum. Bilgi, deneyim ve manevi desteğinizle her zaman yanımda olup beni cesaretlendirdiğiniz için teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca gösterdikleri anlayış, sabır ve hoşgörülerinden dolayı sevgili aileme ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürler.

Zeynep HASIRCI

Trabzon 2011

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. HAPs Haberleşme Sistemlerinin Gelişimi ve Literatür Çalışması	2
1.3. HAPs Sistemine Genel Bakış	4
1.4. HAPs Sisteminin Bileşenleri	7
1.4.1. Stratosferik Kısım	8
1.4.1.1. Stratosferin Özellikleri	9
1.4.1.2. Platformlar	10
1.4.1.3. Uzaktan Ölçüm, İzleme ve Kumanda Etme	11
1.4.1.4. Yükseklik ve Denge Kontrolü	13
1.4.1.5. Enerji Sağlama	13
1.4.2. Yer Kısım	14
1.4.2.1. Antenler	15
1.4.2.2. Düşük Gürültülü Yükselteçler (LNA)	17
1.4.2.3. Yüksek Güçlü Yükselteçler (HPA)	17
1.4.2.4. Yazılım	17
1.4.2.5. İnsanlar	18
1.5. Uygulamaları ve Sağladığı Servisleri	18
1.6. Karasal ve Uydu Haberleşme Sistemleri ile Karşılaştırılması	19
1.7. Dünyadaki Gelişimi ve Yürütülen Projeler	20
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR	28
2.1. Giriş	28

2.2.	HAPs Sisteminde Yayılım Ortamlarının Belirlenmesi.....	28
2.3.	Yayılım Ortamlarının Bilinen İstatistiksel Modellerle Modellenmesi	32
2.3.1.	Yarı Kent Sönümlleme Derinliği Dağılımı	33
2.3.2.	Kent Sönümlleme Derinliği Dağılımı.....	38
2.3.3.	Yoğun Kent Sönümlleme Derinliği Dağılımı	42
2.3.4.	Yüksek Yapılı (Metropol) Kent Sönümlleme Derinliği Dağılımı.....	47
2.4.	Model Parametreleri Arasındaki İlişki Katsayılarının Belirlenmesi	51
2.5.	Çoklu Lineer Regresyon Analizi ile Model Parametrelerine Bağlı Sönümlleme Derinliği Dağılımlarının Elde Edilmesi	53
2.6.	Yükselme Açısının Toplam Kapsama Alanındaki Dağılım Modeli.....	58
2.6.1.	%99, %95 ve %90 Başarım Hedefleriyle Oluşabilecek Sönümlleme Derinliklerinin Toplam Kapsama Alanındaki Olasılık Dağılımı	62
2.7.	HAPs Sistemi 2-6 GHz Frekans Bandında Toplam Yol Kaybı Modeli	64
2.7.1.	Yarı Kent Toplam Yol Kaybı Modeli.....	71
2.7.2.	Kent Toplam Yol Kaybı Modeli.....	72
2.7.3.	Yoğun Kent Toplam Yol Kaybı Modeli	73
2.7.4.	Yüksek Yapılı Kent Toplam Yol Kaybı Modeli	75
2.8.	HAPs Sisteminde Kanal Başarım Analizi (BER, SNR)	76
3.	İRDELEME VE SONUÇLAR.....	81
4.	ÖNERİLER.....	85
5.	KAYNAKLAR.....	86
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Kablosuz gezgin haberleşme servislerinde, yüksek veri hızı taleplerindeki sürekli artış, daha yenilikçi ve daha çok isteğe cevap verebilen haberleşme altyapılarına ihtiyacı da arttırmıştır. Karasal yer tabanlı sistemler ve uydu sistemleri, gezgin haberleşme servislerini sağlamada kullanılan sistemlerdir.

Hem karasal yer tabanlı sistemlerin hem de uydu sistemlerinin birtakım dezavantajlarına çözüm olarak ve hücresel haberleşme teknolojisine yenilikçi bir bakış açısı olarak "Yüksek Rakımlı Platform İstasyon (High Altitude Platform Station-HAPs) " teknolojisi karşımıza çıkar. Bu nedenle bu alanda yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Bu tezde HAPs (Yüksek Rakımlı Platform İstasyon) sistemlerinde yayılım modellenmesi ve kanal başarımı üzerinde çalışılmıştır. Yükselme açısı modelin en önemli parametresidir. Olası yayılım ortamları, Yarı kent (SU), Kent (U), Yoğun kent (DU) ve Yüksek yapılı (Metropol) kent (UHR) olmak üzere dört gruba bölünmüştür. Bu gruplar bilinen istatistiksel modeller kullanılarak yükselme açısına bağlı olarak modellenmiştir. Modeldeki temel parametreler yükselme açısı, Rayleigh-Rice yayılım katsayıları ve sönümlleme derinliğinin başarımlı yüzdesi olmuştur. Model parametrelerinin etkilerini gözlemlemek için sönümlleme derinliği ile parametreler arasındaki ilişki katsayıları hesaplanmıştır. Aynı zamanda yükselme açısının ve her bir yükselme açısına karşılık gelen sönümlleme derinliklerinin toplam alandaki olasılık dağılımı hesaplanmış ve yükselme açısına bağlı bir dağılım fonksiyonu olarak ifade edilmiştir.

Sonuç olarak oluşturulan sönümlleme modeli serbest uzay yol kaybı ile birleştirilerek, 2-6 GHz frekans bandında, HAPs için olası dört yayılım ortamında toplam yol kaybı modelleri oluşturulmuştur. Bunun ardından, mevcut her bir yayılım ortamı için farklı durumlarda kanal başarımlı analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz Haberleşme, Geniş Bant Kablosuz Erişim, Gezgin Haberleşme, Yüksek Rakımlı Platform İstasyon, HAPs, Yayılım Modelleme, Yol Kaybı, Kanal Başarımlı.

SUMMARY

Propagation Modeling and Performance Analysis on the High Altitude Platform Stations (HAPS)

The increasing demand for higher data rate wireless mobile communications services has accelerated the need to develop more innovative communications infrastructures. Terrestrial ground-based systems and satellite systems are the systems which is used for providing mobile communications services.

An innovative way of overcoming the shortcomings of both terrestrial ground-based systems and satellite systems, is to provide cellular communications via “High Altitude Platform Station (HAPS)”. So there are many researchs in this area.

In this thesis, propagation modeling and performance analysis on the HAPs are obtained. Elevation angle is the dominant parameter on the model. All possible propagation environments are divided into four groups: suburban (SU), urban (U), dense urban (DU) and urban high rise (UHR) area. These groups are modeled using well-known statistical models with a dependence on elevation angle. The main parameters are the elevation angle, Rayleigh and Ricean factors, and percentage of time a given fade depth is exceeded. To observe the effects of the parameters on the model, the correlation coefficients between model parameters and the fade depth are calculated. At the same time, probability distribution of elevation angle and fading depths are calculated, expressed as a distribution function with a dependence on elevation angle.

In a conclusion, obtained models are combined with free space path loss, and full formulations of total path loss for the four possible HAPs propagation environments at 2-6 GHz frequency band are given. Then, channel performance analysis is made for all possible propagation environments.

Key Words: Wireless Communications, Broadband Wireless Access, Mobile Communications, High Altitude Platform Station, HAPS, Propagation Modelling, Path Loss, Channel Performance.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1	22 km yükseklikteki HAPs sisteminde kapsama alanı yarıçapları 6
Şekil 1.2	Atmosferin katmanları 9
Şekil 1.3	Yüksekliğe bağlı rüzgar hızı değişimi 10
Şekil 1.4	HAPs sisteminde stratosferik bileşeninin alt sistemleri 11
Şekil 1.5	HAPs sisteminde yer bileşeninin alt sistemleri ve karasal alt sistemler 14
Şekil 1.6	SHARP 21
Şekil 1.7	SkyStation 21
Şekil 1.8	HALO 22
Şekil 1.9	Pathfinder Plus 23
Şekil 1.10.	Helinet 24
Şekil 1.11.	SkyNet 26
Şekil 1.12.	M-55GN 27
Şekil 2.1.	LOS ve NLOS senaryolarının geometrisi 30
Şekil 2.2.	Seçili yayılım ortamları için yükselme açısına bağlı LOS olasılığı..... 31
Şekil 2.3.	Yarı kent (SU)-yükselme açısına bağlı sönmüleme derinliği (K1=10 dB, K2=10 dB) 33
Şekil 2.4.	Yarı kent (SU)-yükselme açısına bağlı sönmüleme derinliği (K1=10 dB , K2=15 dB) 34
Şekil 2.5.	Yarı kent (SU)-yükselme açısına bağlı sönmüleme derinliği (K1=10 dB, K2=20 dB) 34
Şekil 2.6.	Yarı kent (SU)-yükselme açısına bağlı sönmüleme derinliği (K1=15 dB, K2=10 dB) 35
Şekil 2.7.	Yarı kent (SU)-yükselme açısına bağlı sönmüleme derinliği (K1=15 dB, K2=15 dB) 35
Şekil 2.8.	Yarı kent (SU)-yükselme açısına bağlı sönmüleme derinliği (K1=15 dB, K2=20 dB) 36
Şekil 2.9.	Yarı kent (SU)-yükselme açısına bağlı sönmüleme derinliği (K1=20 dB, K2=10 dB) 36

Şekil 2.10.	Yarı kent (SU)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=20 dB, K2=15 dB)	37
Şekil 2.11.	Yarı kent (SU)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=20 dB, K2=20 dB)	37
Şekil 2.12.	Kent (U)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=10 dB, K2=10 dB)	38
Şekil 2.13.	Kent (U)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=10 dB, K2=15 dB)	38
Şekil 2.14.	Kent (U)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=10 dB, K2=20 dB)	39
Şekil 2.15.	Kent (U)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=15 dB, K2=10 dB)	39
Şekil 2.16.	Kent (U)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=15 dB, K2=15 dB)	40
Şekil 2.17.	Kent (U)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=15 dB, K2=20 dB)	40
Şekil 2.18.	Kent (U)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=20 dB, K2=10 dB)	41
Şekil 2.19.	Kent (U)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=20 dB, K2=15 dB)	41
Şekil 2.20.	Kent (U)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=20 dB, K2=20 dB)	42
Şekil 2.21.	Yoğun kent (DU)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=10 dB, K2=10 dB)	42
Şekil 2.22.	Yoğun kent (DU)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=10 dB, K2=15 dB)	43
Şekil 2.23.	Yoğun kent (DU)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=10 dB, K2=20 dB)	43
Şekil 2.24.	Yoğun kent (DU)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=15 dB, K2=10 dB)	44
Şekil 2.25.	Yoğun kent (DU)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=15 dB, K2=15 dB)	44

Şekil 2.26.	Yoğun kent (DU)-yükselme açısına bağlı sönümlleme derinliği (K1=15 dB, K2=20 dB)	45
Şekil 2.27.	Yoğun kent (DU)-yükselme açısına bağlı sönümlleme derinliği (K1=20 dB, K2=10 dB)	45
Şekil 2.28.	Yoğun kent (DU)-yükselme açısına bağlı sönümlleme derinliği (K1=20 dB, K2=15 dB)	46
Şekil 2.29.	Yoğun kent (DU)-yükselme açısına bağlı sönümlleme derinliği (K1=20 dB, K2=20 dB)	46
Şekil 2.30.	Yüksek yapılı kent (UHR)-yükselme açısına bağlı sönümlleme derinliği (K1=10 dB, K2=10 dB)	47
Şekil 2.31.	Yüksek yapılı kent (UHR)-yükselme açısına bağlı sönümlleme derinliği (K1=10 dB, K2=15 dB)	47
Şekil 2.32.	Yüksek yapılı kent (UHR)-yükselme açısına bağlı sönümlleme derinliği (K1=10 dB, K2=20 dB)	48
Şekil 2.33.	Yüksek yapılı kent (UHR)-yükselme açısına bağlı sönümlleme derinliği (K1=15 dB, K2=10 dB)	48
Şekil 2.34.	Yüksek yapılı kent (UHR)-yükselme açısına bağlı sönümlleme derinliği (K1=15 dB, K2=15 dB)	49
Şekil 2.35.	Yüksek yapılı kent (UHR)-yükselme açısına bağlı sönümlleme derinliği (K1=15 dB, K2=20 dB)	49
Şekil 2.36.	Yüksek yapılı kent (UHR)-yükselme açısına bağlı sönümlleme derinliği (K1=20 dB, K2=10 dB)	50
Şekil 2.37.	Yüksek yapılı kent (UHR)-yükselme açısına bağlı sönümlleme derinliği (K1=20 dB, K2=15 dB)	50
Şekil 2.38.	Yüksek yapılı kent (UHR)-yükselme açısına bağlı sönümlleme derinliği (K1=20 dB, K2=20 dB)	51
Şekil 2.39.	HAPs sistemi kapsama geometrisi (yeryüzü düz kabul edildiğinde).....	58
Şekil 2.40.	HAPs sisteminde toplam kapsama alanı	59
Şekil 2.41.	HAPs sisteminde toplam kapsama alanı için yükselme açısının olasılık yoğunluk fonksiyonu	60
Şekil 2.42.	HAPs sisteminde toplam kapsama alanında $\theta_i \geq 5^\circ$ için yükselme açısının olasılık yoğunluk fonksiyonu	61

Şekil 2.43.	HAPs sisteminde toplam kapsama alanında $\theta_i \geq 5^\circ$ için yükselme açısının olasılık dağılım fonksiyonu	61
Şekil 2.44.	%90 başarımla hedefi ile oluşabilecek sönümlenme derinliklerinin toplam kapsama alanındaki dağılımı	62
Şekil 2.45.	%95 başarımla hedefi ile oluşabilecek sönümlenme derinliklerinin toplam kapsama alanındaki dağılımı.....	63
Şekil 2.46.	%99 başarımla hedefi ile oluşabilecek sönümlenme derinliklerinin toplam kapsama alanındaki dağılımı	63
Şekil 2.47.	HAPs sistemi kapsama geometrisi (yer eğriliği hesaba katıldığında).....	64
Şekil 2.48.	Tüm bölgeler için r (km) izdüşüm uzaklığına bağlı toplam yol kaybı	67
Şekil 2.49.	Yarı kent r (km) izdüşüm uzaklığına bağlı toplam yol kaybı	67
Şekil 2.50.	$a(x-b)^c$ ve $a x-b ^c$ fonksiyonlarının oluşturulması	68
Şekil 2.51.	Standart sigmoid fonksiyonu ve ötelemesi b, $k \geq 100$ için oluşturulan sigmoid fonksiyonu	69
Şekil 2.52.	Sigmoid ve kuvvet fonksiyonlarının kullanılması ile yarı kent bölgesi için temel teşkil eden fonksiyonun oluşturulması.....	70
Şekil 2.53.	2.0, 3.5, 5.5 GHz için toplam yol kaybının izdüşüm uzaklığına bağlı değişimi (Yarı kent)	72
Şekil 2.54.	2.0, 3.5, 5.5 GHz için toplam yol kaybının izdüşüm uzaklığına bağlı değişimi (Kent)	73
Şekil 2.55.	2.0, 3.5, 5.5 GHz için toplam yol kaybının izdüşüm uzaklığına bağlı değişimi (Yoğun kent)	74
Şekil 2.56.	2.0, 3.5, 5.5 GHz için toplam yol kaybının izdüşüm uzaklığına bağlı değişimi (Yüksek yapı kent)	75
Şekil 2.57.	Yarı kent için kanal başarımla	77
Şekil 2.58.	Kent için kanal başarımla	78
Şekil 2.59.	Yoğun kent için kanal başarımla	79
Şekil 2.60.	Yüksek yapı kent (metropol) kent için kanal başarımla	80

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Yükselme açılarına göre kapsama yarıçapları	6
Tablo 2.1. Seçili yayılım ortamlarında ITU-R Rec. P.1410 modeli parametreleri ...	29
Tablo 2.2. LOS olasılık hesabı için parametreler	32
Tablo 2.3. %99 başarımlık için ilişki katsayıları	52
Tablo 2.4. %95 başarımlık için ilişki katsayıları	52
Tablo 2.5. %90 başarımlık için ilişki katsayıları	52
Tablo 2.6. SPSS ile çoklu regresyon analizinde örnek program çıktısı	54
Tablo 2.7. Lineer çoklu regresyon analizi ile elde edilen denklem katsayıları (%99 Başarımlık)	56
Tablo 2.8. Lineer çoklu regresyon analizi ile elde edilen denklem katsayıları (%95 Başarımlık)	57
Tablo 2.9. Lineer çoklu regresyon analizi ile elde edilen denklem katsayıları (%90 Başarımlık)	57
Tablo 2.10. $f=2.0$ GHz için beklenen toplam yol kayıpları	65
Tablo 2.11. $f=3.5$ GHz için beklenen toplam yol kayıpları	66
Tablo 2.12. $f=5.5$ GHz için beklenen toplam yol kayıpları	66
Tablo 3.1. Yol kaybı modellerinin, hesaplar ile arasındaki hata ortalamaları ve standart sapmaları	83

SEMBOLLER DİZİNİ

<i>ABD</i>	:	Amerika Birleşik Devletleri
<i>AWGN</i>	:	<i>Additive White Gaussian Noise</i> (Toplanır Beyaz Gauss Gürültüsü)
<i>BER</i>	:	<i>Bit error rate</i> (Bit hata oranı)
<i>BWA</i>	:	<i>Broadband Wireless Access</i> (Geniş bant kablosuz erişim)
<i>CRC</i>	:	<i>Communication Research Center</i> (Haberleşme Araştırma Merkezi)
<i>CT</i>	:	<i>Critical Technology</i>
<i>DAB</i>	:	<i>Digital Audio Broadcasting</i> (Sayısal ses yayını)
<i>DU</i>	:	<i>Dense urban</i> (Yoğun kent)
<i>DVB</i>	:	<i>Digital Video Broadcasting</i> (Sayısal video yayını)
<i>DVB-H</i>	:	<i>Digital Video Broadcasting-Handhelds</i> (Sayısal video yayını-cep telefonundan alınan)
<i>DVB-T</i>	:	<i>Digital Video Broadcasting-Terrestrial</i> (Sayısal video yayını-Karasal)
<i>ERS</i>	:	<i>Empirical Roadside Shadowing Model</i> (Deneysel yol kenarı gölgelenme modeli)
<i>ESA</i>	:	<i>European Space Agency</i> (Avrupa Uzay Ajansı)
<i>ESTEC</i>	:	<i>European Space Research and Technology Centre</i> (Avrupa uzay Araştırma ve Teknoloji Merkezi)
<i>EU</i>	:	<i>European Union</i> (Avrupa Birliği)
<i>FP5,FP6</i>	:	<i>5th and 6th Framework Programme</i> (5. ve 6. Çatı Programı)
<i>FSL</i>	:	<i>Free Space Loss</i> (Serbest uzay kaybı)
<i>GHz</i>	:	Giga hertz (10^9 hertz)
<i>HDTV</i>	:	<i>High Definition Television</i> (Yüksek çözünürlüklü televizyon)
<i>HPA</i>	:	<i>High Power Amplifier</i> (Yüksek Güçlü Yükselteç)
<i>IMT-2000</i>	:	<i>International Mobile Telephone Standart-2000</i> (Uluslararası Mobil Telefon Standardı-2000)
<i>ISDN</i>	:	<i>Integrated Services Digital Network</i> (Tümleşik sayısal şebeke hizmetleri)
<i>ITS</i>	:	<i>Intelligent Transport Systems</i> (Akıllı geçiş sistemleri)
<i>ITU</i>	:	<i>International Telecommunication Union</i> (Uluslararası telekomünikasyon Birliği)

<i>ITU-RR</i>	:	<i>International Telecommunication Union-Radio Regulations</i> (Uluslararası telekomünikasyon Birliği-Radyo Düzenlemeleri)
<i>LAN</i>	:	<i>Local Area Network</i> (Yerel Alan Ağı)
<i>LNA</i>	:	<i>Low Noise Amplifier</i> (Düşük Gürültülü Yükselteç)
<i>LOS</i>	:	<i>Line of Sight</i> (Direkt görüş)
<i>LTA</i>	:	Lighter than air airship (Havadan hafif hava balonu)
<i>MAN</i>	:	<i>Metropolitan Area Network</i> (Kentsel Alan Ağı)
<i>MPT</i>	:	<i>Ministry of Posts and Telecommunications</i> (Japonya Posta ve Telekomünikasyon Bakanlığı)
<i>NASA</i>	:	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
<i>NLOS</i>	:	<i>No Line of Sight</i> (Direkt olmayan görüş)
<i>RFC</i>	:	Regenerative Fuel Cell (Yenilenebilir yakıt pili)
<i>RTT</i>	:	<i>Radio Transmission Technology</i> (Radyo Transmisyon Teknolojisi)
<i>SNR</i>	:	<i>Signal to Noise Ratio</i> (İşaret Gürültü Oranı-dB)
<i>SPSS</i>	:	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i> (Sosyal Bilimler için İstatistik Paket Programı)
<i>STA</i>	:	<i>Science and Technology Agency</i> (Bilim ve Teknoloji Ajansı)
<i>SU</i>	:	<i>Suburban</i> (Yarı kent)
<i>TV</i>	:	Televizyon
<i>U</i>	:	<i>Urban</i> (Kent)
<i>UHR</i>	:	<i>Urban high rise</i> (Yüksek yapılı (metropol) kent)
<i>US</i>	:	<i>United States</i> (Birleşmiş Milletler)
<i>UTD</i>	:	<i>Uniform Theory of Diffraction</i> (Düzgün Kırınım Teorisi)
<i>3G</i>	:	<i>Third generation</i> (Üçüncü Nesil Kablosuz Telefon Teknolojisi)
<i>a, b, c, d</i>	:	Sönümleme derinliği denklem parametreleri
<i>Cs(F)</i>	:	Gölgenmenin olduğu, Log-Normal dağılımın ortalama değeri, standart sapması ve K2' ye bağlı sönümleme dağılımı
<i>Cu(F)</i>	:	Gölgenmenin olmadığı ve K1' e bağlı sönümleme dağılımı
<i>C₁(F)</i>	:	LOS varlığında K1' e bağlı sönümleme derinliği
<i>C₂(F)</i>	:	NLOS varlığında K2' e bağlı sönümleme derinliği

$d \text{ (km)}$	:	HAPs ile kullanıcı arası uzaklık
dB	:	<i>Desibel</i>
f	:	Frekans
ft	:	<i>Feet</i> (1 <i>feet</i> =0.3048 metre)
F	:	Sönümlenme derinliği (dB)
$F(\theta)$	:	Yükselme açısına bağlı dağılım fonksiyonu
G/T	:	<i>Figure of Merit</i> (İyilik Sayısı)
h	:	HAPs yerden yüksekliği (km)
h_b	:	Bina yüksekliği (m)
$K1$	:	Rice yayılım katsayısı (dB)
$K2$	:	Rayleigh yayılım katsayısı (dB)
km	:	Kilometre= 10^3 metre
kuv	:	Kuvvet fonksiyonu
kW	:	Kilowatt= 10^3 Watt
L_{FSL}	:	Serbest uzay yol kaybı (dB)
L_θ	:	Toplam yol kaybı (dB)
l_1, l_2	:	Doğrusal fonksiyonlar
m	:	Metre
$Mbps$	:	<i>Mega bit per second</i>
n, k, l, p, t	:	$P_{LOS}(\theta)$ ' nın model parametreleri
N	:	Gürültü gücü (dB)
$P_{LOS}(\theta)$	:	<i>LOS</i> olasılığı
PL	:	Toplam yol kaybı (dB)
$P_r(h_b)$	:	Bina yüksekliğinin h_b ' ye eşit olduğu olasılık
R	:	Dünyanın ekvator yarıçapı (6378 km)
R_i	:	Alınan işaretin gücü (dB)
$r(km)$	:	HAPs ile alıcı arasındaki izdüşüm uzaklığı
s	:	<i>Sigmoid</i> fonksiyonu
S	:	Gölgelenme yüzdesi
TI	:	<i>DS-1</i> biçiminde yapılanmış sinyali 1.544 Mbps hızında aktaran hat
v_i	:	Alınan işaretin genliği (dB)
α	:	Binalarla kaplı alanın tüm alana oranı

η	:	Binaların birim alan başına ortalama değeri
$\lambda(m)$	:	Bina yüksekliği dağılımından saptanan parametre
γ, β, θ	:	<i>HAPs</i> kapsama geometrisi açıları
δ_{x-y}	:	x - y arasındaki ilişki katsayısı
$\delta_{F-\theta}$	:	F - θ arasındaki ilişki katsayısı
δ_{F-K1}	:	F - $K1$ arasındaki ilişki katsayısı
δ_{F-K2}	:	F - $K2$ arasındaki ilişki katsayısı
σ	:	<i>Gauss</i> gürültüsü standart sapma değeri
μ	:	<i>Gauss</i> gürültüsü ortalama değeri

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Haberleşme, hayatımızın olmazsa olmaz unsurlarından biridir. İnsanoğlunun haberleşme sistemleri konusundaki çalışmaları yüzyıllardır süregelmektedir. Günümüzde varılan noktada artık dünya nüfusu ve talep oranının artması neticesinde yeni nesil teknolojiler konusunda çalışmalar hızlı bir şekilde sürdürülmektedir.

Haberleşmede en önemli gelişme, kablolu sistemlerden kablosuz sistemlere geçiştir. Kablosuz haberleşmenin en çok ilgi gören ve en hızlı ilerleyen alanı hücreli gezgin haberleşmedir. Radyo haberleşmesinin esnekliği ile sayısal iletim kalitesinin birleşmesi, bu sistemin başarısında büyük rol oynamaktadır. Gezgin haberleşme sistemleri önceleri sadece ses ve düşük hızda bilgi iletimini hem de daha az sayıda kullanıcı paylaşımıyla gerçekleştirebilirken, günümüzde yüksek kalitede sesin yanı sıra yüksek hızda bilgi iletimi (resim, yüksek çözünürlüklü video, görüntülü konuşma, navigasyon vb.) ve geniş bant uygulamalarını daha fazla kullanıcıyı destekleyerek gerçekleştirebilmektedir. Artan ihtiyacı karşılayabilmek ancak daha geniş frekans bantları ve daha yeni sistemlerle mümkün olabilmektedir.

Gelecek nesil sistemler sadece hücreli telefonları değil, bunun yanı sıra geniş bant kablosuz erişim sistemleri, milimetrik dalga yerel alan ağları (LAN), akıllı geçiş sistemleri sistemleri (ITS-Intelligent Transport Systems) ve yüksek rakımlı stratosferik platform sistemleri (HAPs) gibi yeni tip haberleşme sistemlerini de içermektedir [1]. Haberleşme sistemlerindeki her yeni adım, önceden var olan sistemin tamamen kaldırılıp yerine yeni yatırımlar yapılması anlamına gelemeyeceğinden, her bir gelişme bir önceki sistemin eksiklerini kapatıp var olanla beraber işleyebilme özelliği taşıyabilmelidir. Bu durumda gelecek nesil gezgin haberleşme teknolojilerinin kilit noktaları özetle farklı sistemler arasında kusursuz bir dolaşım serbestliği (seamless roaming) sağlayabilmesi, sabit geniş bant ağlar ile kablosuz erişim sağlayabilme ve multimedya haberleşmesini desteklemek olarak sıralanabilir.

1.2. HAPs Haberleşme Sistemlerinin Gelişimi ve Literatür Çalışması

Atmosferde belirli bir yükseklikteki aktif ve pasif haberleşme platformları yeni bir fikir değildir. 1962 Telstar uydusundan önce, 1960 yılında, Bell Laboratuvarlarından yapılan yayınları yansıtmak için dev balonlar fırlatılmıştır. Burada amaç, uzak mesafelerle telefon görüşmesi yapabilmek olmuştur. İlk kez bir hava balonu (*airship*) kullanma fikri, 1978’ de başlatılan HASPA programı önderliğinde US (Birleşmiş Milletler) deniz kuvvetleri için olmuştur. Bir sonraki öneri olan HI-SPOT, 1981’ de “ Yıldız Savaşları” çağının ilk zamanlarında sunulmuştur. Ancak kağıt üzerinde kalan bir çalışma olmuştur [2].

1980’ de ortaya atılan *SHARP* projesi, Kanada’daki Haberleşme Araştırma Merkezi (CRC) tarafından geliştirilmiştir ve dünyadaki ilk sivil yüksek rakımlı platform istasyon programıdır. 1982 Ekim ayında programın gelişimi başarılmış, 17 Ekim 1987’ de ilk uçuşunu yapmıştır [3, 5]. Geniş bant kablosuz erişim (BWA) sağlayan *SkyStation* ve ağ geçitleriyle (*gateways*) kamusal anahtarlamalı ağ ile bağlantı sağlamayı amaçlayan *HALO-Proteus* projesi [2, 4, 5, 6] diğer Kuzey Amerika projelerinden olmuştur. 1980’ de insansız uçak *Pathfinder* geliştirilmiştir. Ancak ilk uçuşunun ardından mevcut güneş enerjisi altyapısı ve o zamanki teknolojiyle çok yükseklerle, uzun süreli uçamadığı fark edilmiştir. *Pathfinder* değiştirilip geliştirilmiş ve 24 km yükseğe uçabilen ve daha uzun kanatlı *Pathfinder Plus* 1998’ de meydana getirilmiştir [5]. Diğer üretim ise daha uzun süreli uçuş dayanıklılığa sahip *HELIOS* olmuştur [7]. *SkyTower* yine NASA tarafından desteklenerek geliştirilen insansız, güneş enerjisi ile çalışan bir uçaktır. *SkyTower*’ da güneş panelleri ve yenilenebilir yakıt pilleri birleştirilerek enerji ihtiyacı sağlanmıştır. Amaçları telekomünikasyon, uzaktan algılama ve askeri uygulamalar olmuştur. Sabit geniş bant haberleşmesi, 3G mobil hücresel haberleşme, dar bant ve TV/Radyo haberleşmeleri, HDTV (High Definition Television) hedeflenen uygulamalardır[2, 5, 8]. *Stratellite* insansız hava balonu olup (*airship*), 3G-4G mobil haberleşme, sabit kablosuz haberleşme, HDTV gibi çeşitli sistemleri desteklemesi amaçlanmıştır [2, 9]. *HALE*, Aralık 1998’ de başlatılan, aynı zamanda ESA (European Space Agency)’ nın HAPs ile ilgili ilk projesidir [10]. Bu proje hem karasal hem de uydu sistemleri ile rekabet adına HAPs sisteminde yapılan bir fizibilite çalışması olmuştur. Ekim 1999’ da proje sonlanmıştır [5, 10]. *STRATOS* diye isimlendirilen ve ESA-ESTEC’ in HAPs sistemiyle alakalı son projesi 2005 yılında yapılmıştır [11]. Proje İtalya, İngiltere ve Almanya ortaklı gerçekleştirilmiştir[5]. Bu proje

kapsamında HAPS sisteminin DVB (Digital Video Broadcasting)- DAB (Digital Audio Broadcasting) uygulamaları konusunda fizibilite çalışması yapılmıştır [12]. *Helinet* projesi 1999’ da başlamış Kasım 2003’ te sonlanmış olup, HAPs sistemi ile geniş bant kablosuz erişim (BWA) sağlaması planlanmıştır [2, 13]. *CAPANINA* projesi Kasım 2003’ te başlamıştır. Bu projede iki deneme yapılmıştır. İlk deneme İngiltere’ de 2004 yılında Ağustos ve Ekim ayları arasında, 300 m gibi oldukça düşük bir yükseklikte hava balonu ile yapılmıştır. İkincisi ise Ağustos 2005’ te İsveç’ te 25 km’ ye varan yükseklikte stratosferik bir balonla yapılmıştır [2, 14, 15]. *HAPCOS (High Altitude Platforms for Communications and Other Services)* Avrupa Birliği (EU) Komisyonunca yürütülen 6. Çatı Programı (FP6) içerisindeki Avrupa COST Hareketinin kısa adıdır ve Ekim 2005’ te çalışmalar başlamıştır [16]. *USE HAAS*, Avrupa Birliği (EU) Komisyonunca yürütülen 6. Çatı Programı (FP6) içerisindeki havacılık ve uzay kapsamındaki Özel Destek Hareketinin kısa adıdır. 2005 yılında başlayıp 2007 yılında bitmiştir. İsrail, Belçika, İngiltere ve Almanya’ daki araştırma merkezleriyle ve çeşitli üniversitelerdeki araştırma gruplarıyla ortak yapılan bir çalışma olmuştur. Çeşitli çalıştaylar düzenlenmiştir. Bu çalışmayla alakalı son belgeler 2007 yılının sonlarında yayınlanmıştır [5, 17]. *UAVNET*, 2001 yılında başlayan Avrupa Birliği (EU) Komisyonunca 5. Çatı Programı (FP5) çerçevesinde yürütülen bir proje olup, amacı sivil insansız hava istasyonu uygulamaları ile ilgili araştırmaları yürütmek aynı zamanda da üniversiteler, araştırma merkezleri ve endüstrideki ilgili firmalarla ortaklaşa iyileştirme odaklı çalışmaktır [18]. *CAPECON* ve *USICO* ise 5. Çatı Programı (FP5) çerçevesinde CT (Critical Technology) programı tarafından yürütülen bir proje olmuştur. Sivil insansız hava istasyonu uygulamalarında güvenlik ve işlevsel verimliliği geliştirme amacı taşımaktadır [5]. *SkyNet*, Japonya ulusal projesi olup, STA (Science and Technology Agency) ve MPT (Ministry of Posts and Telecommunications) tarafından yürütülmektedir [19].

HAPs sisteminin herhangi bir taşıyıcı frekansında tanımlanan bir kanal modeli mevcut değildir [20]. Farklı frekans bantları için ise birçok uydu kanal modeli mevcuttur [21, 22, 23]. Örneğin üç durumlu kanal modeli (*three state channel model*) L-bandında HAPs sistemi için kullanılabilir [24]. HAPs sisteminde kanal modellemesiyle ilgili genel bir inceleme yapılmıştır ve kanal modellemenin öneminden bahsedilmiştir [25, 26]. Bu incelemeler yapılırken sağlanacak servisler için (UMTS vb.) karasal ve uydu sistemleriyle karşılaştırmalar da yapılmıştır [19, 27, 28, 29, 31]. IMT-2000 ve geniş bant uygulamaları ile ilgili katkılarda bulunulmuştur [32, 33, 34,35].

ITU, spektrumda 3G mobil sistemler için 2 GHz [36, 37], dünya genelindeki kullanım için 48/47 GHz, Asya ülkeleri için 31/28 GHz frekans bantları tahsis edilmiştir [38, 39,40]. Geniş bant servisler için sistem kapasitesini geliştirmek için önerilerde bulunulmuştur [33]. Frekansın yeniden kullanımını sağlamak amacıyla, HAPs kapsamında hücresel yapının oluşturulması gündeme gelmiştir [41]. Sistem kapasitesini olumsuz etkileyen girişimi (interferans) azaltma ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Örneğin frekansın yeniden kullanımı gibi [42].

Anlatılan çalışmaların sonuçlarını geliştirmek amacıyla HAPs için detaylı bir yol kaybı yayılım modeli gereklidir. LOS (Line of Sight), HAPs sisteminde daha etkin bir bağlantı olmasına rağmen NLOS (No Line of Sight), durumu da göz önüne alınmalıdır. Bu nedenle hem LOS hem de NLOS yayılım modelleri gereklidir [43]. HAPs ile kentsel alanlarda mobil servislerin sağlanması amacıyla yapılacak olan propagasyon modellerinde tek başına serbest uzay yol kaybı (FSL) yeterli ve uygun olmayacaktır. Deneyisel yol kenarı gölgelenme modeli (ERS- Empirical Roadside Shadowing Model) veya uydular için deneyisel modeller HAPs yayılım tahmininde daha gerçekçi bir yaklaşım gerçekleştirmek için kullanılmaktadır [44, 45]. İstatistiksel model yaklaşımları ise HAPs haberleşme sistemlerinde kapsama planlaması ve toplam yol kaybı tahmini için kullanılmaktadır [46, 47]. Uydu mobil sistemlerinde bina zayıflatmaları hesaba katılarak yayılım modelleri ve geniş bant kanal modelleri oluşturulmuştur [48, 49, 50]. Karasal ve uydu mobil haberleşme sistemlerinin propagasyon ortamına bitkilerin etkisi incelenmiştir [51]. Büyük hücrelerdeki propagasyon etkileri de önemlidir [52]. Binaların yoğun olduğu kentsel alanlarda bina zayıflatmaları ele alınarak, HAPs sistemlerinde gezgin haberleşmede yükselme açısına bağlı bir gölgelenme modeli ortaya konmuştur [51, 43]. Işın izleme ile istatistiksel bir kanal modeli yaklaşımı da yapılmıştır [53]. Aynı zamanda deneylerle HAPs kanal performansı incelenmiştir [54]. Doğal afetler gibi acil durumlarda HAPs sisteminin karasal sistemlere göre avantajları ve yer değiştirme senaryosu da önemli çalışmalardandır [55].

1.3. HAPs Sistemine Genel Bakış

Kablosuz gezgin haberleşme servislerinde, yüksek veri hızı taleplerindeki sürekli artış, daha yenilikçi ve daha çok isteğe cevap verebilen haberleşme altyapılarına ihtiyacı da arttırmıştır. Gezgin haberleşme servislerini sağlamada kullanılan sistemler, karasal yer

tabanlı sistemler (terrestrial ground-based systems) ve uydu sistemleridir. Hem karasal yer tabanlı sistemlerin hem de uydu sistemlerinin birtakım dezavantajlarına çözüm olarak ve hücresel haberleşme teknolojisine yenilikçi bir bakış açısı olarak "Yüksek Rakımlı Platform İstasyon (High Altitude Platform Station-HAPs) " [29] teknolojisi karşımıza çıkar. ITU-RR (International Telecommunication Union - Radio Regulations) No.S1.66A' da HAPs, " yeryüzüne göre tanımlanmış, sabit ve belirlenmiş bir noktada 20-50 km yükseklik aralığında konumlanmış bir istasyon " olarak tanımlanmıştır [37]. ITU-R, HAPs sistemi üzerinde oldukça fazla durmaktadır. İnsansız hava araçları ile ilgili çalışmalar 1950' lerin sonlarında, bazı üniversitelerde ve dünyanın farklı yerlerindeki araştırma merkezlerinde başlamış olmasına rağmen, HAPs tabanlı sistemler, günümüzde ancak son yıllarda alternatif bir teknoloji olarak incelenmektedir. Bu sistemler hem uydu hem de karasal sistemlere göre birçok avantaja sahip olduğu gibi, aynı zamanda birçok güçlüğün de engelleyicisi olacaktır [56].

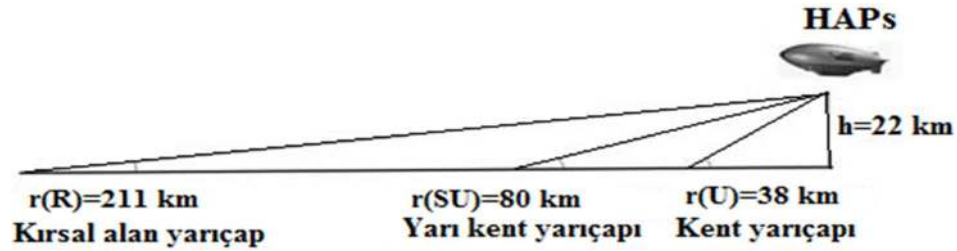
Gerekli bant genişliğine bağlı, dar bant ve geniş bantta olmak üzere birçok çeşit uygulama ve servislerin HAPs sistemi ile sağlanması planlanmaktadır. Kullanıcılar bilgilerini (ses, görüntü vb.) direkt olarak havadaki platforma iletebilecekler ve bu platformlar da kendilerindeki trafik yükünü ya kendi kapsama alanındaki kullanıcılara ya da heterojen ağlar aracılığıyla istenilen noktalara taşıyabileceklerdir. Böylelikle mobilite sağlanmış olacaktır.

HAPs sistemi ve ağ yapısı ile ilgili genel düşünce ve öngörü, bir ya da daha fazla durağan HAPs platformunun her birinin, kentsel ya da yarı kent kapsama alanlardaki mevcut telekomünikasyon ağıyla ara bağlantı sağlayan ağ geçidi (gateway) istasyonlarla bağlantı kurması gereğidir. Bu telekomünikasyon ağları karasal, uydu, özel ya da kamu ağları ile çok sayıda mobil ve sabit kullanıcı istasyonları olarak tanımlanabilir. Aynı zamanda HAPs sistemleri başlı başına bir servis sağlayıcı olarak da kullanılabilir.

Karasal yer tabanlı sistemler, düşük yapım maliyeti, kullanıcı terminalinde daha az güç harcanması, daha az yayılım gecikmesi ve daha iyi ölçeklenebilir sistem kapasitesi gibi birtakım avantajlara sahiptirler. Ancak çeşitli dezavantajları da mevcuttur. Radyo sinyali yüksek saçınım ve çok yollu (multipath) yayılım etkisine maruz kalacağından alınan servis kalitesini (QoS) de olumsuz yönde etkileyecektir. Artan talebi karşılamak ve yüksek kalitede geniş bant servisleri sağlamak için daha küçük kapsama alanına sahip çok sayıda baz istasyonu gerekeceğinden, daha fazla altyapıya ihtiyaç duyulacaktır. Bu durumda baz istasyonları geniş bir coğrafyaya daha çok sayıda yayılacaklarından haberleşme kaynakları

optimum şekliyle kullanılamayacaktır. Aynı servisler karasal sistemlere göre daha az altyapı ile sağlanmasına rağmen, uydu sistemlerinin de kendilerine has bazı kısıtlamaları mevcuttur. Durağan uydu sistemleri dünyadan çok uzakta olduklarından büyük oranda yayılım gecikmesine sahiptirler. Durağan olmayan uydu sistemlerinin de tasarımı daha karmaşık ve zordur. Dolayısıyla mevcut sistemlere HAPs sistemi yenilikçi bir çözüm olarak gösterilebilir.

Her HAPs, kendisi için belirlenen kapsama alanında, çok sayıda noktasal ışın hüzmesi (spot beams) oluşturabilecek çoklu hüzmeli (multi-beam) bir anten gibi kapsama sağlayabilir. Platformlar herhangi bir yerdeki en yüksek baz istasyonu gibi düşünülebilir. HAPs tabanlı bir sistemde, platformlar yeryüzünden yukarıda bir yere, bir kapsama alanı oluşturmak için [57] ya da platformun bulunduğu izdüşüm referans alındığında yaklaşık 500 km çapında bir servis alanı oluşturmak için yerleştirilirler. ITU-R üç farklı kapsama alanı tanımlamıştır. Bunlar alıcının konumuna göre tanımlanmış olan kent (U), yarı kent (SU) ve kırsal (R) alanlardır. Bu alanların sınırlarını belirleyen yükselme açıları, kent için 90° - 30° , yarı kent için 30° - 15° ve kırsal alan için 15° - 5° şeklindedir. Bu sınırlara göre belirlenen ve 22 km yükseklikteki platformun izdüşümünü referans kabul eden kapsama yarıçapları Şekil 1.1’ de verilmiştir.



Şekil 1.1. 22 km yükseklikteki HAPs sisteminin kapsama alanı yarıçapları

Platformun yüksekliğine göre kapsama alanı yarıçapları farklılık gösterecektir. Bu farklılık da Tablo 1.1’ deki gibi olacaktır.

Tablo 1.1. Yükselme açılarına göre kapsama yarıçapları

Servis Alanları	Yükselme Açısı (Θ)	Kapsama Yarıçapları (km)		
		$h=21 \text{ km}$	$h=22 \text{ km}$	$h=25 \text{ km}$
Kent	90° - 30°	0-36	0-38	0-43
Yarı kent	30° - 15°	36-76.5	38-80	43-90.5
Kırsal	15° - 5°	76.5-203	80-211	90.5-234

Dar bant ya da geniş bant kablosuz haberleşme sistemleri için baz istasyonu olarak uçak (aircraft) / uçan balon (airship) kullanmanın çeşitli sebepleri vardır. Bunlar:

- Platformlar uydu sistemlerinde olduğu gibi fırlatma ve enerji sağlama ünitesi gerektirmez. Kendi enerjilerini ve ya da belirli bir yörüngede kalmaları için gereken enerjiyi kendileri sağlar. Aynı zamanda herhangi bir bakım ya da yer değişikliği gerektiğinde yeryüzüne inebilirler.
- Herhangi bir platform hedeflenen ve belirlenen konuma ulaştığında, kendisi için belirlenen servis bölgesine hizmet vermeye hemen başlar. Bunun için ortak kullanımdaki evrensel bir alt yapıya ya da platformların beraber çalışmasını sağlayacak bir platform topluluğuna ihtiyaç duymaz.
- Platformun bulunduğu yükseklik sistemin daha yüksek frekansların tekrar kullanımına olanak sağladığından, diğer kablosuz sistemlere göre daha fazla kapasitede hizmet verebilmektedir.
- Her bir platformda, herhangi bir servis kesintisi olmaksızın, tekrar düzeltme, güncelleme ve tekrar yukarı gönderme işlemi yapılabilir.
- Stratosfer tabakasında bulunan yükseklik, kullanıcılara atmosferden geçişte kısa yol ve platforma direkt görüş (LOS) imkanı sağlar.
- Küçük anten kullanımı ve düşük güç gereksinimi nedeniyle, HAPs sistemi sabit ya da taşınabilir kullanıcı cihazlarında, herhangi bir servis gereksinimine ihtiyaç duymaksızın, geniş bir çeşitliliğe imkan sağlar.

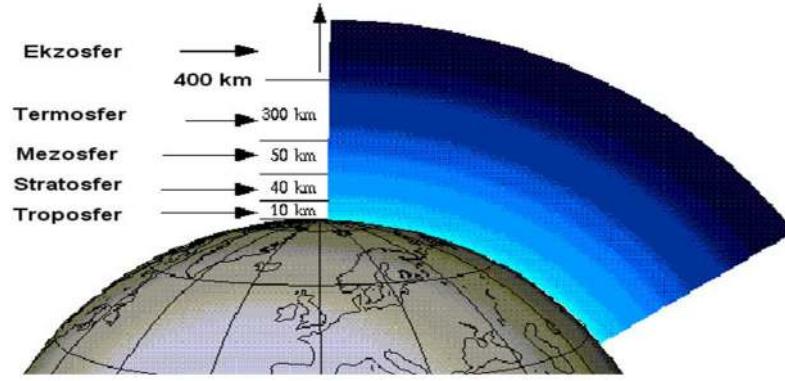
HAPs, uydu ve karasal sistemlerden sonra, iletişim altyapısı olarak üçüncü bir katman olarak adlandırılabilir. Çok yoğun ve metropol kentlerde, yarı kent alanlarda, kırsal bölgelerde ve hala mobil haberleşme sistemlerinin çok kısıtlı olduğu yerlerde kablolu ve kablosuz servisleri sağlamada hızlı ve yüksek kapasitede servis imkanı sağlar. Diğer bir faydası da hem karasal hem de uydu sistemlerinin avantajlarını beraber sunabilmesidir. Örneğin geniş kapsama alanı ve yüksek kapasite gibi.

1.4. HAPs Sisteminin Bileşenleri

HAPs tabanlı bir haberleşme sisteminin temel bileşenleri iki adettir. Bunlar startosferik bileşen ve yer bileşenidir. Her bir bileşen kendi içinde farklı görevleri olan birçok katmandan oluşur.

1.4.1. Stratosferik Kısım

Atmosfer, özellikleri birbirinden farklı olan 5 katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlar Şekil 1.2' de görülmektedir. Troposfer, atmosferin yere en yakın katmanıdır. Ortalama kalınlığı 12 km dir. Bu kalınlık ekvatorda fazla iken kutuplara doğru gidildikçe kalınlık azalır. Bunun en önemli sebepleri ekvatorda sıcaklığın fazla olmasından dolayı gazların yükselmesi, dünyanın şeklinden dolayı yerçekiminin ekvatorda az olmasından dolayı gazların tutulamaması, yine dünyanın şeklinden dolayı savrulmanın en fazla olduğu yerin ekvator olması ve savrulan gazların kalınlığını arttırmış olmasıdır. En yoğun tabakadır. Bunda su buharının %100'nün ve atmosferi oluşturan gazların %75 'inin burada olmasının etkisi vardır. Yatay ve dikey hava hareketleri vardır. Su buharının %100'ün burada bulunmasında dolayı iklim olayları sadece bu katmanda görülür. Bu olay Troposferin 3-4 km ye kadar olan kısımda görülür. Çünkü buradan sonra su buharı azalır. Isı değişkenliğinin en fazla olduğu katmandır. Stratosfer, Troposferden sonra gelen katmandır. Sıcaklık her yerde aynıdır. Dikey hava hareketi görülmez. Sadece yatay hava hareketi görülür. Su buharı olmadığı için nemsiz hava tabakasıdır. 10-50 km yükseklikler arası bir katmandır. Bulut yoktur bu da atmosferik kirlenme olmaksızın temiz güneş enerjisi kullanımına olanak sağlar. HAPs sistemi için platformların konumlandırıldığı katman Stratosfer tabakasıdır. Ozonosfer, bilinmesi gereken en önemli özelliği güneşten gelen zararlı ışınları süzmesidir. Ozon tabakasına kloroflorokarbon adı verilen ve genelde parfümlerde bulunan gaz incelmeye sebep olmaktadır. Bunun sonucunda dünyada sıcaklık artacak ve buzlar erimeye ve etraftaki kuraklık artmaya başlayacaktır. İyonosfer, en önemli özelliği radyo ve televizyon dalgalarının yansıtıldığı katmandır. Ekzosfer, atmosferin en üst katmanıdır. Bu katmandan sonra uzay boşluğuna geçilir.



Şekil 1.2. Atmosferin katmanları

1.4.1.1. Stratosferin Özellikleri

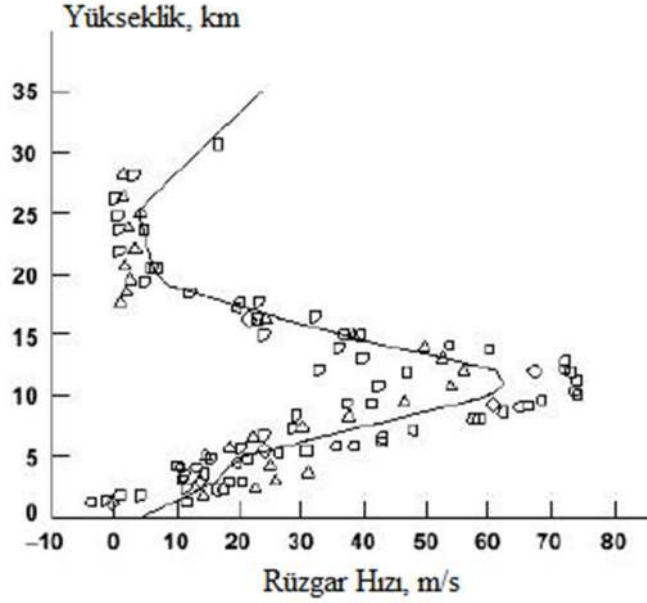
Stratosferin özellikleri platform tasarımını direkt etkileyen bir etkidir. Stratosfer, çevre sıcaklığının yükseklikle azalmadığı bir katmandır. Orta enlemlerde 13 km, kutuplarda 7 km ve ekvator da 18 km minimum yüksekliktedir. Hava yoktur, çok az kirletici madde içerir ancak ozon içeriği fazla miktardadır. Stratosferde en önemli olan mevcut rüzgarlar ve hızlarıdır. Çünkü platformun tasarımında konumlama için en önemli etken budur [2] .

Genellikle, Stratosferdeki sıcaklık ve rüzgar, mevsimlere ve konuma göre değişiklik gösterir ve belirli konum ve mevsimde tahmin edilebilir. Su buharı çok az olduğundan, türbülans çok azdır ya da nerdeyse hiç yoktur. Tipik hava hareketi, kış mevsiminde batıdan doğuya doğru, yaz mevsiminde ise doğudan batıya doğrudur. Güz ve bahar döneminde ise daha hafif rüzgarlar görülür ve rüzgar yönüne zıt yavaş geçişler mevcuttur [58].

Rüzgar hızının en sakin olduğu yer ekvatordur ve rüzgar hızı enlem ile birlikte artar. Aynı zamanda, rüzgar hızı yaz mevsiminde kış mevsimine göre çok daha azdır. Günümüz teknolojisiyle yapılan hava balonları (airship) 25 m/s rüzgar hızına dayanabilen niteliktedir. Ancak güneş panelleri (solar cell) ve yakıt pilleri (fuel cell) sayesinde 40 m/s ye kadar dayanabilmektedirler [58].

Rüzgar hızı 10-50 km yükseklikte çok fazladır. Bunun 20-30 km' lik kısmında rüzgar oldukça yavaştır ve hava kütleleri buna bağlı olarak durağandır [59]. Bu durum da, 17-25 km yükseklik aralığında konumlanan platformlar için yarı durağan (quasi-stationary) bir konum sağlamaya yardımcı olur. Bu durum Şekil 1.3' de gösterilmiştir. Bu yükseklik

aralığında, platformlar bulundukları konumu korurlar ve ilave güç gereksinimi olmaksızın rüzgara zıt yönde uçabilirler.



Şekil 1.3. Yüksekliğe bağlı rüzgar hızı değişimi

17-25 km yükseklikte, HAPs sistemi sadece havacılıkla ilgili düzenlemelere uymak zorundadır. Uydular için kabul edilen uzay kalite gereklerine uyma zorunlulukları yoktur. Elektriksel işaretleri alıp vermek gibi basit bir işlevi yapmak için, HAPs sistemi, bir takım alt bileşenlere gereksinim duyar. Bunlar; platformlar, yükseklik ve denge kontrolü, alt sistemlere yol gösterme, uzaktan ölçüm, izleme, kumanda etme ve telekomünikasyon yüküdür [5].

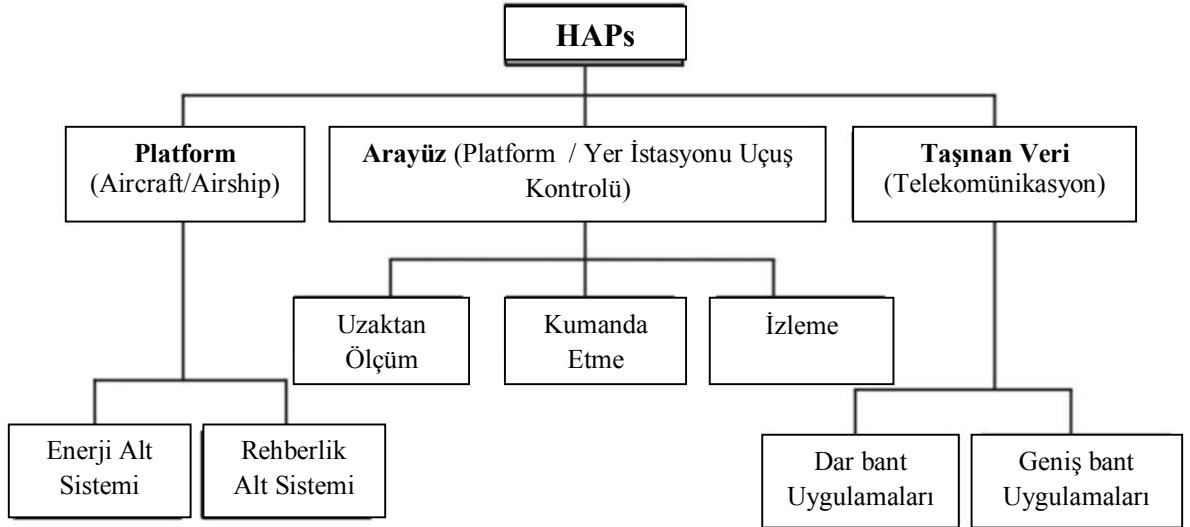
1.4.1.2. Platformlar

HAPs sistemleri, stratosferde konumlanmış insanlı ya da insansız uçaklar (aircraft) ve insansız, havadan daha hafif helyum dolu hava balonları (airship) (LTA) olarak sınıflandırılabilir. Uçaklar yere göre durağan kalmayı dar bir yörünge dairesi boyunca uçarak sağlarlar. Hava balonları ise sahip oldukları teknoloji sayesinde rüzgar karşısında sürüklenmelerini önleyip durağan kalabilirler. Sabit yörüngede kalabilmek, telekomünikasyon işlemlerini yerine getirmek ve yakıt pillerini şarj etmek için gerekli olan enerji balonların yüzeylerinin büyük bir kısmını kaplayan güneş panelleri ile sağlanır [2]. HAPs sistemlerinin her iki tipi için de gerekli enerji yakıt pili, elektrik motoru ya da güneş

panelleri gibi farklı yollarla sağlanabilir. Genelde hava yoğunluğunun azaldığı ince atmosfer tabakasında tercih edilen güneş enerjisidir. Ancak güneş enerjisindeki problem gece boyunca kullanılacak olan enerjinin depolanabilmesi ve tahmini sistem ömrünün 6 ay ila 5 yıl arasında olmasıdır [5].

Stratosferik bir platform, atmosferik basınç, hava yoğunluğu ve rüzgar hızı gibi stratosferin o anki ortam koşullarına bağlıdır. Örneğin, 20 km yükseklikte hava yoğunluğu deniz seviyesindekiye göre 1/14 oranındadır. Bu nedenle, bu yüksekliğe çıkabilen bir hava balonunu yapmak için, bu balon deniz seviyesinde uçan bir balona göre 2.4 kat daha büyük yapılmalıdır. Çünkü yükseklerle çıkıldıkça hava yoğunluğu azalacaktır ve balonların havada ve dengede kalma durumları azalacaktır [5].

HAPs, uydular gibi atmosfer dışına çıkmaz. Bu nedenle de Ulusal Havacılık ve Telekomünikasyon Otoriteleri tarafından yapılan bir denetim ya da düzenlemeye tabi değildir [60]. HAPs sistemi stratosferik bileşeninin alt sistemleri Şekil 1.3’ de verilmiştir.



Şekil 1.4. HAPs sisteminde stratosferik bileşeninin alt sistemleri [5].

1.4.1.3. Uzaktan Ölçüm, İzleme ve Kumanda Etme (TT&C)

Şekil 1.4’ de görüldüğü gibi, platform ve yer istasyonu uçuş kontrolü arasındaki arayüz uzaktan ölçüm (*telemetry*), izleme (*tracking*) ve kumanda etme (*command*) alt sistemlerinden meydana gelir. Platformun sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için oradaki bir takım verilerin yer istasyonuna kontrol ve izleme amaçlı gönderilmesi gerekir. Aynı

şekilde, platformu izleme ve uzaktan işlem yapma durumu için de yer istasyonundan platforma bir takım komutlar gönderilmeli yani kumanda işlemi yapılmalıdır.

TT&C alt sistemleri, HAPs ve yer kontrol istasyonu arasında iki yönlü bilgi akışını sağlar. Bunlar önemli bir işlemlerdir. Verileri toplayıp ve işleyip iletimi hazır hale getirme işinin yanı sıra alıcıdan alınan verilerin işlenmesi ve komutların yönlendirilmesi görevini de üstlenirler. Bu nedenle de hem iletleme (*downlink*) hem de alma (*uplink*) işlevine sahiptirler.

TT&C alt sistemleriyle uçuş kontrol istasyonu arasındaki bağlantıda direkt görüş (LOS) olmak zorundadır. Aynı zamanda spektrum gerekleri de ITU-R tarafından düzenlenmelidir.

- Uzaktan ölçüm ve veri toplama işlevi: Platformdan alınan verinin uzaktan ölçümü HAPs sisteminden düzenli olarak gönderilen uzaktan ölçüm sinyalleriyle taşınır ve yer kontrol istasyonu da bu verileri alıp işler. Uzaktan ölçüm verileri platformdaki donanımların durumları (*housekeeping*), konumları (*attitude*) ve taşınan yük (*payload*) verileri olarak sınıflandırılabilir.

Platform üzerindeki ekipmanların durumu ve sağlıklı bir şekilde çalışıp çalışmadıklarının izlenmesi son derece önemli gereklidir. Ekipmanların sıcaklığı, basınç, güç kaynaklarının akım ve gerilimleri bu verilere örnek olarak verilebilir. Konum verileri ise konum kestirimi ve kontrolü için kullanılan çeşitli sensörlerden alınan verileri içerirler. Bu veriler analog, sayısal ya da karışık olabilir. Taşınan yük verisi ise iletişim sisteminin durumunu ve sağlıklı bir şekilde işleyip işlemediğini anlatan verilerdir.

- Kumanda etme işlevi: İnsansız uçak ve balon sistemlerinin kontrolü, yerden platforma kurulan uplink bağlantısı ile iletilen komutlarla olacaktır. Kaydedilen program değişiklikleri ve gerçek zamanlı değişikliklerde çoğu komut, insansız uçak ve balon sistemlerine, iki yönlü iletişim ile gönderilir. Böylece havada asılı olan platform, komutun kabulü ve alındı onayını gerçekleştirerek, yer istasyonuna geri iletebilir. Acil durumlarda, bilgi onayı alınmadan da gönderilebilir. Bu durumda uplink yönünde gönderilen veri güvenilirliğini yitirir. Çünkü herhangi bir şifre çözme işlemine tabi tutulmaz.

- İzleme işlevi: İzleme terimi bazen yer istasyonu ve platform arasındaki tüm bağlantıların genel adı olarak kullanılsa da, aslında uçuş kontrol istasyonuna bağlı hız ve aracın konumunun saptanmasında kullanılabilecek verinin elde edilme yöntemi olarak daha doğru bir şekilde adlandırılabilir. Farklı tipteki veriler bu amaçla kullanılabilir. Örneğin Doppler verisi, insansız uçak ve balon sistemlerinin yerdeki uçuş kontrol

istasyonuna göre hızının, sinyalin alındığı alıcı ile platform arasındaki uzaklığın ve veri menzilinın taşıyıcı frekansında meydana getirdiği değişimdir. Doppler, platformların uçuş yolu ya da yörüngelerinin doğru bir şekilde belirlenmesinde kullanılabilir. Buna ilave olarak da, alıcı izleme bilgisini alabilmek için, uygun frekansa ayarlanmalıdır.

1.4.1.4. Yükseklik ve Denge Kontrolü

HAPs sisteminde olduğu gibi havada asılı duran platform sistemlerde, yükseklik ve denge kontrolünü sağlayan alt sistemler kaçınılmazdır. Bu alt sistemler, HAPs sisteminin performansını etkileyen doğru hedefe yönelme ve dengede kalma işlevlerini düzenlerler [61].

Bir yapının konumu, belirli bir referans çerçevesinde yapının yönlendirilmesidir. Bir platformun konumunun tarifi, HAPs sisteminin işaret ettiği vektör doğrultusunda tanımlanır. Konum kontrolü ise, HAPs sisteminin yönlendirme kontrolüdür. Bu da ya uçuş yoluna etki eden yerçekimi ya da gökyüzündeki tüm cisimlerin iç yüzeyinde yer aldığı bir küre şeklinde düşünülebilen gök küre etkisinin kontrolüdür.

HAPs sisteminin konum kontrolü için öncelikle sensörlere ihtiyaç vardır. Konum sensörleri platformun (airship / aircraft) konumu ölçer ve ardından bulunması gereken konum bilgisine göre eğer gerekliyse platforma bir dönme momenti uygulanır ve istenilen konuma yönlendirilmiş olur [62].

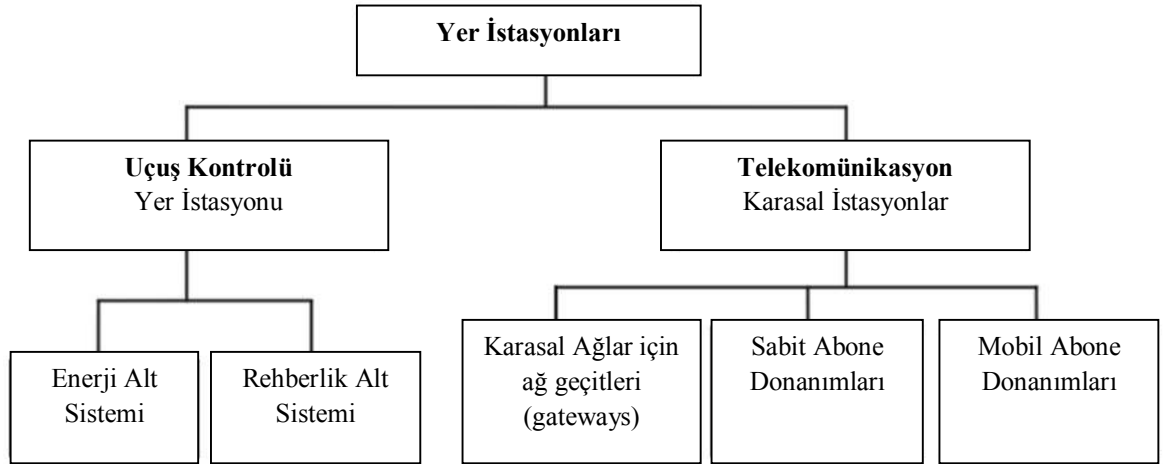
1.4.1.5. Enerji Sağlama

Enerji kaynağı seçimi en önemli konulardan biridir. Fosil yakıtları, platformların bulundukları yüksekliklere taşıyıp orada muhafaza etme maliyeti oldukça yüksektir. Ayrıca ağırdırlar. Bu nedenlerden ötürü tercih edilmezler. Tercih edilen enerji kaynağı güneştir. Çünkü ince atmosfer tabakası nedeniyle soğrulma az olacaktır ve güneş enerjisinden verimli bir şekilde yararlanmak mümkün olacaktır. HAPs sistemleri güneş panelleri yerleştirilebilecek geniş yüzeyli bir yapıda tasarlanmışlardır. Bu da güneş enerjisinden maksimum düzeyde faydalanmayı mümkün kılar. Fakat güneş enerjisinin de gece kullanımı için depolanma sorunu ortaya çıkar.

Yenilenebilir yakıt pilleri (RFC) ise, mevcut pillerle kıyaslandığında, HAPs tabanlı haberleşme sistemleri için sürekli bir enerji kaynağı olarak tercih edilen bir yapı olarak tanımlanır. Yenilenebilir yakıt pilleri, normal pillere göre daha hafiftirler ve aynı zamanda hem gece hem de gündüz enerji sağlama yetenekleri mevcuttur. Gündüzleri hidrojen ve oksijen elektrik enerjisi ve su üretmek için elektrokimyasal reaksiyon geçirirler. Hidrojen ve oksijen sudan elektroliz yoluyla ayrıştırılır ve geceleri yeniden elektrik enerjisi üretmek için depolanırlar [63]. Eğer yenilenebilir yakıt pili teknolojisi daha çok geliştirilip kullanılabilirliği ispatlanabilirse, HAPs sisteminin dayanıklılığını maksimuma çıkarmak için dayanıklı, verimli ve havadan hafif entegre edilmiş güneş / yakıt pili güç kaynakları üretimi için çalışmalar hız kazanacaktır [2].

1.4.2. Yer Kısmı

HAPs sisteminde, yer kısmı platformla ilgili karasal alt sistemlerden oluşmuştur. HAPs sitemi yer bileşeninin alt sistemleri Şekil 1. 5' de verilmiştir.



Şekil 1.5. HAPs sisteminde yer bileşeninin alt sistemleri ve karasal alt sistemler [5].

HAPs sisteminin yer bileşenleri tarafından gerçekleştirilen bazı işlevler şunlardır:

- HAPs sisteminin konumunu kestirmek için izleme işlevi (*tracking*).
- HAPs sisteminin durumunu ve verilerini elde edip kaydetmek için uzaktan ölçüm işlevi (*telemetry*).
- HAPs sisteminin çeşitli işlevlerini kontrol edip sorgulamak için kumanda etme (komut) işlevi (*command*).

- Yapılacak işlerin belirli bir süreçte başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için, tüm mühendislik verilerinin gereken formatta sunulması, veri-işleme işlevi (*data-processing*)
- Dünya genelindeki diğer yer istasyonları, ağ geçitleri (gateways) ve veri işleme merkezleri ile yapılan iletişim bağlantıları (*communication links*).

Anten, verici sistem, düşük gürültülü yükselteçler (LNA), yüksek güçlü yükselteçler (HPA), veri kaydediciler, bilgisayarlar ve kontrol donanımları, HAPs sistemindeki yer istasyonunun temel donanımsal bileşenleridir [5].

1.4.2.1. Antenler

HAPs sisteminde de kullanıcılar diğer haberleşme sistemlerinde olduğu gibi sabit ve mobil olabilir. Geniş bant, hücresele 3G, sabit ve mobil kullanıcılar için acil durum ve TV radyo yayınları gibi çeşitli iletişim servislerini sağlamak için HAPs sistemlerinde, antenler önemli bir yere sahiptirler. Hatta antenler, yer istasyonlarındaki sistem performansını etkileyen anahtar elemanlardır.

Mobiller en düşük yürüme hızında ya da en yüksek tren hızında olabilir. Bu nedenle HAPs tabanlı sistem için hedeflenen uygulamaya ve frekans bandı gereksinimine bağlı olarak, kullanılacak olan antenler farklılık gösterebilir. İhtiyaç duydukları şey platformun hareketine ve yer değiştirmesine uyum sağlayabilecek yönlendirilirdir. Günümüzde antenlerin, IMT-2000 (2.1 GHz), Ka (27/31 GHz) ve 47/49 GHz bantları için tasarlanıp optimize edilme gereği vardır.

Her bir frekans bandı ile ilişkili zorluklar özünde birbirinden farklıdır. Dolayısıyla her duruma uygun düşen anten çözümleri de farklı olabilir. Örneğin, HDTV gibi yayın servisleri için düşük kazançlı ve düşük yönlendiricilikli antenler maksimum kapsama sağlamada faydalı olacaktır. Orta kazançlı antenler sabit kullanıcılar için iki yönlü geniş bant sabit kablosuz erişim hücreleri sağlamak için kullanılacaktır. Yönetilebilir yüksek kazançlı antenler ise, mobil kullanıcılara yüksek hızda servis vermek ve doğal afetler gibi acil durumlarda haberleşmeyi sağlamak için dinamik geniş kapasite tahsisini mümkün kılar.

- Faz Dizilimli Antenler: Tek bir anten için maksimum yönlendiricilik sınırlı olup bazı uygulamalar için de yeterli olmayabilir. HAPs sistemi için, yol kaybı karasale uygulamalara göre çok daha fazladır. Aynı zamanda odaklanılan kapsama alanı noktasal ışın hüzmeleri gerektirebilir. Bu durumda yüksek yönlendiricilik ele alınması gereken önemli bir konu

olacaktır. HAPs sisteminden yerdeki bir kullanıcıyı izleme ya da tam tersini gerçekleştirme işlevi için diğer bir ihtimal olan hüzmeye oluşturma tek bir antenle gerçekleştirilemez. Maksimum yöneltiliği geliştirmek için yapılan bir diğer yaklaşım ise tek bir anten bileşenlerinin dizilerini birleştirmektir. Diziler doğrusal ya da düzlemsel olabilirler. Beslenen her bir bileşenin genlik ve fazı farklı olabilir. Anten bileşenleri uzak alanda farklı fazları birleştirip alanları oluşturur. Böylelikle ışınma örüntüsü değişir. Bu durum ışınma örüntüsünün belirlenen bir uygulama için uygun hale getirilebilmesine ya da antende herhangi bir fiziksel hareket olmadan ışın taraması yaparak yine ışınma örüntüsünün değiştirilebilmesine neden olur. Eğer genlik ve faz elektronik olarak kontrol edilebilirse, ışın çok daha hızlı bir şekilde tarama işlevini gerçekleştirebilecek ve böylelikle haberleşme kanalındaki değişimlerin izlenmesi ve takibi daha hızlı olacaktır. Sonuç olarak HAPs sistemi için faz dizilimli anten seçiminin bir takım avantajları vardır. Bunlar elektronik ışın taraması, geniş açılar üzerinde hızlı tarama yapabilme ve çoklu hüzmeye oluşturma ile verici gücünün serbest uzayda birleştirilmesi gibi örneklendirilebilir. Bununla birlikte çalışılan frekanslarında yüksek bir açıklık kazancı sağlamak amacıyla çok sayıda aktif bileşen ve anten bileşeni kullanılması dezavantajlarındanır.

- Açıklık Antenleri: Açıklık antenleri dalga kılavuzları, enine kesiti giderek büyüyen bir dalga kılavuzundan oluşan basit horn antenler, parabolik yansıtıcılar ve radyo dalgalarını geçiren, ancak bir açıklığın kesiti boyunca bir faz gecikmesi yaratıp dalgaların yakınsaması ya da ıraksamasına yol açan lens antenlerdendir. Açıklık antenlerinin çözümlemesi tel antenlerden farklıdır. HAPs sistemi için, milimetrik dalga bantlarında hüzmeye dizisi sentezi oldukça zor ve karmaşık olduğundan, açıklık antenleri çözüm adayı olarak en çok tercih edilen antenlerdir. Işınma örüntüsünde ana kulağın dik bir zayıflamaya sahip olması gibi yan kulakların (*sidelobe*) da seviyesi girişimin azaltılması için çok önemlidir.

- Geniş bant Baskı Dizilimli Antenler: Mikroşerit antenler, düşük profilleri, düşük ağırlıkları, ucuz maliyetleri ve küçük ebatlarıyla popüler bir çözümdür. Mikroşerit antenler, milimetrik dalga frekanslarında, diziler halinde tasarlandığında daha yüksek kazançlar elde edilebileceğinden HAPS uygulamalarındaki mevcut alternatiflerden olabilirler. Belirli bir frekansta çok düşük empedansa sahip olup, diğer bütün frekanslarda yüksek empedans gösteren rezonans devreleri olduklarından, bant genişlikleri dardır. Yüksek frekanslardaki mikroşerit kayıpları, minimum yan kulak seviyeleri ile geniş bant genişliklerinde olduğu

gibi anten boyutlarını azaltıp yüksek anten kazançları sağlamak çözülmesi gereken temel sorunlardır.

- Akıllı (Uyarlanabilir) Antenler: Özellikle hücresel telefon sisteminde kullanılan ve gelen işareti, işaret işleme algoritmalarından yararlanarak iyileştiren antenlerdir.

1.4.2.2. Düşük Gürültülü Yükselteçler (LNA)

Düşük gürültülü yükselteçler anten üzerine monte edildiğinden, antenin bulunduğu yüksekliğe göre yönelimleri değişmeyecektir. Alıcının ön yükselteci ile anten arasındaki dalga kılavuzunun besleme uzunluğu, kayıpları azaltmak için mümkün mertebe kısa olmak durumundadır. Alıcı alt sistemindeki düşük gürültülü yükselteçler, alıcı sistem G/T (Figure of Merit) optimize etmek için tasarlanmışlardır.

1.4.2.3. Yüksek Güçlü Yükselteçler (HPA)

Bu yükselteçler uydu sisteminde kullanılanlardan daha düşük bir iletim gücüyle çalışmak için tasarlanmışlardır. Çünkü HAPs sistemi ve yer istasyonu ya da yerdeki kullanıcılar arasındaki uzaklık uydu sistemine göre çok daha kısa olacaktır.

1.4.2.4. Yazılım

Yer istasyonundan kontrol edilen ya da yürütülen ana yazılım alanları gerçek zamanlı uygulamalar, yerleşik uygulamalar ve verilerin işlenmesi işlemidir.

Gerçek zamanlı yazılım, HAPs sistemi ilişki yer istasyonu tarafından görülebilir olduğu tüm süreç boyunca işlev yapar. Bu işlevler anten izlemedeki bilgisayar kontrolü, yer-uydu arası komut gönderme ve doğrulama, veri kabulü ve tüm kritik parametreler için durum kontrolü gibidir.

Yerleşik uygulama yazılım ise platformun kendi üzerinde bulunan bilgisayarda bulunur. HAPs sistemi tarafından yapılan veri yönlendirme, güç kontrolü, anten hüzme biçimlendirmesi ve sönümleme azaltma teknikleri gibi işlevlerin gerçekleştirilmesini yürütür.

Verilerin işlenmesi ile ilgili yazılım ise kalite kontrolü, durum değerlendirmesi, veri işlemem ve veri analizi için teknik ve hizmet verilerinin çıkarılma işlevini içerir.

1.4.2.5. İnsanlar

İnsanlar ise yer istasyonunu çalıştırmak ve gerekli işlemlerin yürütülmesi için gereklidir. Burada insanların yaptığı işler şöyledir:

- Bilgi işlem merkezi ve proje yönetimi
- Teknik işlevler (donanım ve yazılım)
- Veri ve mühendislik desteği
- Yönetme
- Bilimsel ve teknolojik işlevlerde uzmanlık

1.5. Uygulamaları ve Sağladığı Servisleri

• HAPs ile geniş bant sabit kablosuz erişim: Mbps mertebesinde oldukça yüksek veri hızları sağlayabilecek olası HAPs sistemi uygulaması geniş bant sabit kablosuz erişimdir. Spektrumda 47/48 GHz bandı için 300 MHz' lik bir bant çifti BWA servisi sağlamak için tahsis edilmiştir. 28/31 GHz bandı ise daha çok Asya için kullanılmaktadır. T1 erişimi, ISDN (Integrated Services Digital Network) erişimi, web tarama, yüksek çözünürlükte video konferans, büyük dosya transferi, Ethernet LAN köprüleme gibi birçok servis sağlayabilir. Bir BWA haberleşme sistemi sabit, taşınabilir ve mobil gibi kullanıcı terminallerini destekleyebilir. Daha çok sabit ve taşınabilir terminaller için erişim linkinin bit hızı birkaç Mbps dır [2]. Tipik anten tiplerinden daha geniş antenlere sahip sınırlı sabit terminaller için erişim linkinin bit hızı ise birkaç yüz Mbps olacaktır. BWA haberleşme sistemleri milimetrik dalga bandında çalıştıklarından, terminal antenlerinin boyutu birkaç cm yarıçap kadar küçülebilir. Bir grup HAPs ile belirlenen bir alan kapsanarak bir ağ oluşturulabilir. HAPs' lar arası linkler kurularak bir grup HAPs ile daha geniş alanlara hizmet verilebilir.

• HAPs ile UMTS: 47/48 GHz ve 28/31 GHz BWA' ya ek olarak, ITU, 3G mobil sevişlerini sağlamak için IMT-2000/UMTS spektrumunun HAPs sistemi tarafından kullanımını uygun bulmuştur. HAPs UMTS sistemi aynı RTT (Radio Transmission

Technology)’ yi kullanacaktır ve mevcut karasal kule tabanlı UMTS sistemleri ile aynı servisi sağlayabilecektir. HAPs sistemi ya tek başına bir istasyon olarak servis sağlayacak şekilde tasarlanabilir ya da karasal baz istasyonları, uydular ve HAPs’ lar entegre bir şekilde çalışacakmış gibi tasarlanabilirler. Hem HAPs hem de karasal sistemler aynı özelliklere sahiptir [2]. HAPs sisteminde istasyon (stratosferdeki platformda birleştirilmiş baz istasyonları), geleneksel sistemlerden (kulelerdeki ve çatılardaki baz istasyonları) farklı olsa da, mobil ağ kullanıcı için aynı temel geçiş yollarından oluşur. HAPs sadece çok küçük piko hücreleri (<100m) ve bina içinde yapılan yüksek hızdaki işlemleri destekleyemez.

- HAPs ile DVB ve DAB: Tıpkı diğer karasal tabanlı kablosuz sistemler gibi, DVB-T ve DVB-H gibi sayısal yayınların alım kalitesi kapsama alanına yani araziye bağlıdır. Kapsanamayan alanların oranını azaltmak için, daha yüksek haberleşme link marjini, daha yüksek bir kule ya da daha çok sayıda baz istasyonu gerekmektedir. HAPs startosferde belirli bir yükseklikte olup DVB/DAB yansıtıcı/verici için alternatif bir çözüm olarak kullanılabilir. SkyTower projesi ile HAPs ile yayın servisinin sağlanmasının çok daha az güç gerektirdiğini ispatlanmıştır. Yapılan test HDTV uygulaması için karasal sistemlerde 1000 W iletim gücü gerekirken, Sky Tower ile 1 W iletim gücü gerekmiştir. HAPs sisteminde DVB/DAB uygulamaları ile ilgili fizibilite çalışmaları ESA tarafından STRATOS projesinde yapılmıştır [2].

1.6. Karasal ve Uydu Haberleşme Sistemleri ile Karşılaştırılması

Dar ve geniş bant servislerini kullanıcılara sunabilen dört adet telekomünikasyon mimarisi mevcuttur. Bu mimarilerden ikisi uzay sistemleri olarak adlandırılan durağan ve durağan olamayan uydulardır. Diğer ikisi ise karasal sistemler olarak bilinen milimetrik dalga yansıtıcıları gibi hücresel sistemler ve HAPs sistemleridir [5].

HAPs sistemlerinin esnek, çevreyi daha az kirleten ve daha az maliyet gibi özellikleri nedeniyle karasal ve uydu sistemlerine göre bir alternatif olarak ortaya sürülmesi yeni bir düşünce değildir. HAPs sistemleri, uydulara göre daha az maliyet, yere daha yakın olma, daha çok uyum sağlayabilme, isteğe göre hareket edebilme ve bulunduğu konumu daha kolay bir şekilde koruyabilme gibi önemli avantajlarıyla birlikte haberleşme uydularına benzer bir rol oynar. HAPs tabanlı haberleşme sistemlerinin kurulum süresi, uydu ve karasal sistemlerden çok daha kısadır.

HAPs ve diğer dar ve geniş bant sistemler yüksek yoğunluk ve düşük yoğunluk diye ihtiyaca göre sınıflandırılabilir. HAPs sisteminde 28/31 GHZ - 47/49 GHz bantları ve yer tabanlı milimetrik dalga sistemleri yüksek yoğunluk mimarilerindendir. Durağan ve durağan olmayan tüm uzay sistemleri düşük yoğunluk mimarilerindendir.

Uzay sistemleri gerekli olan herhangi bir yerde yeterli bant genişliği sağlama konusunda oldukça iyidir. Ancak yarı kentler ve kentler için maksimum kapasite sağlama konusunda karasal sistemler çok daha iyidir. Ayrılan bant genişliği, anten açıklığı, güç ve diğer teknik parametreler sabittir. Kent ve yarı kent alanlar için telekomünikasyon sistem kapasiteleri, sistemin sağladığı noktasal ışın hüzmelerinin (spot) sayısına bağlıdır. Kentsel alanda direkt görüşün (LOS) ulaşabildiği en geniş kapsama alanının sınırıyla yansıtıcı yarıçapı arasındaki uzaklıkla, bir sistemin kentsel alandaki noktasal ışın hüzmesi sayısı değişir. 21 km yükseklikte bir HAPs sistemi tek bir kentsel alanda yaklaşık 700-1000 spot oluşturabilirken, 500 km yükseklikte bulunan durağan olmayan uydu sistemi kentsel alanın merkezinden 100 km dışarıda 6 ya da 9 spot oluşturabilir. Stratosferik mimari, durağan olmayan uydu yörünge mimarisine göre kentsel alan kapasitesine, yaklaşık 100 kat daha büyük kazanç sağlar [5].

HAPs sistemi, uydu sistemleri ve karasal kablosuz haberleşme sistemleri arasında yapılan çeşitli karşılaştırmalar her birinin avantajlarını ve dezavantajlarını gösterir. Literatürde bu kıyaslamalar bolca özetlenmiştir [2, 13, 64, 65, 66, 67].

HAPs sisteminin karasal ve uydu sistemlerine göre en önemli avantajları yayılım ortamları içindir. HAPs sistemi karasal sistemlere göre daha düşük çok yollu sönmülemeye sahiptir. Ayrıca uydu sistemine göre de çok daha az serbest uzay kaybı vardır. Aynı şekilde uydu bağlantısıyla sağlanan ses haberleşmesinde önemli bir konu olan yayılım gecikmesi oldukça azdır.

HAPs sisteminin karasal ve uydu sistemleri üzerindeki diğer bir avantajı ise kurulum maliyetidir. HAPs sisteminde kurulum karasal ve uydu sisteminden hem daha hızlı hem de maliyetin yüzde biridir. HAPs sisteminde bir bileşen arızalanırsa onarılmak için yere indirilebilir. İndirilenin yerine de çok kısa bir sürede yeni bir platform fırlatılabilir. Her şey hesaba katıldığında son maliyet uydu sisteminin yaklaşık %10' u kadar olacaktır [5].

1.7. Dünyadaki Gelişimi ve Yürütülen Projeler

Dünya çapında HAPs sistemlerinin gelişimiyle alakalı geniş çapta birçok çalışma ve

proje mevcuttur.

Bunlardan en kapsamlıları ABD’ de SHARP, SkyStation, HALO-Proteus, Pathfinder, Pathfinder Plus, HELIOS, SkyTower ve Stratellite; Avrupa’ da HALE, STRATOS, HeliNet, CAPANINA, COST 297-HAPCOS, USE HAAS, UAVNET, CAPECON ve USICO; Japonya’ da SkyNet; Malezya’ da M-55GN olarak sıralanabilir.

- SHARP: Bu projenin fikri 1980 de ortaya atılmıştır. SHARP, Kanada’daki Haberleşme Araştırma Merkezi (CRC) tarafından geliştirilmiştir ve dünyadaki ilk sivil yüksek rakımlı platform istasyon programıdır. 1982 de Ekim ayında programın gelişimi başarılımış, 17 Ekim 1987’ de ilk uçuşunu yapmıştır. Yaklaşık 600 km çapında kapsama sağlayan, 21 km yükseklikte, 40 metre kanat genişliğine sahip ve radyo işaretleriyle uzaktan kontrol edilebilen bir projedir [3, 5].



Şekil 1.6. SHARP

- SkyStation: Bu sistem ise yaklaşık 21 km yükseklikte, durağan ve havadan hafif platform ağıdır [4]. Sistemin kentsel, yarı kent ve kırsal alanların üçünde de uplink yönünde 2 Mbps, downlink yönünde 10 Mbps geniş bant kablosuz erişim (BWA) sağlaması beklenmektedir [2].



Şekil 1.7. SkyStation

- HALO-Proteus: HALO (High Altitude Long Operation) 51000-60000 ft yükseklikte 2000-3000 mil² kapsama alanında geniş bant kablosuz erişim (BWA) servisi sağlayabilen bir uçaktır. Anten dizilimi kapsama alanına 28-38 GHz frekansında yaklaşık 100 hüzmeye gönderecektir. Platform 5-8 deniz mili çapındaki bir yörüngede hareket ederken, yerdeki hüzmelerin dengede tutulması için elektronik hüzmeye biçimlendirme teknikleri kullanılır. 1-10 Mbps, 10-25 Mbps ve 25-155 Mbps hızlarında çeşitli servis sınıfları sağlar. Ağ geçitleri ise kamusal anahtarlamalı ağ ile bağlantı sağlar [2, 5, 6].



Şekil 1.8. HALO

- Pathfinder, Pathfinder Plus, HELIOS, SkyTower: Bu isimler NASA' nın ikincil şirketi olarak çalışan şirketin teknolojik sürümlerini temsil eder. 1980' de insansız uçak *Pathfinder* geliştirilmiştir. Ancak ilk uçuşunun ardından mevcut güneş enerjisi ile ve o zamanki teknolojiyle çok yükseklerle ve uzun süreli uçamadığı fark edilmiştir. *Pathfinder* değiştirilip geliştirilmiş ve 24 km yükseğe uçabilen ve daha uzun kanatlı *Pathfinder Plus* 1998' de meydana getirilmiştir [5]. Diğer üretim ise daha uzun süreli uçuş dayanıklılığına sahip *HELIOS* olmuştur. Güneş enerjili bu uçak, stratosferde 21 km yüksekte, 6 ay ya da daha fazla süre sürekli olarak uçabilmektedir [7]. *SkyTower* yine NASA tarafından desteklenerek geliştirilen insansız, güneş enerjisi ile çalışan bir uçaktır. *SkyTower*' da güneş panelleri ve yenilenebilir yakıt pilleri birleştirilerek enerji ihtiyacı sağlanmıştır. Amaçları telekomünikasyon, uzaktan algılama ve askeri uygulamalar olmuştur. Sabit geniş bant haberleşmesi, 3G mobil hücresel haberleşme, dar bant ve TV/Radyo haberleşmeleri, HDTV hedeflenen uygulamalardır. 1-50 Mbps kullanıcı veri hızlarına ulaşılmıştır [2, 5, 8].



Şekil 1. 9. Pathfinder Plus

- **Stratellite:** *Stratellite* insansız hava balonu olup (airship), 3G-4G mobil haberleşme, sabit kablosuz haberleşme, HDTV gibi çeşitli sistemleri desteklemesi amaçlanmıştır [9]. Bu sistemin birkaç bin poundluk veri taşıma kapasitesine ve yaklaşık 300000 mil² direkt görüş hattına sahip olması beklenmektedir. Sistem güneş enerjili elektrik motoruyla çalışmaktadır ve 13 mil yükseklik hedeflenen çalışma yüksekliğidir. Her *Stratellite* ideal kablosuz iletim hattını sağlamak amacıyla tek bir GPS koordinatında kalacaktır [2].

- **HALE:** Aralık 1998’ de ESA (European Space Agency) İngiliz destekli bir şirket olan Lindstrand Balloons Ltd.’ nin *HALE* olarak isimlendirilen durağan hava balonu tasarım çalışması için ödüllendirdi. Bu hava balonunun rüzgar etkisine maruz kaldığı stratosferde, motora uygulanan tahrik gücü ile 21 km yükseklikte ve belirlenen konumun dışına çıkmadan hareket etmesi hedeflenmiştir [10]. *HALE*, ESA’ nın HAPs ile ilgili ilk projesidir. Bu proje hem karasal hem de uydu sistemleri ile rekabet adına HAPs sisteminde yapılan bir fizibilite çalışmasıdır. Projede, UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), MAN (Metropolitan Area Network), uzaktan görüntüleme ve yolcu bilgi sistemleri gibi öncelikli olarak uygulamaya geçirilebilecek ticari yatırımlara da olanak sağlayabilecek haberleşme servisleri üzerine çalışılmıştır. Tasarlanan hava balonu istasyonu, radar, hava radarı ya da sensör mekanizmalarıyla birlikte 600 kg veri yükü taşıyabilecek nitelikte tasarlanmıştır. Ekim 1999’ da proje sonlanmıştır [5, 10].

- **STRATOS:** *STRATOS* diye isimlendirilen ve ESA-ESTEC’ in HAPs sistemiyle alakalı son projesi 2005 yılında yapılmıştır [11]. Proje İtalya, İngiltere ve Almanya ortaklı gerçekleştirilmiştir. Projede, gelecekteki haberleşme piyasasının ihtiyaçlarına cevap verebilecek en iyi platform sisteminin tasarımı, şimdiki ve gelecekteki teknolojilerin

uygulamalarının gerçekleştirilebilmesi için gerekli alt yapının sağlanması ve olası servis alanlarında ses analizi üzerine odaklanılmıştır. Stratosferik platform için iki yapılandırma düşünülmüştür. Biri aerostatik diğeri ise aerodinamik yapılandırmalardır. Her ikisi de güneş enerjisiyle üretilen elektrik ile ihtiyaçlarını karşılayacaktır. Proje kapsamında HAPs sistemi ile ilgili yapılan fizibilite çalışmasında, mevcut karasal ve uydu sistemleriyle bağlantılı çalışabileceği sonucuna varılmıştır. Bu mevcut sistemler mobil ağlar, sabit ağlar ve diğer servisler olarak özetlenebilir [5]. Bu proje kapsamında HAPS sisteminin DVB (Digital Video Broadcasting)- DAB (Digital Audio Broadcasting) uygulamaları konusunda da fizibilite çalışması yapılmıştır [12].

- Helinet: *Helinet* projesi 1999 da başlamış Kasım 2003’ te sonlanmıştır. HAPs sistemi ile geniş bant kablosuz erişim (BWA) sağlaması planlanmış bir Avrupa projesidir. 70 m kanat uzunluğuna sahip olan uçak (aircraft), 17-20 km yükseklikte ya belirlenen yörüngede yavaşça daireler çizerek ya da sabit durarak servis sağlayacaktır. Platform istasyonunun kullanılabilir servis boyutuna bağlı olarak belirlenen bir konum dairesi içinde sabit kalması gerekmektedir. Helinet için hedeflenen şekil zamanın %99.9’ unda $+ / - 4$ km yana, $+ / - 1.5$ km yukarıya hareket edebilmektir. Üzerinde yoğunlaşılacak çalışmalar milimetrik dalga antenleri, yayılım, ilk örnek olarak üretilen platform istasyonun destekleyebileceği hücre sayısı kestirimi, anten tasarımı, ortak kanal girişimi ile yağmur ve atmosferik emilimin etkisi üzerinedir [2, 13].



Şekil 1.10. Helinet

- CAPANINA: Bu araştırma projesi Kasım 2003’ te başlamıştır. *CAPANINA*, HAPs tabanlı, düşük maliyetli geniş bant teknolojisi odaklı çalışmaktadır. Amaç, bulunulan servis bölgelerine göre değişen, platforma farklı ve değişen uzaklıklarda bulunan, hareket halinde ve yüksek hızda bir taşıt (tren, araba vb.) içinde bulunan kullanıcılar için verimli bir

kapsama alanı sağlamaktır. 31/28 GHz milimetrik dalga bandında, serbest uzay noktadan noktaya optik haberleşme teknolojisi ile 60 km' lik bir kapsama alanı içerisinde, her hangi bir noktada 120 Mbps ve üzerinde veri hızı sağlama hedefindedir. Bu projede iki deneme yapılmıştır. İlk deneme İngiltere' de 2004 yılında Ağustos ve Ekim ayları arasında, 300 m gibi oldukça düşük bir yükseklikte hava balonu ile yapılmıştır. İkinci ise Ağustos 2005' te İsveç' te 25 km' ye varan yükseklikte stratosferik bir balonla yapılmıştır [2, 14, 15].

- COST 297-HAPCOS: *HAPCOS (High Altitude Platforms for Communications and other Services)* Avrupa Birliği (EU) Komisyonunca yürütülen 6. Çatı Programı (FP6) içerisindeki Avrupa COST Hareketinin kısa adıdır [16]. Ekim 2005' te çalışmalar başlanmıştır. HAPs haberleşmesi ve diğer servislerle ilgili teknolojik araştırma ve gelişmeler hakkında çalışmalarda bulunulmuştur. Üç ana başlığa odaklanmıştır. Bunlar HAPs tabanlı kablosuz haberleşme servislerini ve arka plandaki diğer servisleri içine alan radyo haberleşmesi, serbest uzay optik haberleşmesi ve platformla ilgili kontrol, kumanda, izleme, navigasyon ve hava araçlarının geliştirilmesidir [5].

- USE HAAS: *USE HAAS*, Avrupa Birliği (EU) Komisyonunca yürütülen 6. Çatı Programı (FP6) içerisindeki havacılık ve uzay kapsamındaki Özel Destek Hareketinin kısa adıdır. 2005 yılında başlayıp 2007 yılında bitmiştir. İsrail, Belçika, İngiltere ve Almanya' daki araştırma merkezleriyle ve çeşitli üniversitelerdeki araştırma gruplarıyla ortak yapılan bir çalışma olmuştur. Yakın gelecekteki yüksek rakımlı uçak ve hava balonu teknolojisiyle alakalı araştırma belgesi ve yol haritası hazırlamayı amaç edinmiştir. Çeşitli çalıştaylar düzenlenmiştir. Bu çalışmayla alakalı son belgeler 2007 yılının sonlarında yayınlanmıştır [5, 17].

- UAVNET: *UAVNET*, 2001 yılında başlayan Avrupa Birliği (EU) Komisyonunca 5. Çatı Programı (FP5) çerçevesinde yürütülen bir projedir [18]. Amaç, sivil insansız hava istasyonu uygulamaları ile ilgili araştırmaları yürütmek aynı zamanda da üniversiteler, araştırma merkezleri ve endüstrideki ilgili firmalarla ortaklaşa iyileştirme odaklı çalışmaktır. Diğer bir amaç ise platformların fırlatma ve işletme politikalarıyla ilgili yeni teknolojik gelişmeler için bilgi alışverişinin sağlanmasıdır.

- CAPECON: *CAPECON*, 5. Çatı Programı (FP5) çerçevesinde CT (Critical Technology) programı tarafından yürütülen bir projedir. Amacı, sivil insansız hava istasyonunun uygulama ve düzenlenişi ile ilgili tanımlamalar yapmaktır. Teknik, acil durumlar, haberleşme ve gözetleme gibi geniş bir kullanım alanı sağlaması bekleniyor [5].

- USICO: *USICO*, 5. Çatı Programı (FP5) çerçevesinde CT programı tarafından yürütülen bir projedir. Sivil insansız hava istasyonu uygulamalarında güvenlik ve işlevsel verimliliği geliştirme amacı taşımaktadır. Bunun yanında sistemin uçuşa elverişliliği, sertifika prosedürleri ve standartlaşma gibi tavsiyeleri içeren bir çalışmaya da odaklanmışlardır [5].

- SkyNet: 20 km yükseklikte TV / Radyo yayını ve çevresel gözlemler yapabilen, haberleşme amaçlı kullanılabilen stratosferik bir hava balonudur. Japonya ulusal projesi olup, STA ve MPT tarafından yürütülmektedir [19]. Stratosferik platformun tamamlanmış ilk fırlatılışı 2003 yılında yapılmıştır. Tek bir stratosferik platform, 100 km yarıçaplı bir alanı kapsayabilir (yükselme açısı $>10^\circ$). Kapsama alanı, yarıçapları birkaç km olan küçük hücrelere bölünmüştür. Bu bölme işlemi trafik yoğunluğuna bağlı olarak platform üzerindeki çok hüzmeli anten sistemi kullanılarak yapılmıştır.

Platformlar birbirlerine noktadan noktaya optik ara platform linkleriyle bağlanmıştır. Stratosferik platform haberleşme ağı, yüksek hızda ağ geçidi linkleriyle karasal kablolu ya da kablosuz ağlarla bağlantı kuracaktır. Stratosferik platformlar, kent, yarı kent ya da kırsal servis alanlarındaki kullanıcılara geniş bant kablosuz erişim (BWA) ağı ile yüksek hızda multimedya servisi sağlayacaktır. Maksimum kullanıcı veri hızı downlink yönünde 10 Mbps, uplink yönünde 6 Mbps olması beklenmektedir [2, 19].



Şekil 1.11. SkyNet

- M-55GN: *M-55GN* uçağı stratosferde yaklaşık 5 saatlik bir uçuş dayanıklılığına sahiptir. Yaklaşık 21 km yükseklikte, geniş alanlara kablosuz erişim sağlamak için belirlenen bir dairesel yörüngede uçar. 37 m kanat genişliğine ve yaklaşık 24 ton ağırlığa sahiptir. 2 ton veri yükü taşıyabilir ve 40 kW güç kaynağı kullanır. Tek bir *M-55GN* stratosferik uçağı 400 km yarıçaplı bir kapsama alanında iyi bir servis sağlama kapasitesine

sahiptir. İyi bir kapsamayı özel sayısal hüzme şekillendirici antenlerle ve haberleşme sistemleriyle kapsanan çok sayıda hücrelerle sağlanır. Bu kapsama 258 adet karasal baz istasyonunun yaptığı kapsamaya denk gelir [5].



Şekil 1.12. M-55GN

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

2.1. Giriş

İletişim sistemlerinin tümünde olduğu gibi HAPs sistemlerinde de en önemli parametrelerden biri sistem ve bağlantı tasarımında ihtiyacımız olan yayılım karakteristiklerinin iyi bir şekilde belirlenmesidir. Bu çalışmada HAPs sistemlerinde yayılım modellemesi üzerinde durulmuş ve başarımlar analizi yapılmıştır. Olası tüm kentsel yayılım ortamları dört grupta toplanmıştır. Bunlar; yarı kent (suburban [SU]), kent (urban [U]), yoğun kent (dense urban [DU]), yüksek yapı (metropol) kent (urban high rise [UHR]) şeklinde gruplandırılmıştır. Bu yayılım ortamları bilinen istatistiksel modellerle yükselme açısına da bağlı olacak şekilde modellenmiştir. Burada sadece kentsel alanlar üzerinde durulması daha ayrıntılı bir inceleme yapılmasını sağlamıştır. Ayrıca günümüzde hızla artan metropol alanlar, sinyal zayıflamalarında çok daha önemli hale geldiğinden daha ayrıntılı incelemeler bu problemin çözümü için olumlu bir katkı olacaktır. Burada temel parametreler Θ = Yükselme Açısı (5-90 derece), K_1 = Rice yayılım katsayısı (10-20 dB), K_2 = Rayleigh yayılım katsayısı (10-20 dB) ve sönmüleme derinliğinin performans yüzdesi olarak belirlenmiştir. Bu istatistiksel modelle serbest uzay yol kaybı birleştirilerek 2-6 GHz frekans bandında toplam yol kaybı modeli oluşturulmuştur. Her bir yayılım ortamı ve farklı koşullar için kanal başarımlar analizi yapılmıştır.

2.2. HAPs Sistemlerinde Yayılım Ortamlarının Belirlenmesi

HAPs sistemlerinde yükselme açıları ve yayılım ortamları, yayılım karakteristiklerinin belirlenmesi için en önemli parametreler olarak karşımıza çıkar. Öncelikle ITU-R Rec. P.1410 [69] istatistiksel modelinden yola çıkarak incelenen yayılım ortamları için her bir yükselme açısına karşılık gelen LOS (direkt görüşün olduğu) ve NLOS (direkt görüşün olmadığı) olasılık dağılımları hesaplanıp [51], oluşturulacak modelde kullanılmak üzere veriler oluşturulmuştur. Bu istatistiksel model [51], binaların bulunduğu daha çok kentsel diye adlandırabileceğimiz alanları tanımlarken sadece üç adet amprik parametreden faydalanmaktadır. Bunlar ;

- α : Binalarla kaplı alanın tüm alana oranı

- η : Binaların birim alan başına ortalama değeri
- λ : Bina yüksekliği dağılımından saptanan parametre

α parametresinin değişim aralığı 0,1 den 0,2 ' ye; η parametresinin değişim aralığı 100' den 750' ye kadardır. λ en sık rastlanan bina yüksekliğini temsil etmek üzere, bina yüksekliklerinin istatistiksel Rayleigh dağılımı parametresi olarak izah edilir. Rayleigh dağılımı esas alan olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$P_r(h_b) = \frac{h_b}{\lambda^2} e^{-\frac{h_b^2}{2\lambda^2}} \quad (2.1)$$

şeklindedir. Burada P_r , verilen kentsel alandaki bina yüksekliğinin h_b ye eşit olduğu durumdaki olasılık değeridir. α ise iki boyutlu şehir planından basit bir şekilde elde edilebilir. η ise en az öneme sahip parametredir; çünkü Tablo 2.1' de verilen simülasyon sonuçlarına en az etkide bulunan η ' dır. Senaryo için dört farklı tip ortam seçilmiştir.Bunlar;

1. Yarı kent (SU)
2. Kent (U)
3. Yoğun kent (DU)
4. Yüksek yapılı (metropol) kent (UHR)

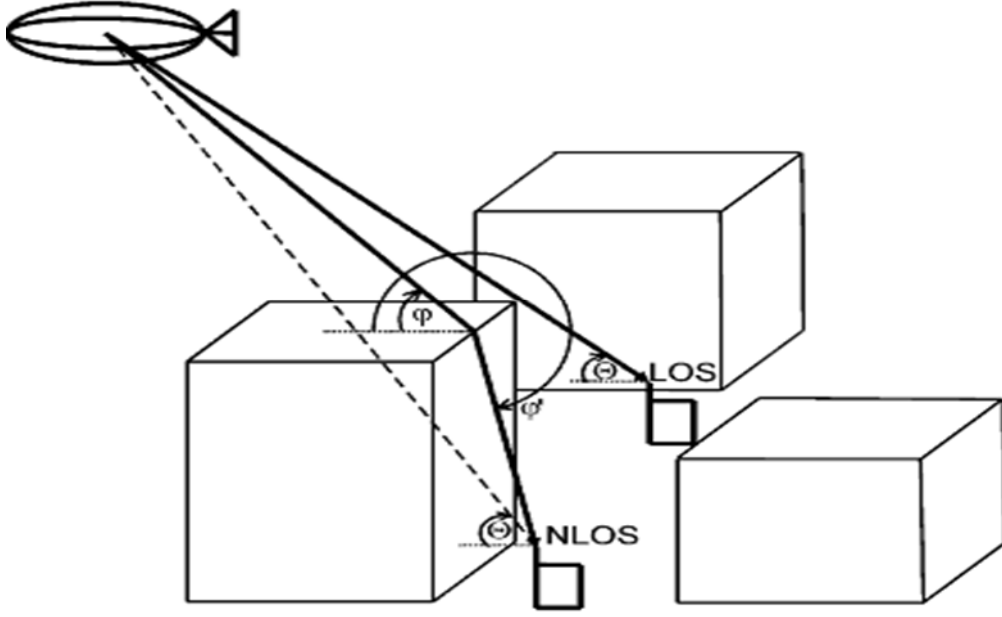
şeklindedir. Yarı-kent alanlardan gökdelenli şehir merkezlerine kadar, kullanılan dört farklı yayılım ortamına bağlı oluşan ITU-R Rec. P.1410 [69] istatistiksel model parametreleri Tablo 2.1' de özetlenmiştir.

Tablo 2.1. Seçili yayılım ortamlarında ITU-R Rec. P.1410 modeli parametreleri [51].

Yayılım Ortamı	α	η	λ [metre]
Yarı kent (SU)	0,1	750	8
Kent (U)	0,3	500	15
Yoğun kent (DU)	0,5	300	20
Yüksek yapılı kent (UHR)	0,5	300	50

Bina yükseklik yoğunlukları bazı referanslarda Rayleigh dağılımdan çok Log-normal dağılıma benzediği belirtilmelidir [50, 68]. Bina yükseklikleri ile ilgili olan dağılımlar ise [50], [69] ve [70] numaralı kaynaklarda ayrıntılı bir şekilde bulunmaktadır.

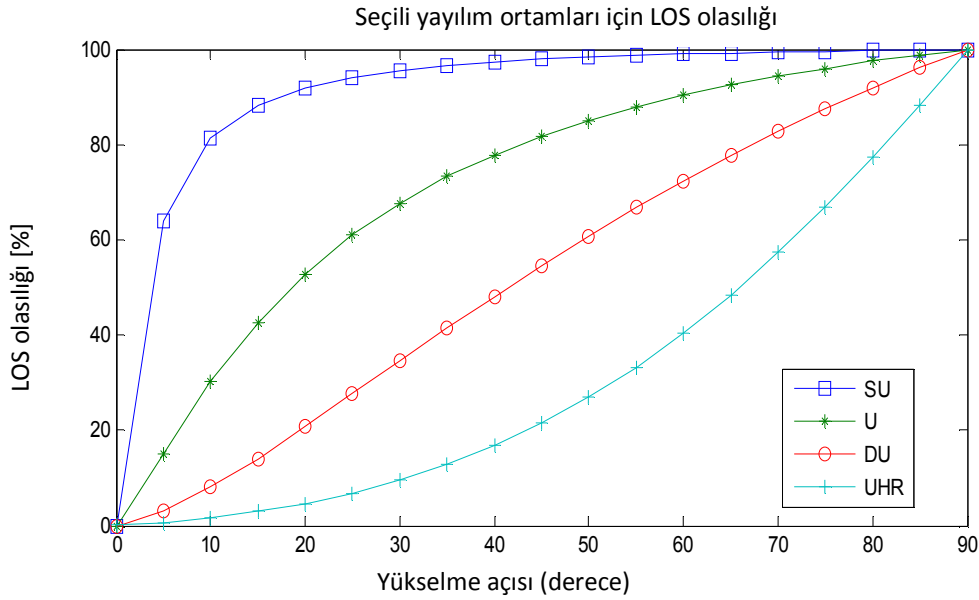
Dört adet yayılım ortamı için her bir yükselme açısına karşılık gelen LOS ve NLOS olasılık dağılımları aşağıdaki geometri üzerine oluşturulmuştur [51]. Bu geometri bir bakıma yapılacak olan benzetim için esas alınacak senaryodur.



Şekil 2.1. LOS ve NLOS senaryolarının geometrisi [51].

Yapılan senaryoda bir analiz için 2×2 km boyutlarda bir kent alınmış olup, simülasyonda binaların yerleşimi 1 m' lik dilimlerle örneklendirilmiştir. Simülasyonlar iki gruba ayrılmıştır. Birincisinde caddelerdeki LOS olasılıkları, binalarla dolu farklı tip alanlar için yükselme açısının bir fonksiyonu olacak şekilde analiz edilmiştir. İkincisinde ise binaların gölgeleme etkisinden ötürü ilave edilen yol kaybı düzgün kırınım teorisi (Uniform Theory of Diffraction) (UTD) kullanılarak analiz edilmiştir [71, 72]. Burada bina çatıları, bağıl dielektrik (yalıtkan) sabiti 4 olan dielektrik takozlar şeklinde modellenmiştir. Çatılarda oluşan kırınım kaybı hem yatay hem de düşey polarizasyonlarda ayrı ayrı hesaplanmıştır. Daha detaylı bir ışın izleme yöntemi burada uygulanmamıştır. Çünkü yayılım ortamının istatistiksel modeli caddelerin vadili yapılarını da içeren daha gerçek bir veri içermeyip, Şekil 2.1' deki gibi LOS ve NLOS durumlarını içine alan daha basit bir geometri göstermektedir.

Hesaplamalar, azimut açıları 0-360 derece arasında değişecek şekilde, 9 derecelik aralıklarla yapılmıştır. Başlangıçta binalar istatistiksel modellerle rastgele oluşturulmuştur. Ardından, çok fazla sayıda senaryoyu gerçeklemek ve analiz etmek için, verilen yükselme ve azimut açılarında, caddelerin her bir örneklenen noktası için HAPs' ın konumu ayrı ayrı saptanmıştır. Belirlenmiş bir yükselme açısı için LOS olasılığı, tüm azimut açıları için elde edilen veri serilerinin orta noktası (median value) alınarak hesaplanmıştır. Böylece sonuçlar azimut açısından bağımsız hale gelmiştir; çünkü gerçek dünyada binalar genellikle düzgün yapılarda yerleşmemiştir. Bu simülasyonlar 1 dereceden 90 dereceye kadar tüm yükselme açıları için uygulanmış ve Şekil 2.2' deki gibi bir dağılım elde edilmiştir [51].



Şekil 2.2. Seçili yayılım ortamları için yükselme açısına bağlı LOS olasılığı [51].

Şekil 2.2' de elde edilen veriler yardımıyla yükselme açısına bağlı bir denklem bulunmuştur [51].

$$P_{Los}(\theta) = t - \frac{t-n}{1+(\frac{\theta-k}{l})^p} \quad (2.2)$$

Denklem (2.2)' deki parametrelerin ortamlara göre değişimi de Tablo 2.2' de belirtilmiştir.

Tablo 2.2. LOS olasılık hesabı için parametreler [51].

Yayılım Ortamı	t	n	k	l	p
Yarı-Kent (SU)	101.6	0	0	3.25	1.241
Kent (U)	120.0	0	0	24.3	1.229
Yoğun-Kent (DU)	187.3	0	0	82.1	1.478
Yüksek-Yapılı-Kent (UHR)	352.0	-1.37	-53	173.8	4.670

2.3. Yayılım Ortamlarının Bilinen İstatistiksel Modellerle Modellenmesi

Bu verileri kullanarak dört yayılım ortamı için sönümlenme derinliği dağılımları incelenmiştir. Burada Barts and L. Stutzman' nın karasal mobil uydu sistemleri (LMSS) için ortaya koydukları istatistiksel modelden yola çıkılmıştır [68].

$$C(F) = C_s(F)S + C_u(F)(1 - S) \quad (2.3)$$

(2.3) modelinde $C_u(F)$, gölgelenmenin olmadığı ve sadece K1=Rice yayılım katsayısına bağlı sönümlenme dağılımı; $C_u(F)$, gölgelenmenin olduğu, K2= Rayleigh yayılım katsayısına, Log-Normal dağılımın ortalama değeri (μ) ve standart sapmasına (σ) bağlı fading dağılımı; $C(F)$ ise gölgelenme yüzdesi S ile birlikte iki dağılımın birleştirilmesiyle elde edilmiş yeni sönümlenme dağılımıdır. Aslında belirli bir $C(F)$ ' nin ifade ettiği şey o değere dağılımda karşılık gelen sönümlenme derinliğinin aşılma yüzdesidir.

Kentsel alanda bu kombinasyon LOS varlığında, yalnızca Rice yayılım katsayısına (K1) bağlı sönümlenme derinliği dağılımı ($C_1(F)$) ile NLOS varlığında yalnızca Rayleigh yayılım katsayısına (K2) bağlı sönümlenme derinliği dağılımı ($C_2(F)$) yapılmıştır [30]. Böylelikle bu model P_{LOS} ve $P_{NLOS} = 1 - P_{LOS}$ olasılıklarının da işleme katılmasıyla yükselme açısına (Θ) bağlı bir sönümlenme derinliği modeli ($C(F)$) haline getirilmiştir.

$$C_1(F) = e^{\frac{-(F+U_1)}{U_2}} \quad (2.4)$$

$C_1(F)$ = Rice dağılımda sönümlenme derinliğinin aşılma yüzdesi

$$U_1 = 0.01(K1)^2 - 0.378(K1) + 3.98$$

$$U_2 = 331.35(K1)^{-2.29}$$

K1= Rice Yayılım Katsayısı (dB)

$$C_2(F) = 1 - e^{-(0.5K_2 \cdot 10^{(0.1F)})} \quad (2.5)$$

$C_2(F)$ = Rayleigh dağılımda sönümlenme derinliğinin aşılma yüzdesi

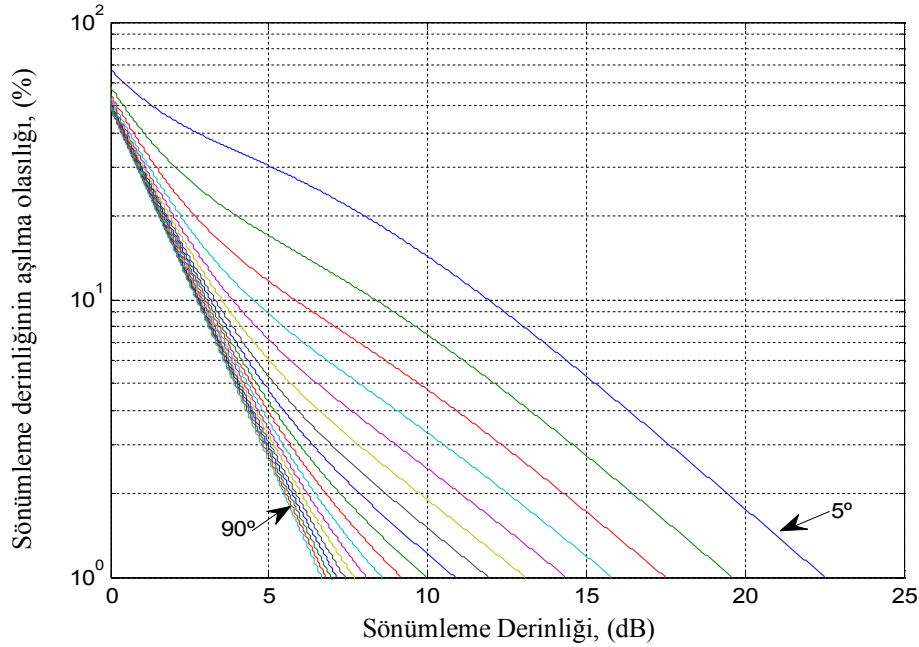
K_2 = Rayleigh Yayılım Katsayısı (dB)

Tüm olası yayılım ortamlarını kapsayacak şekilde tam model (2.6)'daki gibi tanımlanmıştır [30].

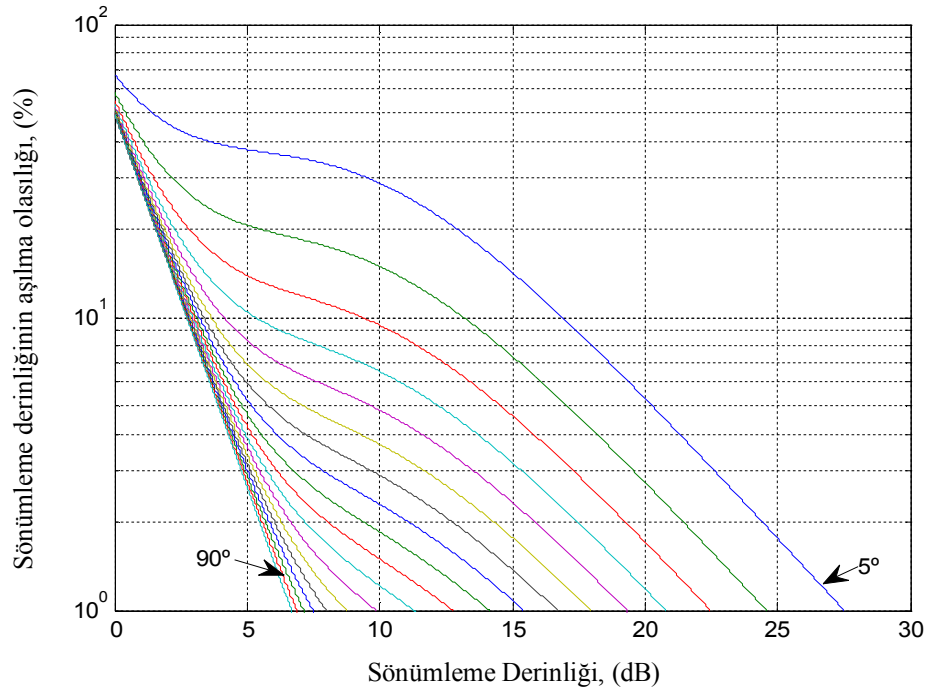
$$C(F) = C_1(F)P_{LOS} + C_2(F)(1 - P_{LOS}) \quad (2.6)$$

(2.6)'daki denklemden yararlanarak K_1 , K_2 ve yükselme açısının değişimine bağlı olarak dört yayılım ortamı için ayrı ayrı sönümlenme derinliği dağılımları oluşturulmuştur [30]. Literatürde, radyo ufku nedeniyle, 22 km yükseklikte bir platform için, minimum yükselme açısı 5° alınmıştır [5]. Bu nedenle incelemeler 5° - 90° arasında yapılmıştır.

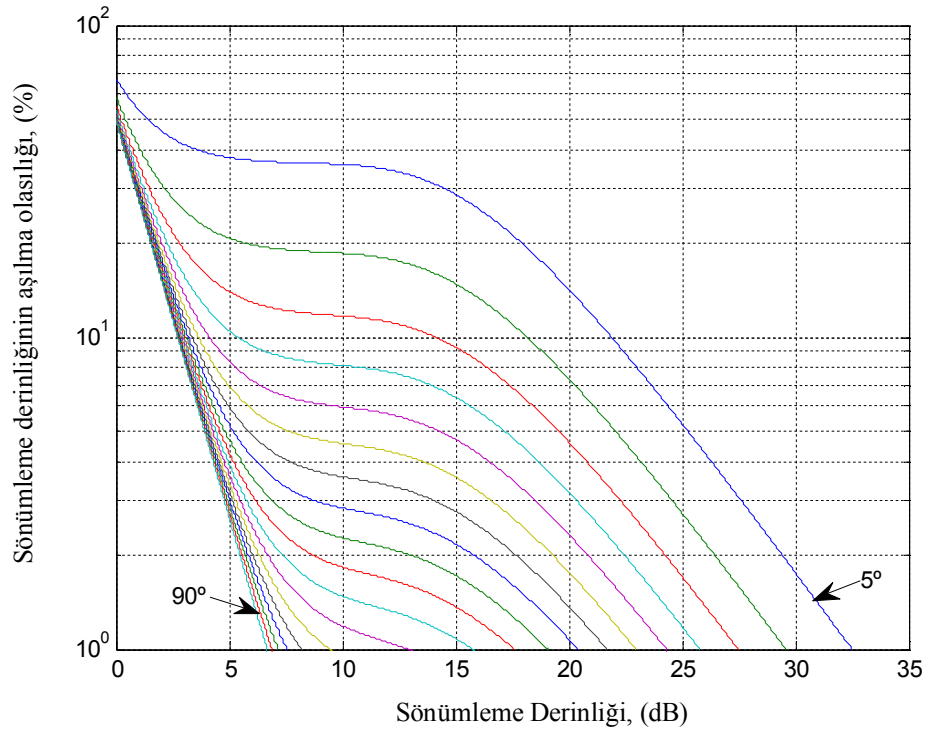
2.3.1. Yarı Kent Sönümlenme Derinliği Dağılımı



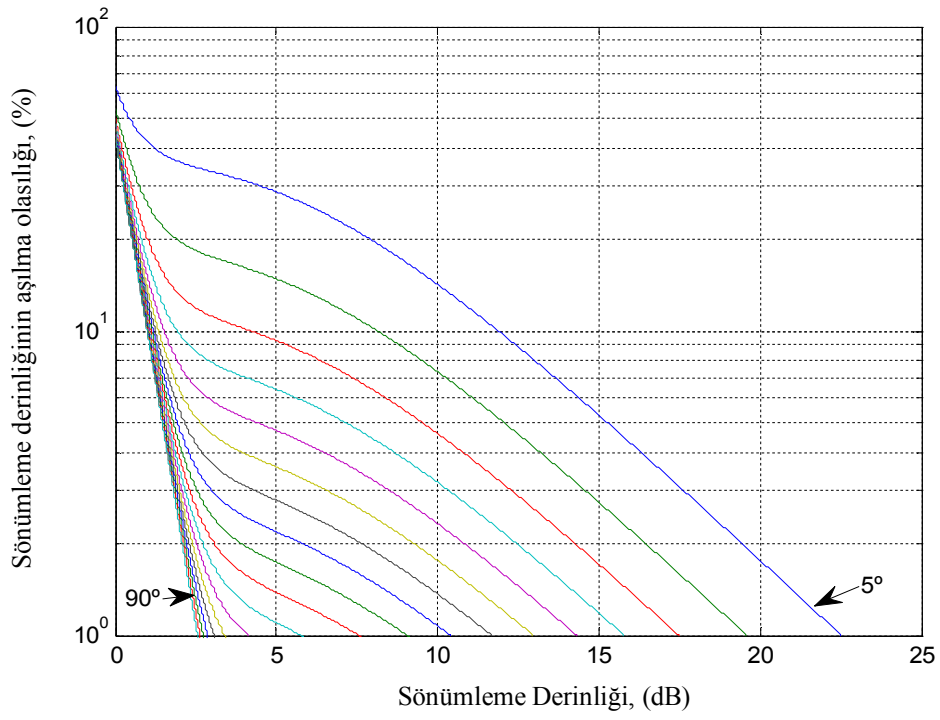
Şekil 2.3. Yarı kent (SU)-yükselme açısına bağlı sönümlenme derinliği ($K_1=10$ dB, $K_2=10$ dB)



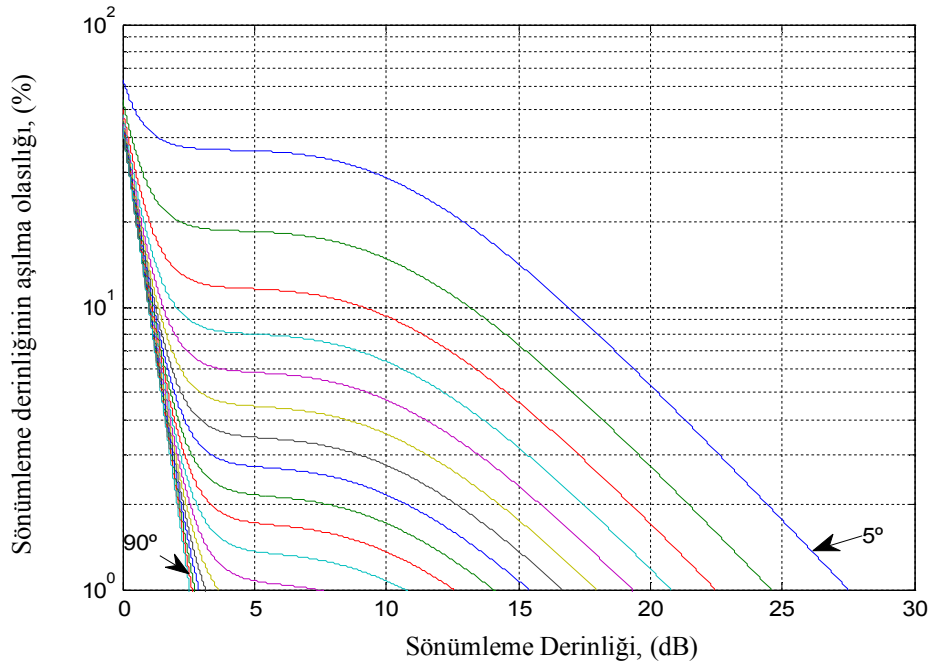
Şekil 2.4. Yarı kent (SU)-yükselme açısına bağlı sönümlenme derinliği (K1=10 dB , K2=15 dB)



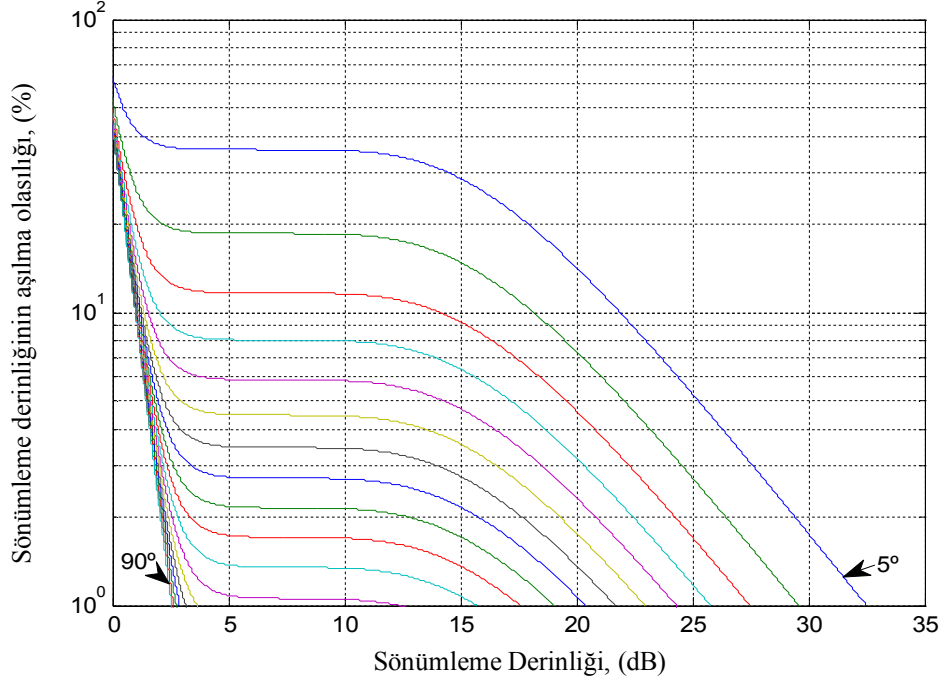
Şekil 2.5. Yarı kent (SU)-yükselme açısına bağlı sönümlenme derinliği (K1=10 dB, K2=20 dB)



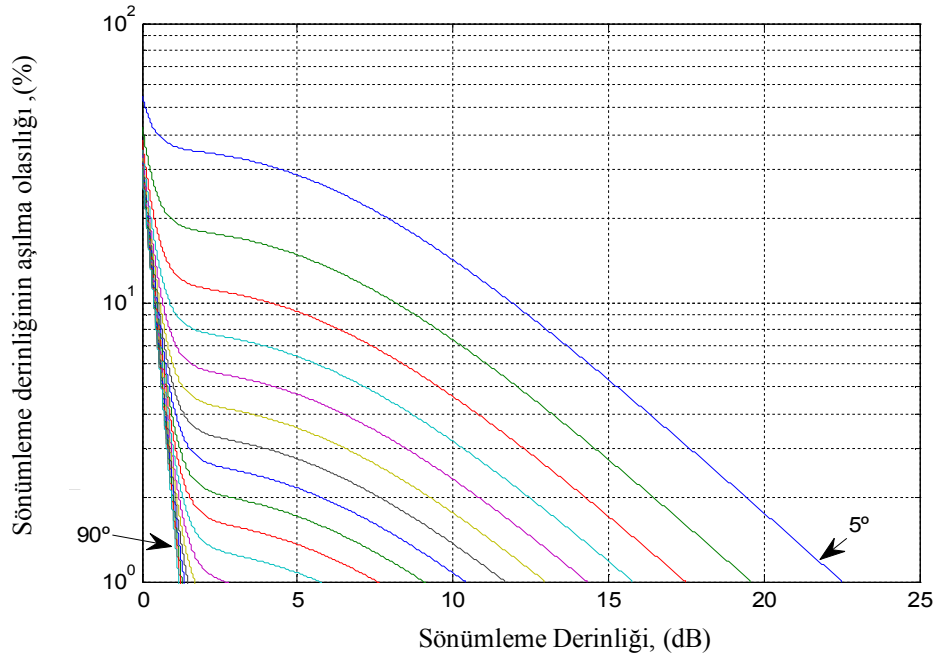
Şekil 2.6. Yarı kent (SU)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği. (K1=15 dB, K2=10 dB)



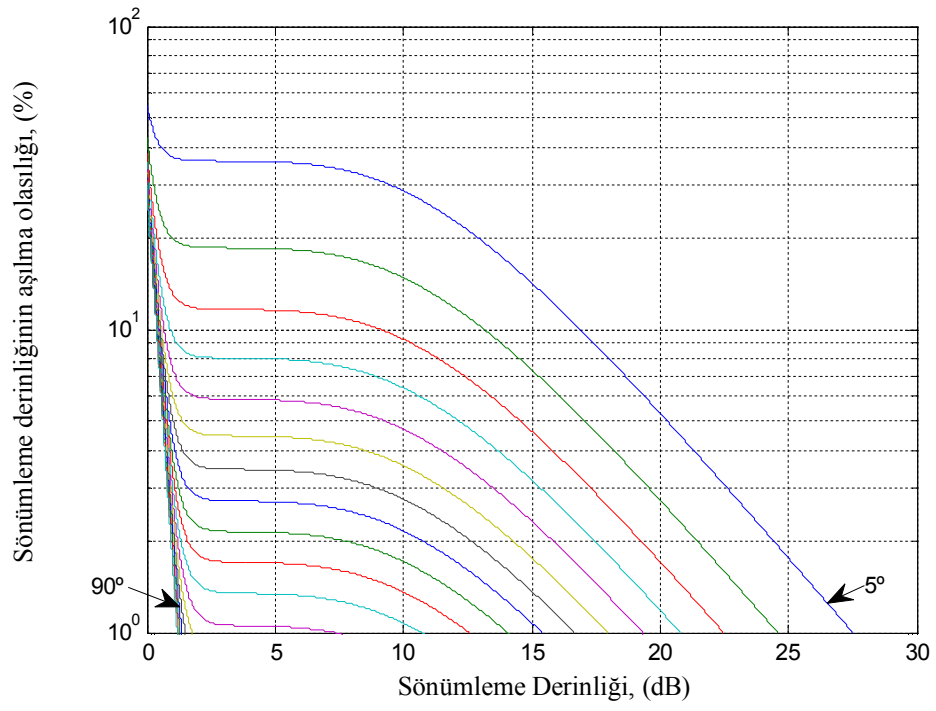
Şekil 2.7. Yarı kent (SU) - Yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=15 dB, K2=15 dB)



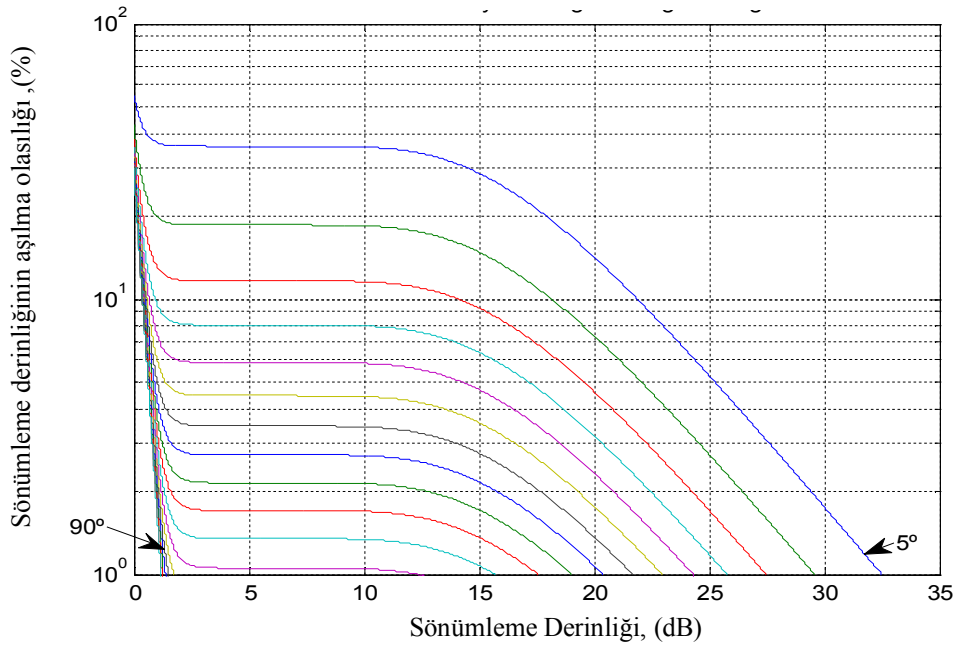
Şekil 2.8. Yarı kent (SU)-yükselme açısına bağlı sönümlenme derinliği (K1=15 dB, K2=20 dB)



Şekil 2.9. Yarı kent (SU)-yükselme açısına bağlı sönümlenme derinliği (K1=20 dB, K2=10 dB)

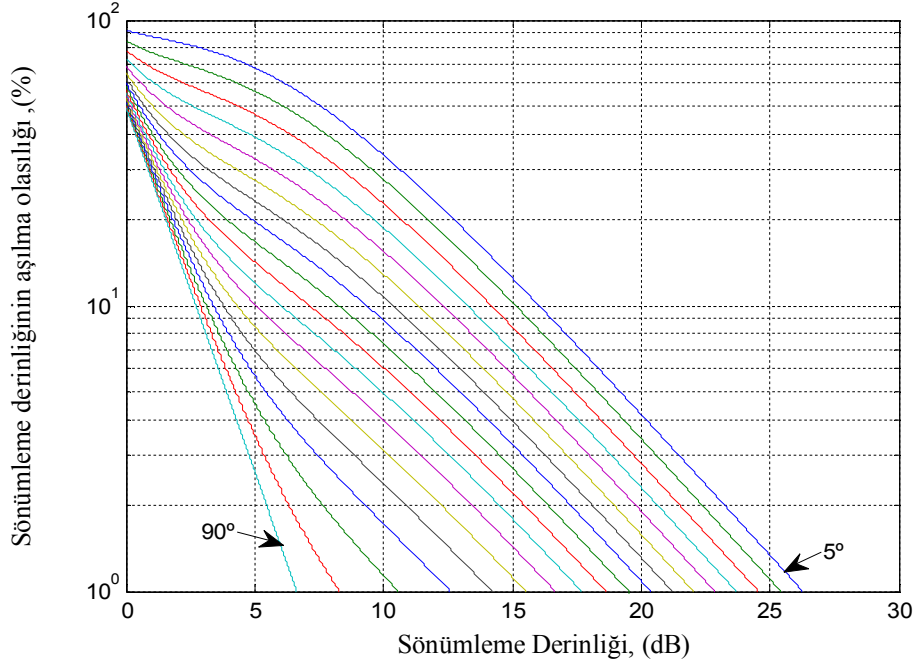


Şekil 2.10. Yarı kent (SU)-yükselme açısına bağlı sönümlenme derinliği
(K1=20 dB, K2=15 dB)

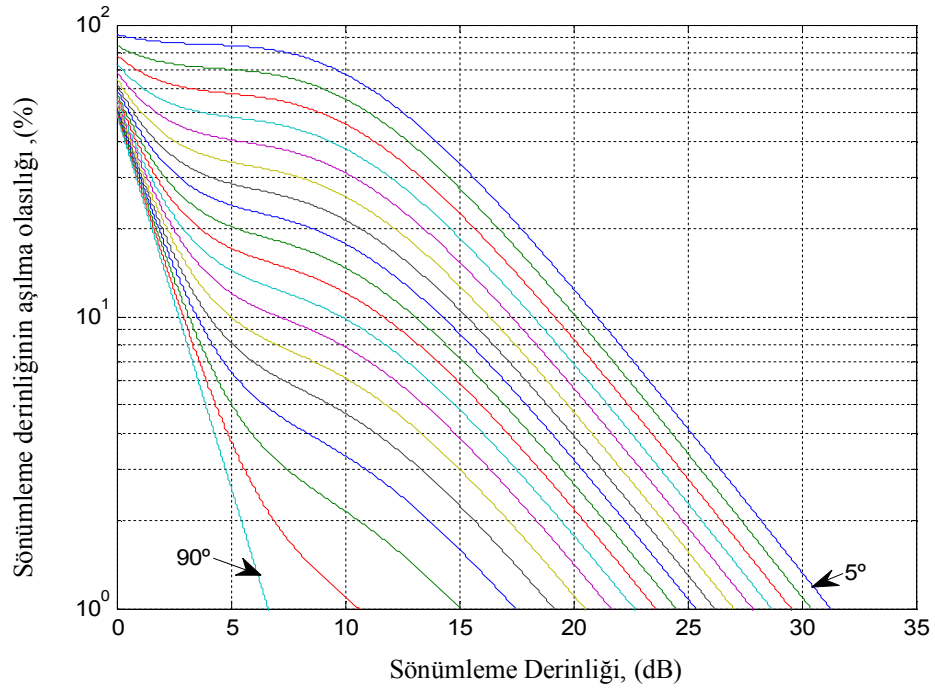


Şekil 2.11. Yarı kent (SU)-yükselme açısına bağlı sönümlenme derinliği
(K1=20 dB, K2=20 dB)

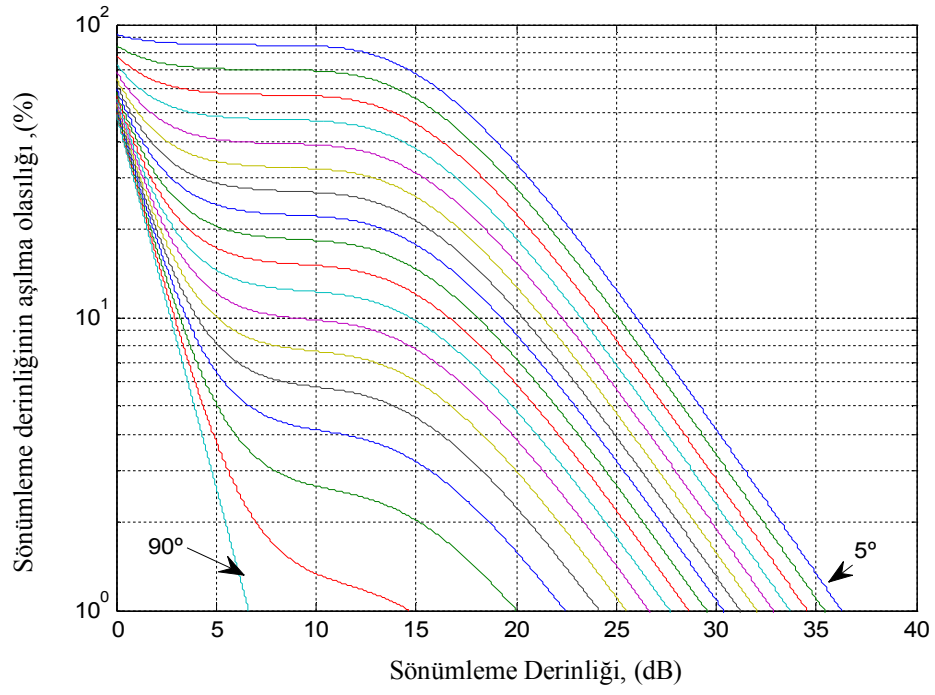
2.3.2. Kent Sönümleme Derinliği Dağılımı



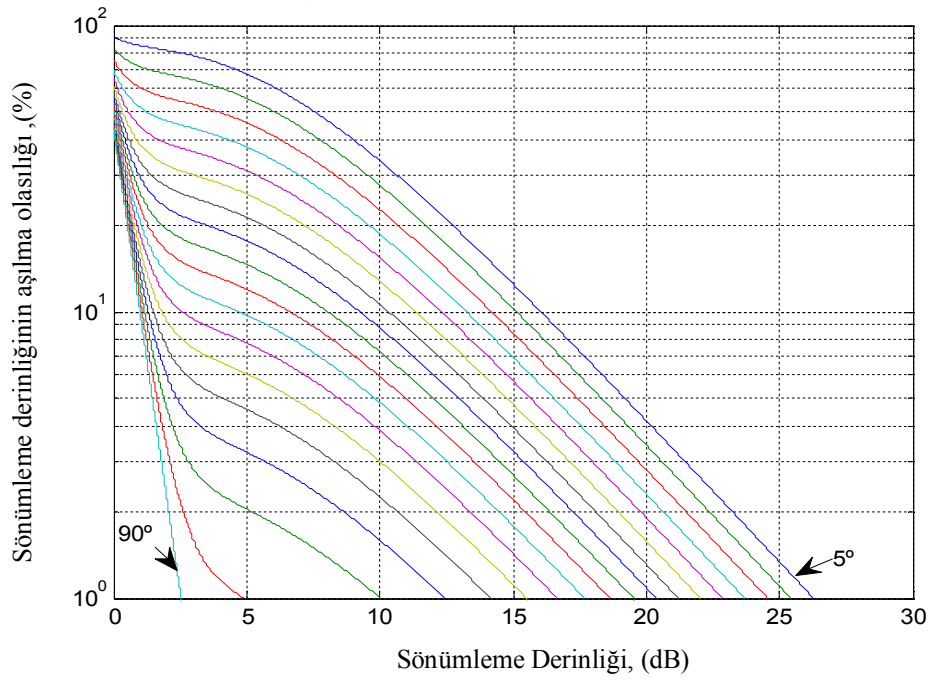
Şekil 2.12. Kent (U)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=10 dB, K2=10 dB)



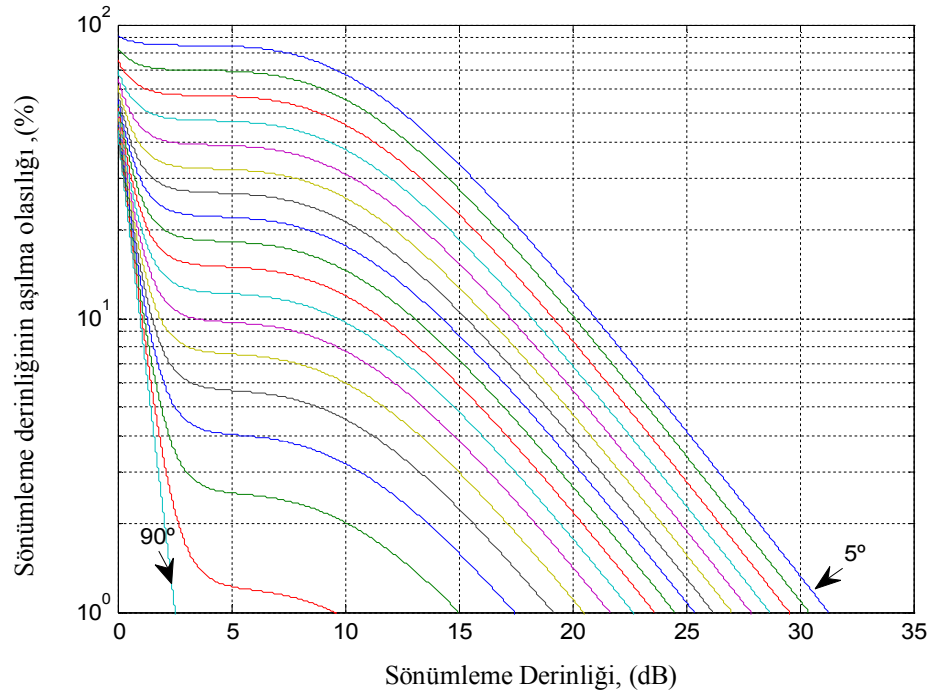
Şekil 2.13. Kent (U)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=10 dB, K2=15 dB)



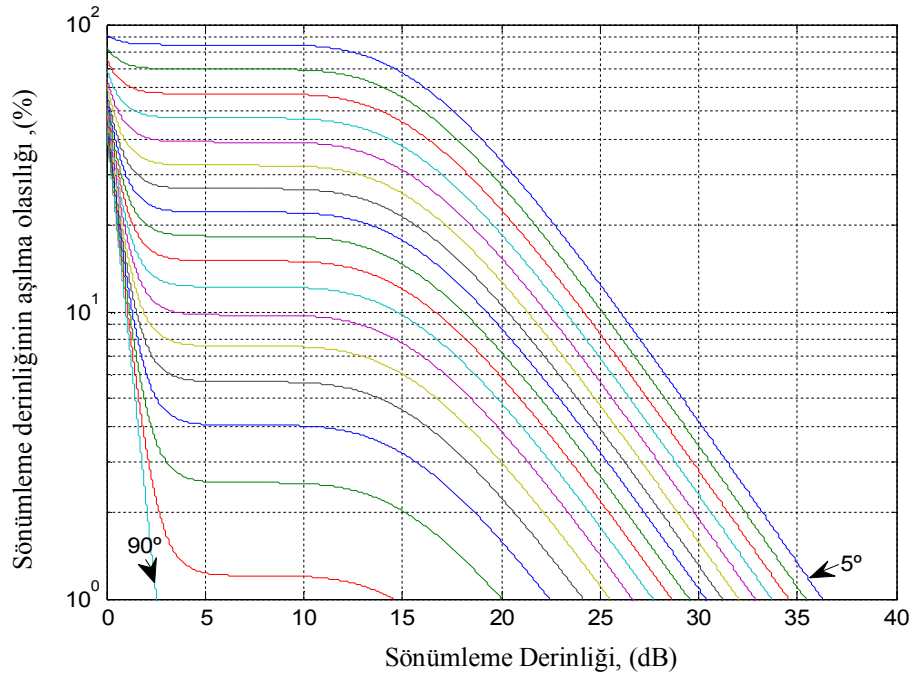
Şekil 2.14. Kent (U)-yükselme açısına bağlı sönümlenme derinliği (K1=10 dB, K2=20 dB)



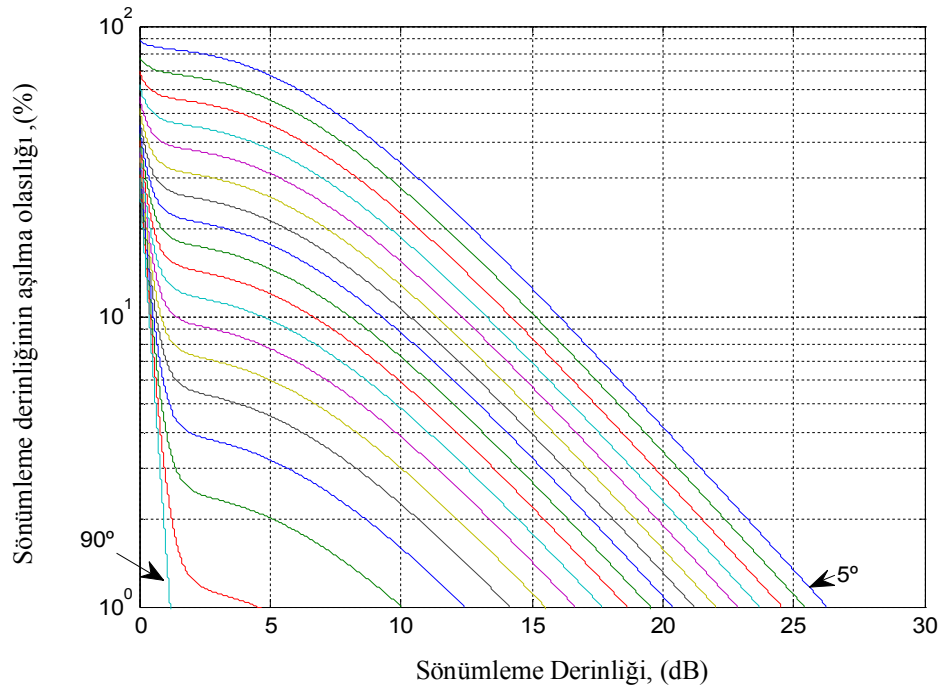
Şekil 2.15. Kent (U)-yükselme açısına bağlı sönümlenme derinliği (K1=15 dB, K2=10 dB)



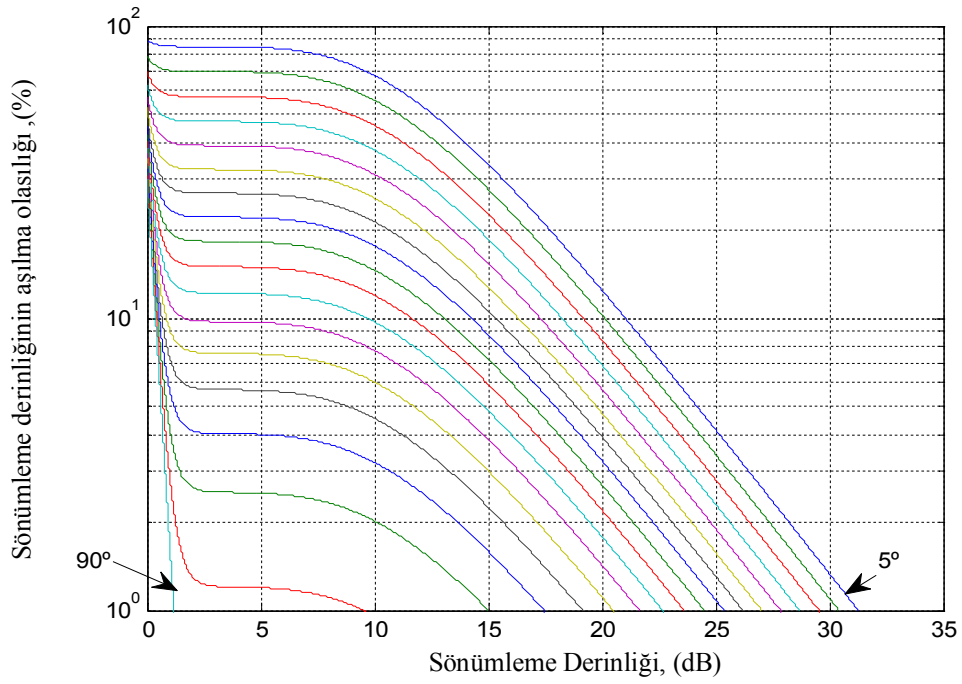
Şekil 2.16. Kent (U)-yükseleme açısına bağlı sönümlleme derinliği
(K1=15 dB, K2=15 dB)



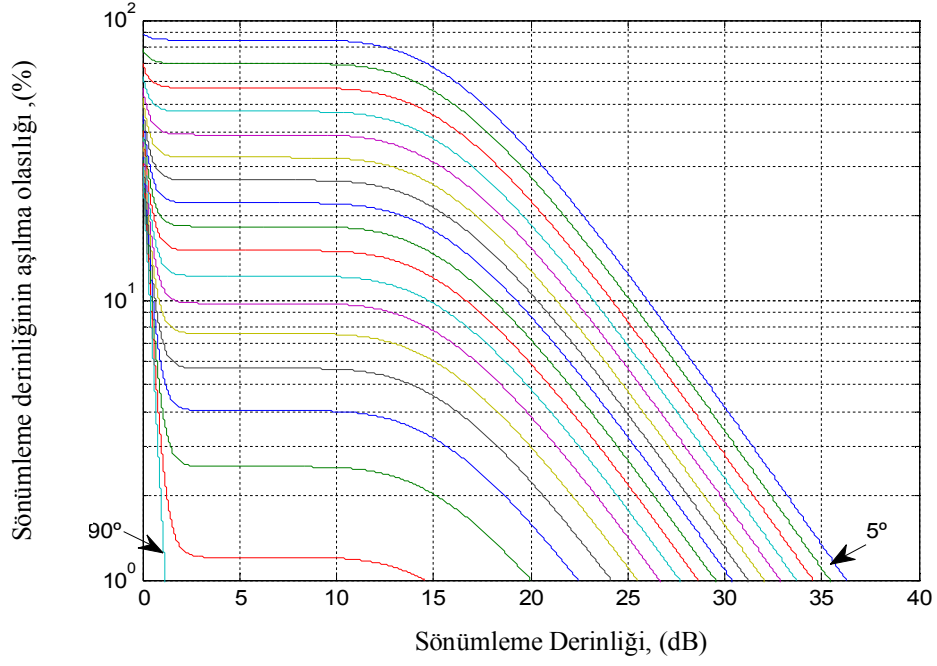
Şekil 2.17. Kent (U)-yükseleme açısına bağlı sönümlleme derinliği
(K1=15 dB, K2=20 dB)



Şekil 2.18. Kent (U)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği
(K1=20 dB, K2=10 dB)

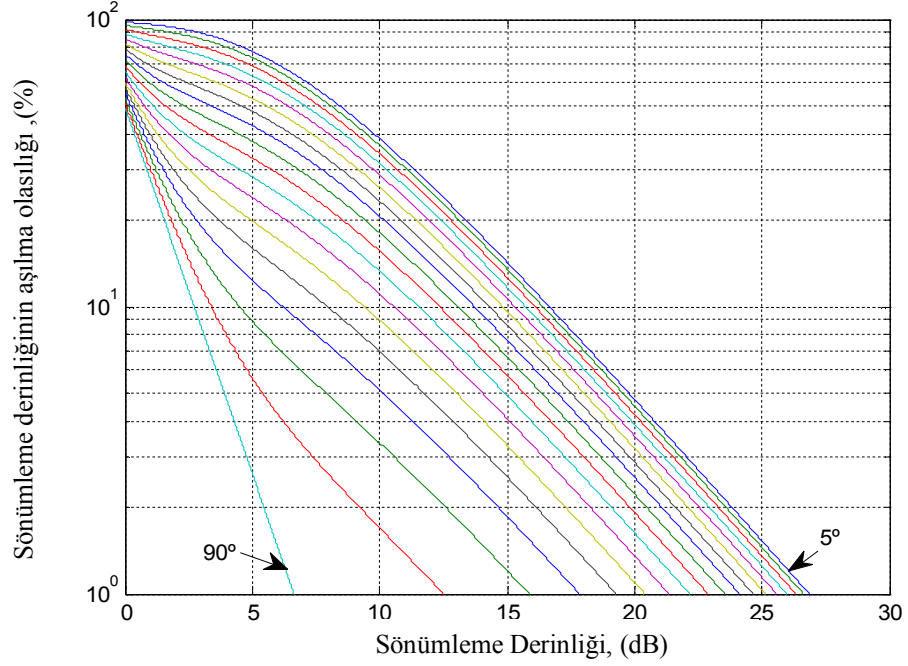


Şekil 2.19. Kent (U)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği
(K1=20 dB, K2=15 dB)

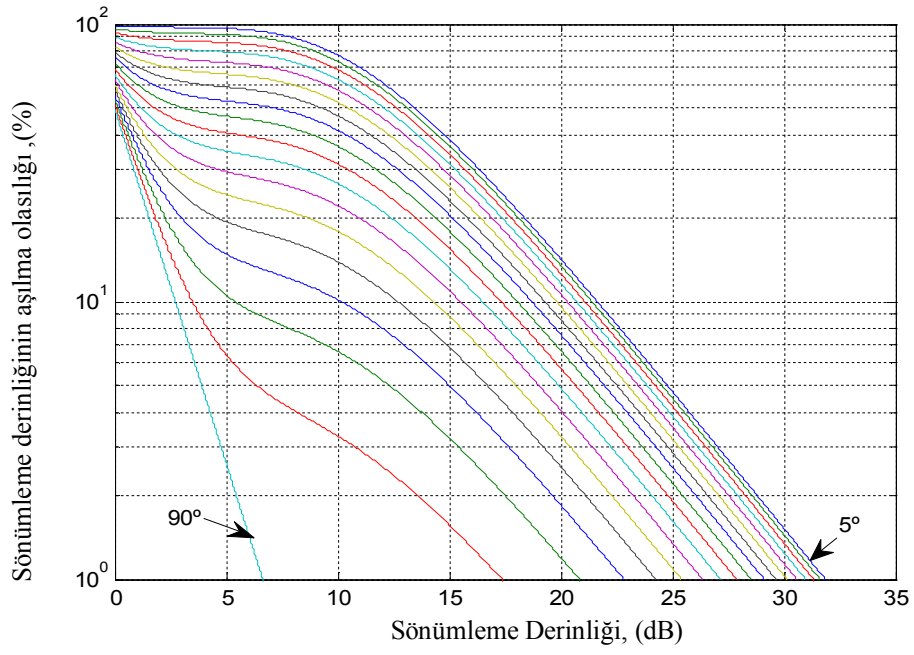


Şekil 2.20. Kent (U)-yükseleme açısına bağlı sönümlenme derinliği
(K1=20 dB, K2=20 dB)

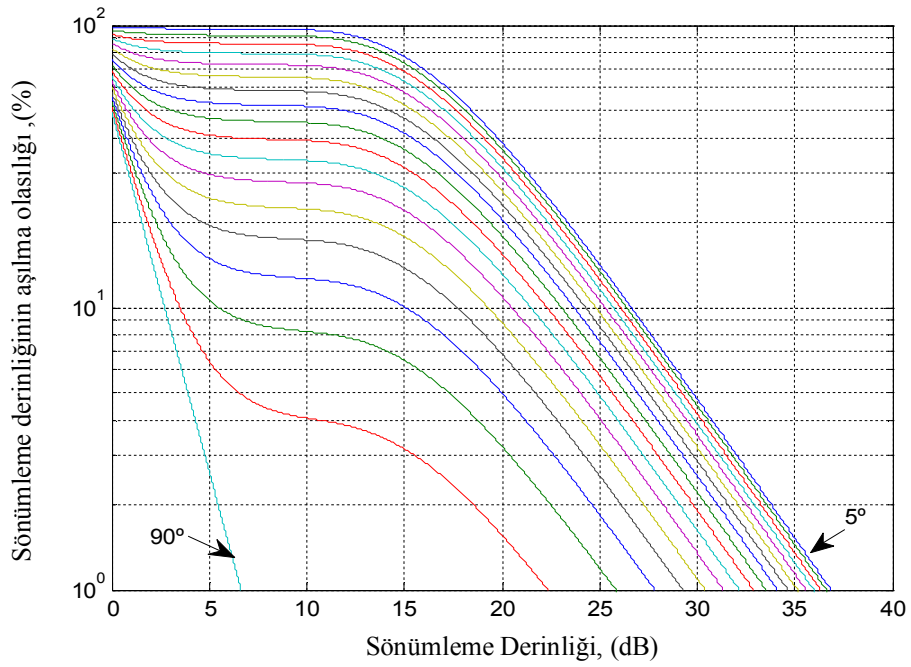
2.3.3. Yoğun Kent Sönümlenme Derinliği Dağılımı



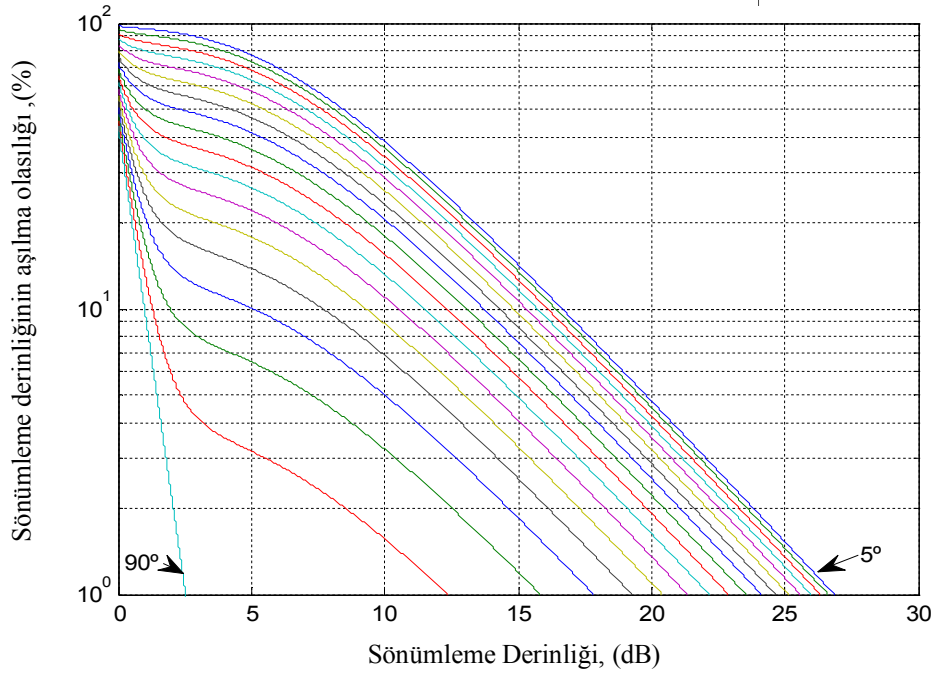
Şekil 2.21. Yoğun kent (DU)-yükseleme açısına bağlı sönümlenme derinliği
(K1=10 dB, K2=10 dB)



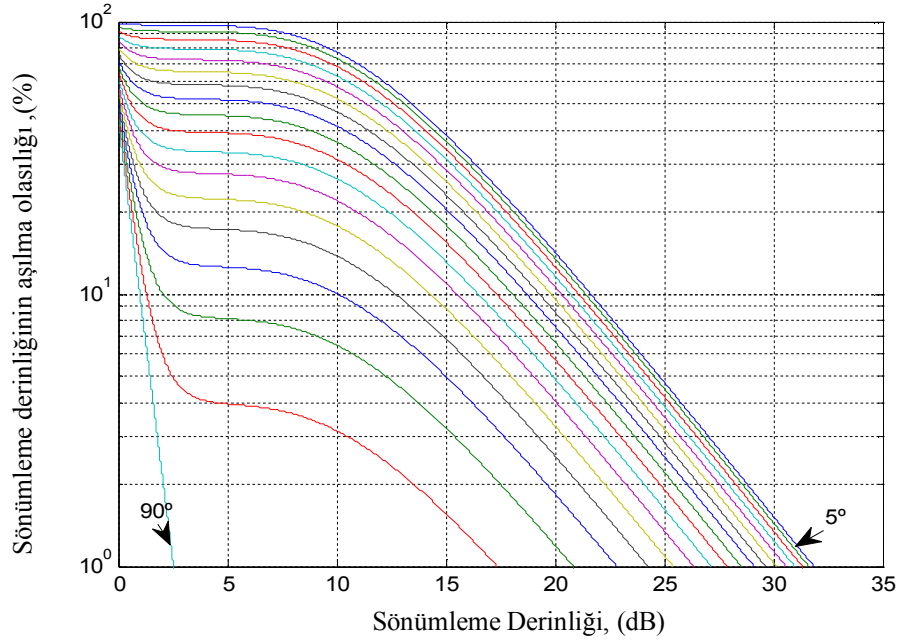
Şekil 2.22. Yoğun kent (DU)-yükselme açısına bağlı sönümlene derinliği (K1=10 dB, K2=15 dB)



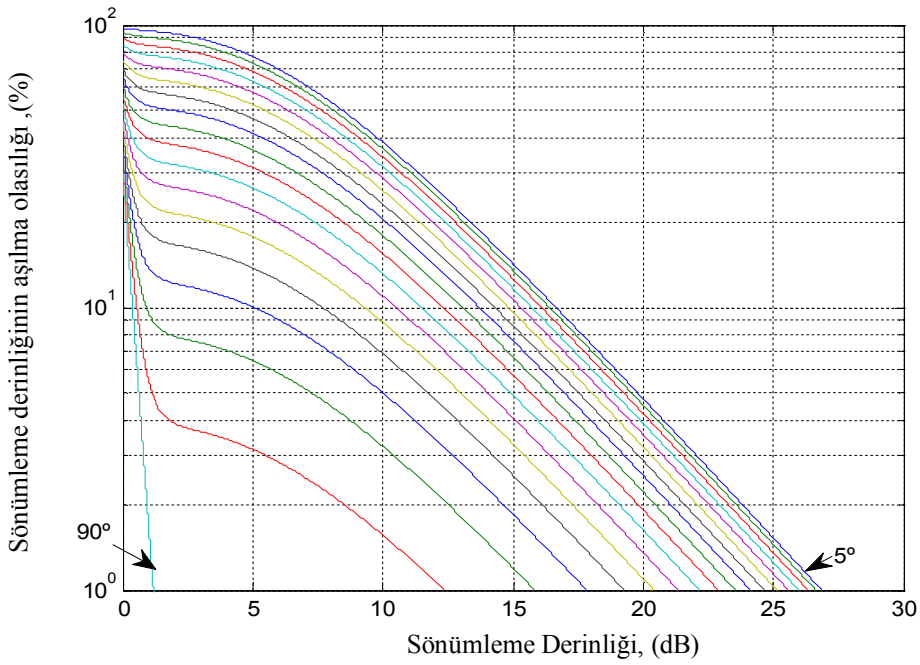
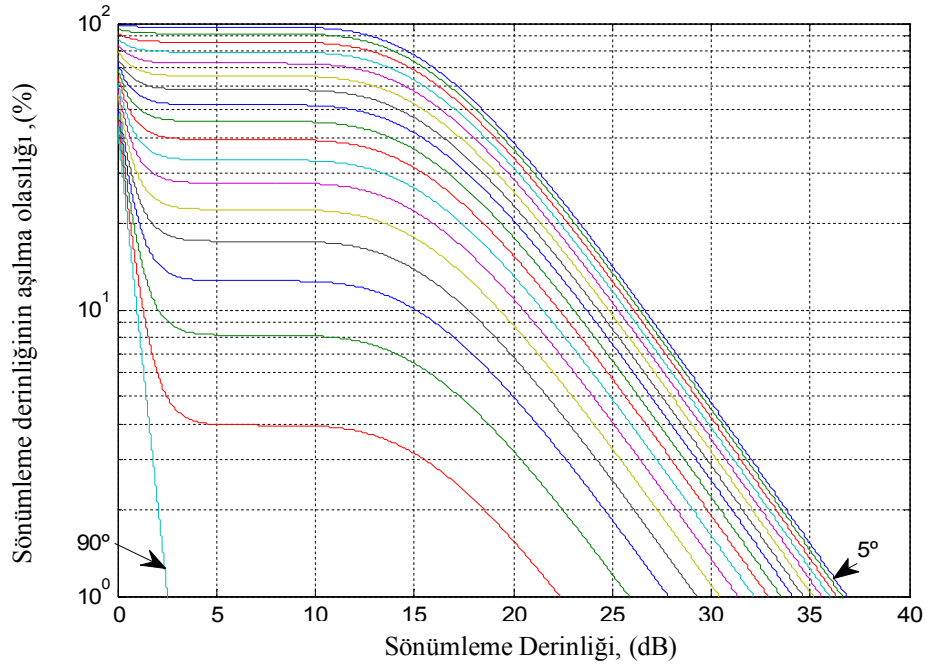
Şekil 2.23. Yoğun kent (DU)-yükselme açısına bağlı sönümlene derinliği (K1=10 dB, K2=20 dB)

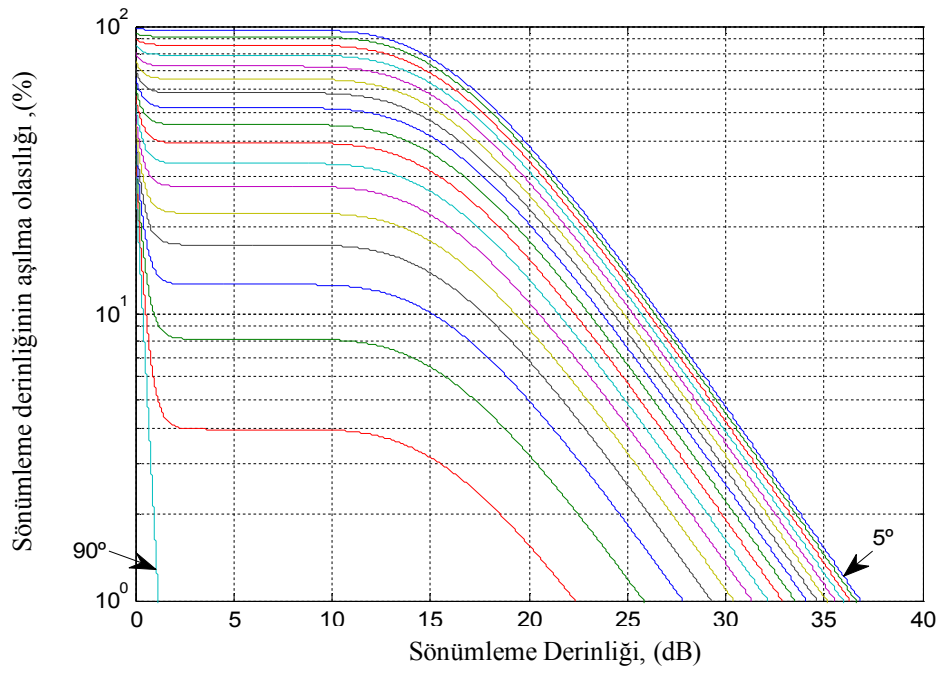
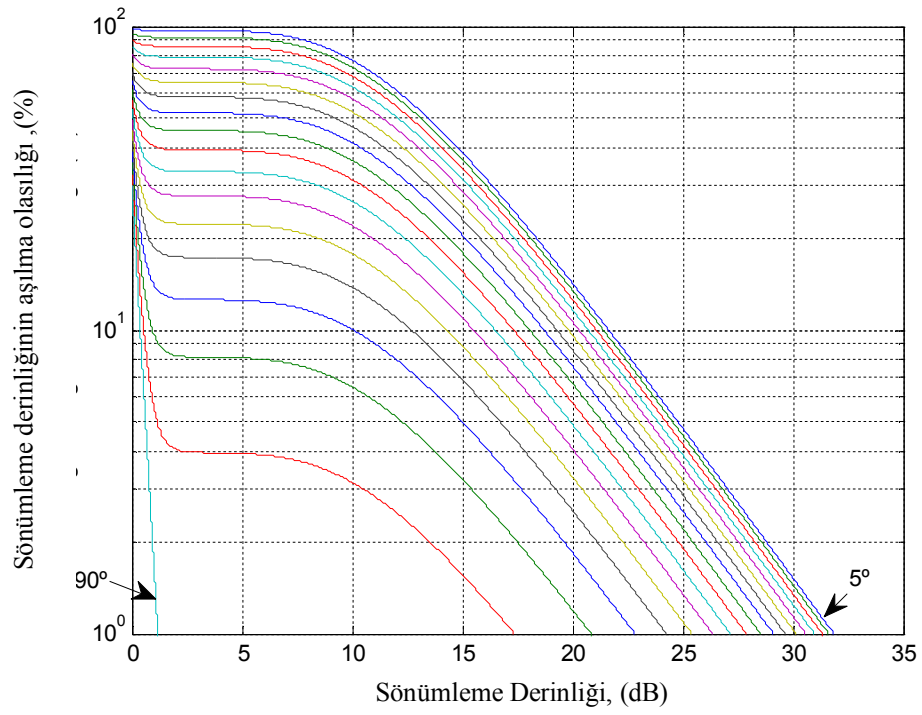


Şekil 2.24. Yoğun kent (DU)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=15 dB, K2=10 dB)

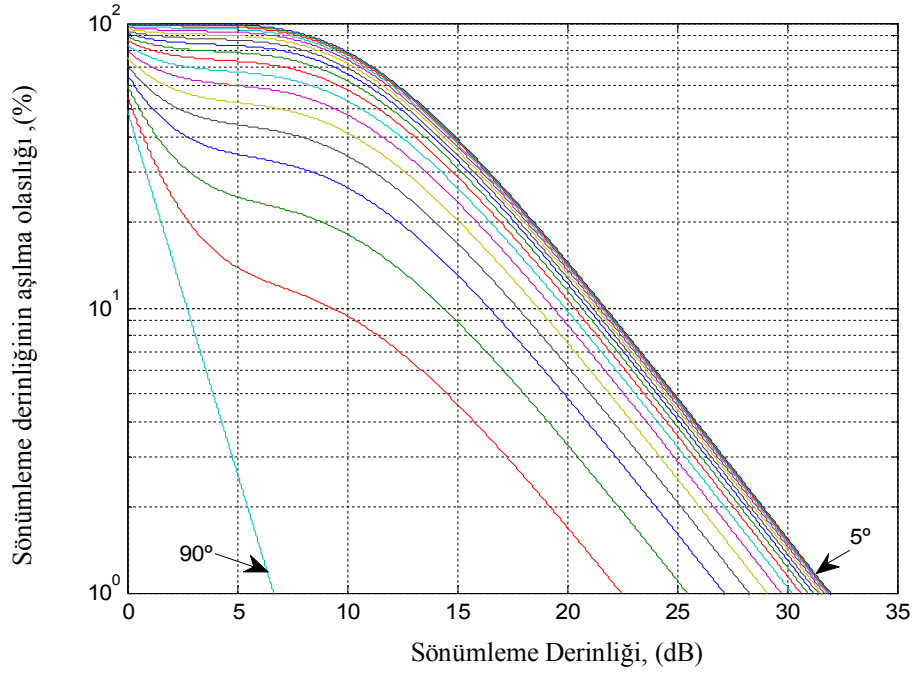
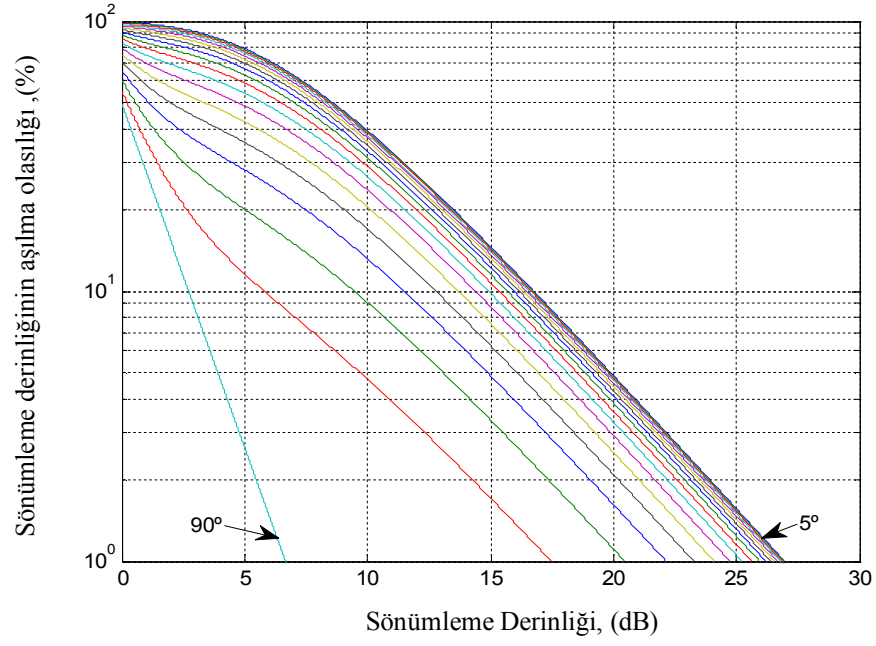


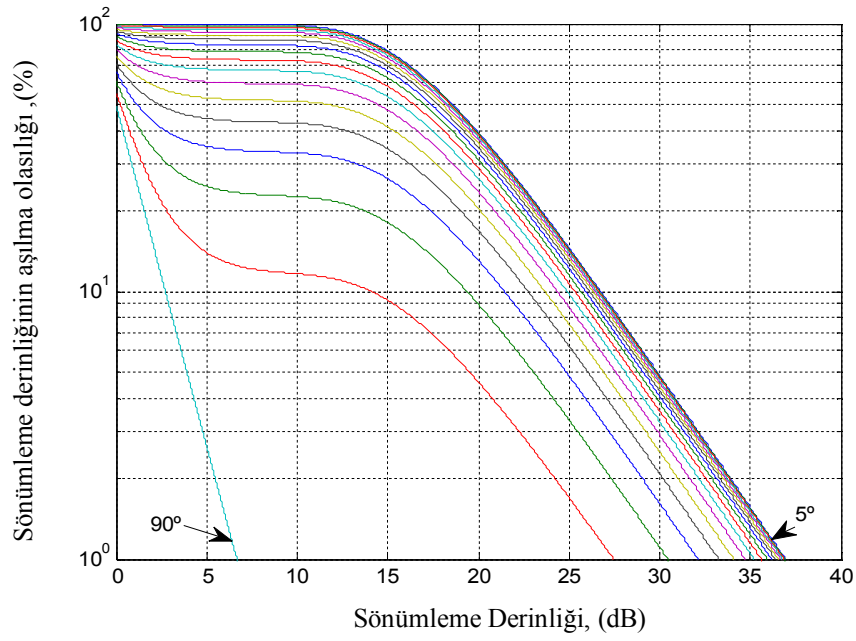
Şekil 2.25. Yoğun kent (DU)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=15 dB, K2=15 dB)



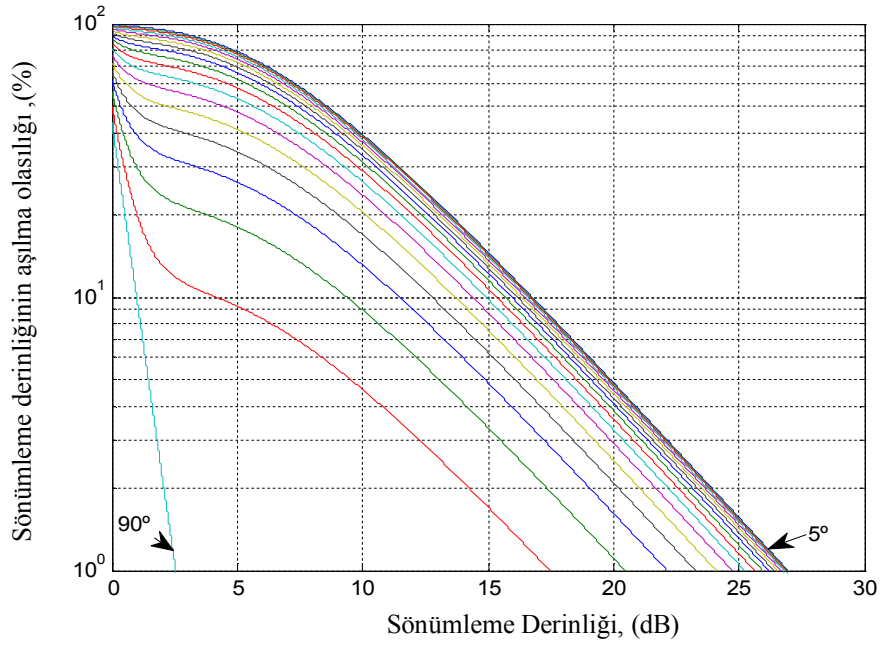


2.3.4. Yüksek Yapılı (Metropol) Kent Sönümleme Derinliği Dağılımı

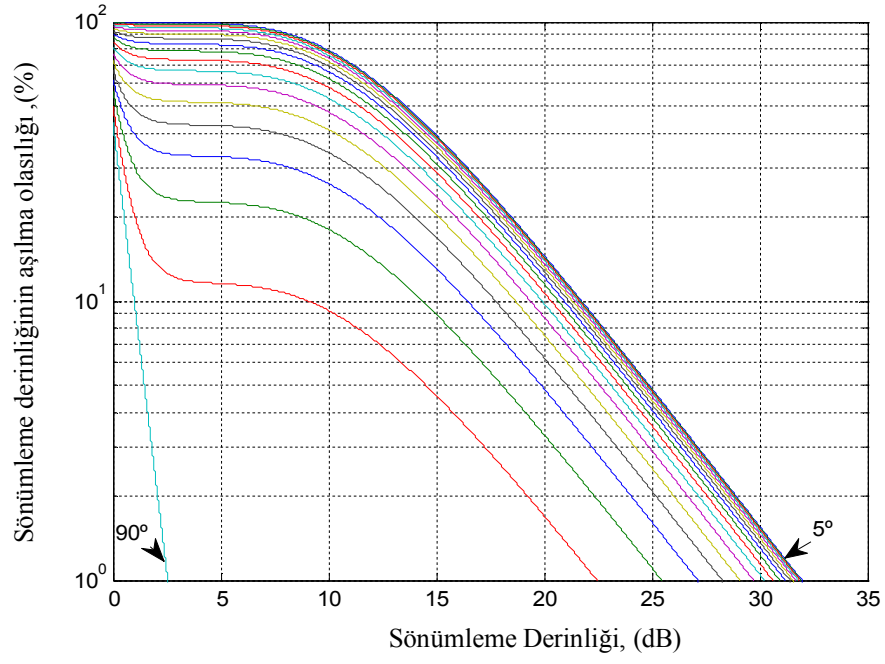




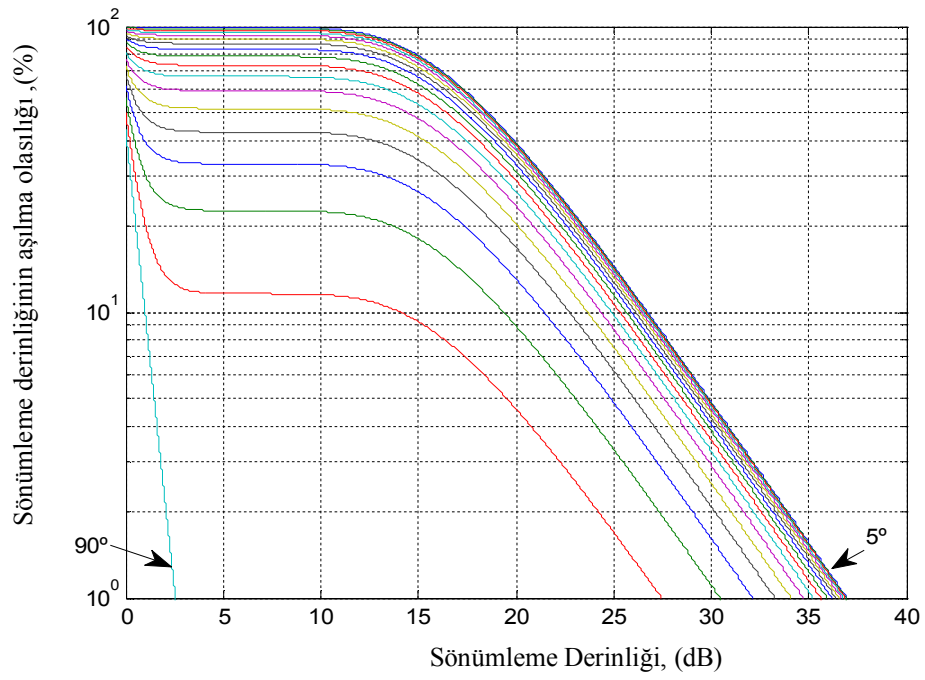
Şekil 2.32. Yüksek yapılı kent (UHR)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=10 dB, K2=20 dB)



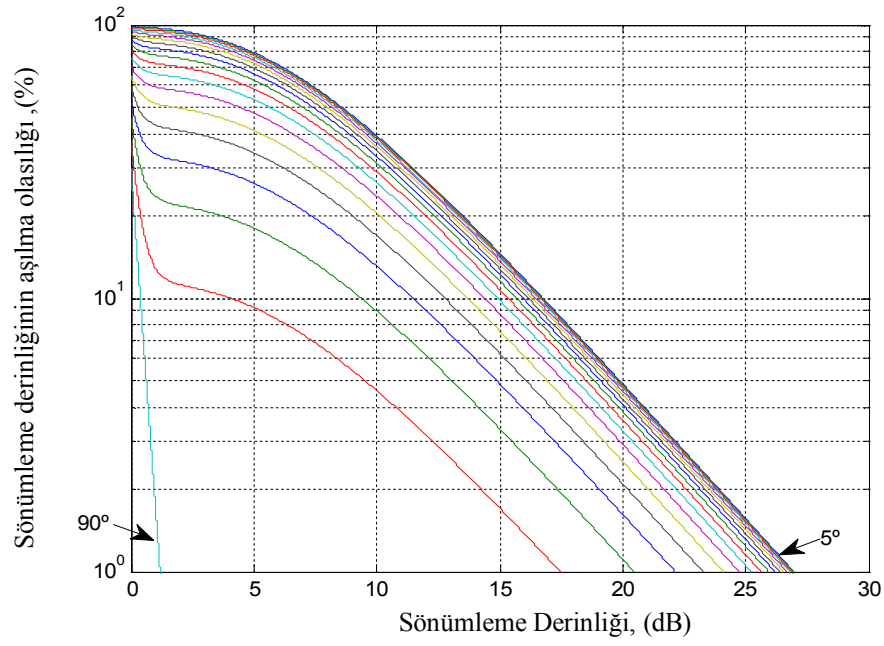
Şekil 2.33. Yüksek yapılı kent (UHR)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği (K1=15 dB, K2=10 dB)



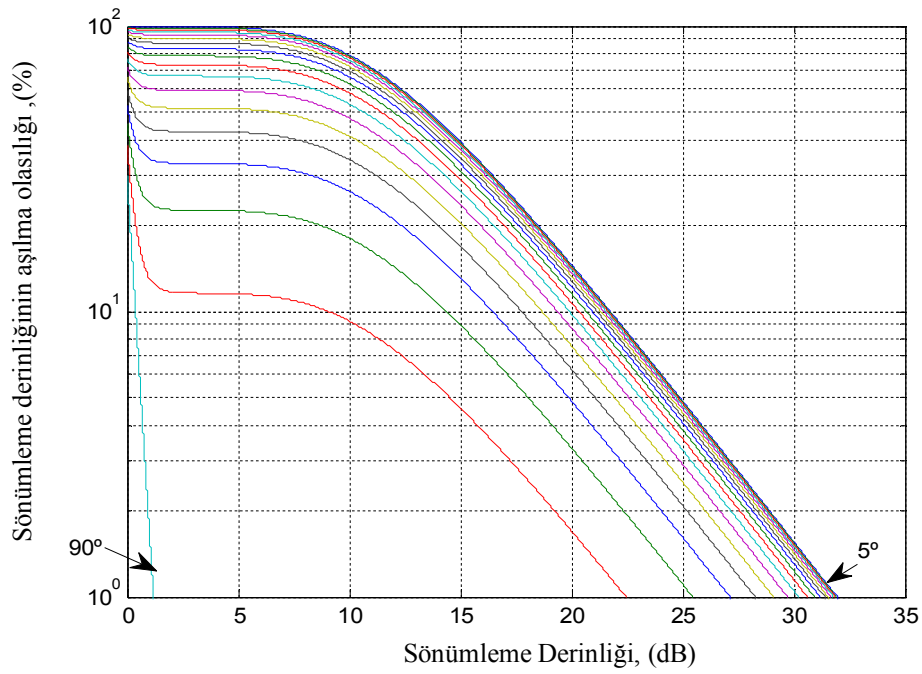
Şekil 2.34. Yüksek yapılı kent (UHR)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği ($K_1=15$ dB, $K_2=15$ dB)



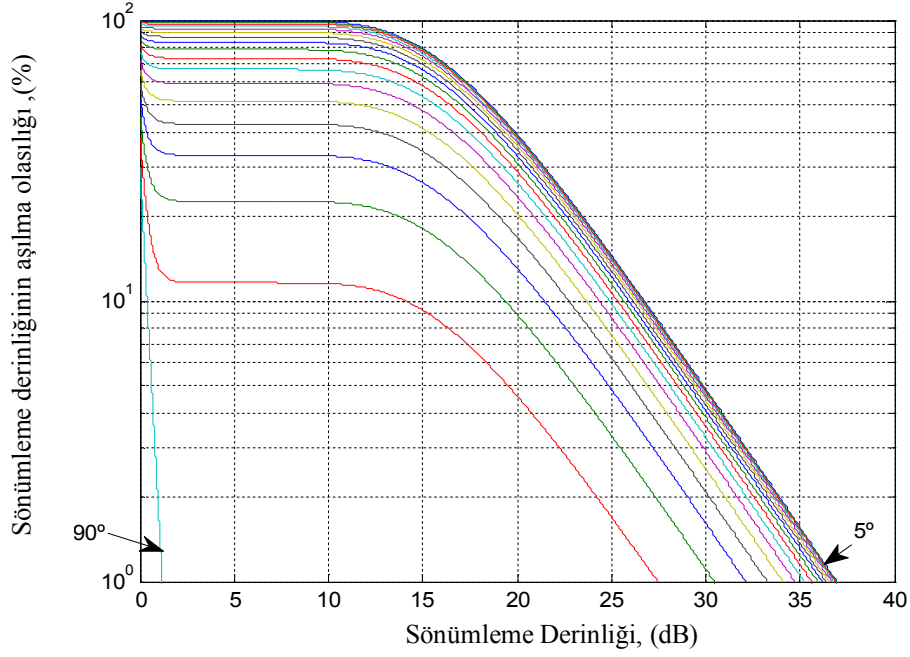
Şekil 2.35. Yüksek yapılı kent (UHR)-yükselme açısına bağlı sönümleme derinliği ($K_1=15$ dB, $K_2=20$ dB)



Şekil 2.36. Yüksek yapılı kent (UHR)-yükselme açısına bağlı sönümlenme derinliği (K1=20 dB, K2=10 dB)



Şekil 2.37. Yüksek yapılı kent (UHR)-yükselme açısına bağlı sönümlenme derinliği (K1=20 dB, K2=15 dB)



Şekil 2.38. Yüksek yapılı kent (UHR)-yükselme açısına bağlı sönümlenme derinliği (K1=20 dB, K2=20 dB)

Bütün bu grafiklerden anlaşılacağı üzere yükselme açısının azalmasıyla sönümlenme derinliği belirgin bir şekilde artmaktadır.

2.4. Model Parametreleri Arasındaki İlişki Katsayılarının Belirlenmesi

Tüm bu değişimlerde hangi parametrelerin daha etkili olduğunu anlamak ya da ne kadar etkili olduğunu saptamak için model parametreleri arasındaki ilişki katsayıları (δ) Tablo 2.3, Tablo 2.4 ve Tablo 2.5' deki gibi hesaplanmıştır [30]. Burada başarımlı diye adlandırılan ise belirli bir sönümlenme derinliğini aşmama olasılığı (%) dır. Yani başarımlı hedefi %99 ise, kurulan modelde %1' lik olasılıkla o sönümlenme derinliğini aşma durumu ortaya çıkacaktır. Bu da alıcı tasarımında önemli bir parametredir.

Tablo 2.3. %99 başarımlık için ilişki katsayıları

Servis Alanı	F- Θ	F-K1	F-K2
(SU)	$\delta_{F-\Theta} = -0.963$	$\delta_{F-K1} = -0.569$	$\delta_{F-K2} = 0.999$
(U)	$\delta_{F-\Theta} = -0.956$	$\delta_{F-K1} = -0.539$	$\delta_{F-K2} = 0.999$
(DU)	$\delta_{F-\Theta} = -0.830$	$\delta_{F-K1} = -0.502$	$\delta_{F-K2} = 1$
(UHR)	$\delta_{F-\Theta} = -0.715$	$\delta_{F-K1} = -0.487$	$\delta_{F-K2} = 1$

Tablo 2.4. %95 başarımlık için ilişki katsayıları

Servis Alanı	F- Θ	F-K1	F-K2
(SU)	$\delta_{F-\Theta} = -0.826$	$\delta_{F-K1} = -0.621$	$\delta_{F-K2} = 0.982$
(U)	$\delta_{F-\Theta} = -0.965$	$\delta_{F-K1} = -0.681$	$\delta_{F-K2} = 0.916$
(DU)	$\delta_{F-\Theta} = -0.872$	$\delta_{F-K1} = -0.570$	$\delta_{F-K2} = 0.978$
(UHR)	$\delta_{F-\Theta} = -0.734$	$\delta_{F-K1} = -0.522$	$\delta_{F-K2} = 0.999$

Tablo 2.5. %90 başarımlık için ilişki katsayıları

Servis Alanı	F- Θ	F-K1	F-K2
(SU)	$\delta_{F-\Theta} = -0.694$	$\delta_{F-K1} = -0.985$	$\delta_{F-K2} = 0.687$
(U)	$\delta_{F-\Theta} = -0.974$	$\delta_{F-K1} = -0.772$	$\delta_{F-K2} = 0.884$
(DU)	$\delta_{F-\Theta} = -0.889$	$\delta_{F-K1} = -0.627$	$\delta_{F-K2} = 0.948$
(UHR)	$\delta_{F-\Theta} = -0.752$	$\delta_{F-K1} = -0.554$	$\delta_{F-K2} = 0.991$

İlişki katsayısı $-1 \leq \delta_{x-y} \leq 1$ aralığında tanımlanır. Anlamı; eğer 1' e yakınsa x-y arasında güçlü pozitif bir ilişkiden bahsedilir, -1' e yakınsa yine güçlü ancak negatif bir ilişkiden bahsedilir. $|\delta_{x-y}| \leq 0.5$ ise x ve y arasında dikkate alınabilir bir ilişki yok demektir. Tablolardan da görüleceği üzere sönümlenme derinliği ile yükselme açısı arasında güçlü ve negatif bir ilişki ($\delta_{F-\Theta}$) mevcuttur. Rice yayılım katsayısı ile ise yine negatif

ancak çok da güçlü olmayan bir ilişki (δ_{F-K1}) mevcuttur. Rayleigh yayılım katsayısı ile olan ilişki ise pozitif güçlü bir ilişki (δ_{F-K2}) dir. Sonuç olarak, yükselme açısının ve Rayleigh yayılım katsayısının, sönümlleme derinliğini en çok etkileyen parametreler olduğu söylenebilir [30]. Ancak sönümlleme derinliği bu üç parametrenin üçüne de bağlı olarak bir değişim göstermektedir. Yani Θ , K1 ve K2 bağımsız değişkenler, F ise bağımlı değişkendir. Çoklu regresyon analizine ihtiyaç duyulmasının nedeni sönümlleme derinliğinin (F), bu bağımsız değişkenlerin hepsinin birlikte etkisine bağlı değişmesidir.

2.5. Çoklu Lineer Regresyon Analizi ile Sönümlleme Derinliği Dağılımlarının Elde Edilmesi

Regresyon analizi bağımsız değişkenlerle bağımlı değişkenin tahmini için kullanılan istatistiksel bir tekniktir. Önemli olan tahmin edilen değerin hatasının düşük olmasıdır. İkili regresyon analizi bir bağımlı değişkenin bir bağımsız değişken ile olan ilişkisi incelerken, çoklu regresyon analizi birden fazla bağımsız değişkenin bir bağımlı değişkenle olan ilişkisini inceler. Tüm bunları yaparken gerçek değere en yakın analiz en doğru olandır.

Öncelikle sönümlleme derinliği ile Θ , K1 ve K2 nin ikili ilişki katsayıları hesaplanmış ve en etkili parametrelerin neler olduğu yorumlanmıştı. Ancak sönümlleme derinliği diğer üç parametreye bağlı olarak bir değişim göstermektedir. Yani Θ , K1 ve K2 bağımsız değişkenler, F ise bağımlı değişkendir. Çoklu regresyon analizine ihtiyaç duyulmasının nedeni sönümlleme derinliğinin (F), bu bağımsız değişkenlerin hepsinin birlikte etkisine bağlı değişmesidir. Burada en önemli şeylerden biri de bağımsız değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkilerinin güçlü olmaması gereğidir.

Θ (5° - 90°), K1 (10-20 dB) ve K2 (10-20 dB) bağımsız değişkenlerinin her durumu için karşılık gelen sönümlleme derinliği değerleri (F), SPSS paket programında çoklu regresyon analizi ile incelenmiştir. Tahmini değerler ile gerçek değerler arasındaki hata hesaplanıp, anlamlı yükselme açıları için en uygun denklemler Tablo 2.7. , Tablo 2.8. ve Tablo 2.9.' daki gibi elde edilmiştir. Çoklu regresyon analizinde eldeki veri kümesi için elde edilen örnek program çıktısı Tablo 2.6' daki gibi olacaktır.

Tablo 2.6. SPSS ile çoklu regresyon analizinde örnek program çıktısı

Variables Entered/Removed^b

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	K2, K1, @ ^a		. Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: F

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,999 ^a	,998	,998	,19197

a. Predictors: (Constant), K2, K1, @

Tablo 2.6.'nın devamı

ANOVA ^b					
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	172181,096	3	57393,699	1557445,552	,000 ^a
Residual	294,146	7982	,037		
Total	172475,242	7985			

a. Predictors: (Constant), K2, K1, @

b. Dependent Variable: F

Coefficients ^a					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	17,313	,015		1141,197	,000
@	-,178	,000	-,732	-1582,857	,000
K1	-5,788E-5	,001	,000	-,085	,932
K2	1,000	,001	,680	1472,040	,000

a. Dependent Variable: F

Tablo 2.6' daki Coefficients^a bölümündeki Unstandardized Coefficients-B denklem katsayılarını belirlemektedir. Model Summary bölümündeki hesaplanan R değeri, kriter olan bağımlı değişkenin gerçek değeriyle, tahmin edilen (SPSS ile hesaplanan) değeri arasındaki ilişkinin ölçüsüdür. Adjusted R Square değeri ise modelin başarısının bir ölçüsüdür. Dolayısıyla en önemli ve kullanışlı veridir. Örneğin bu değer 0.998 olması , kriter olan bağımlı değişkenin değişiminin elde edilen modelde %99.8 oranında hesaplanabilmiş olmasıdır. Bu değer ne kadar büyükse o kadar iyidir.

Çalışmanın bu aşamasında bu analizi, yükselme açısının farklı aralıklarında gruplandırmalar yaparak inceleme yapılmasının daha iyi olacağı sonucuna varılmıştır. Yapılacak işlem, lineer çoklu regresyon analizi olup değişimler tamamıyla lineer olmamasından dolayı, en anlamlı aç kesitleri için tahmini sönümleme derinliği değerlerini verecek denklemler Tablo 2.7. , Tablo 2.8. ve Tablo 2.9.' daki gibi hesaplanmış ve (2.7) denklemi elde edilmiştir [30].

$$F = |a - b \cdot \theta - c \cdot K1 + d \cdot K2| \quad (2.7)$$

F : Sönümleme derinliği (dB)

θ : Yükselme Açısı (5-90 Derece)

$K1$: Rice Yayılım Katsayısı (10-20 dB)

$K2$: Rayleigh Yayılım Katsayısı (10-20 dB)

Tablo 2.7. Lineer çoklu regresyon analizi ile elde edilen denklem katsayıları
(%99Başarım)

Servis Alanı	Başarım (%99)				
Yarı-Kent (SU)	Yükselme Açısı(θ)	a	b	c	d
	$5^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$	12.475	0.304	0.004	0.997
	$51^\circ \leq \theta \leq 61^\circ$	28.096	0.525	0.129	0.887
	$62^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$	15.792	0.053	0.567	0.019
Kent (U)	Yükselme Açısı(θ)	a	b	c	d
	$5^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$	17.313	0.178	5.788E-05	1
	$71^\circ \leq \theta \leq 85^\circ$	46.808	0.588	0.016	0.988
	$86^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$	51.423	0.449	0.581	0.033
Yoğun-Kent (DU)	Yükselme Açısı(θ)	a	b	c	d
	$5^\circ \leq \theta \leq 80^\circ$	18.732	0.132	1.24E-05	1
	$81^\circ \leq \theta \leq 88^\circ$	96.917	1.119	0.007	0.995
	$89^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$	106.002	1.053	0.567	0.019
Yüksek-Yapılı-Kent (UHR)	Yükselme Açısı(θ)	a	b	c	d
	$5^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$	17.772	0.05	1.92E-07	1
	$71^\circ \leq \theta \leq 88^\circ$	56.462	0.589	0	1
	$89^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$	1040.697	11.57	0.254	0.497

Tablo 2.8. Lineer çoklu regresyon analizi ile elde edilen denklem katsayıları
(%95Başarım)

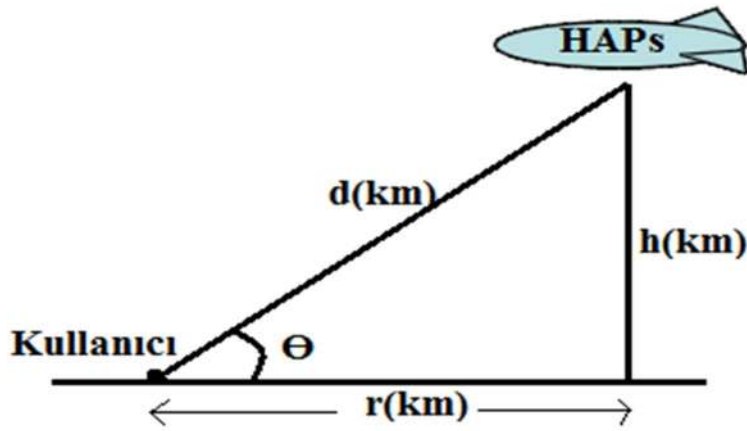
Servis Alanı	Başarım (%95)				
Yarı-Kent (SU)	Yükselme Açısı(Θ)	a	b	c	d
	$5^{\circ} \leq \Theta \leq 27^{\circ}$	8.028	0.53	0.017	0.984
	$28^{\circ} \leq \Theta \leq 55^{\circ}$	10.73	0.061	0.4	0.02
	$56^{\circ} \leq \Theta \leq 90^{\circ}$	6.943	0.006	0.31	0.001
Kent (U)	Yükselme Açısı(Θ)	a	b	c	d
	$5^{\circ} \leq \Theta \leq 65^{\circ}$	10.486	0.196	0.001	0.999
	$66^{\circ} \leq \Theta \leq 72^{\circ}$	35.716	0.581	0.036	0.969
	$73^{\circ} \leq \Theta \leq 90^{\circ}$	15.455	0.094	0.379	0.012
Yoğun-Kent (DU)	Yükselme Açısı(Θ)	a	b	c	d
	$5^{\circ} \leq \Theta \leq 70^{\circ}$	11.193	0.118	4.84E-05	1
	$71^{\circ} \leq \Theta \leq 83^{\circ}$	43.995	0.586	0.012	0.99
	$84^{\circ} \leq \Theta \leq 90^{\circ}$	35.259	0.313	0.393	0.02
Yüksek-Yapılı-Kent (UHR)	Yükselme Açısı(Θ)	a	b	c	d
	$5^{\circ} \leq \Theta \leq 75^{\circ}$	11.314	0.072	1.21E-05	1
	$76^{\circ} \leq \Theta \leq 87^{\circ}$	58.361	0.696	0.002	0.998
	$88^{\circ} \leq \Theta \leq 90^{\circ}$	95.277	0.978	0.406	0.03

Tablo 2.9. Lineer çoklu regresyon analizi ile elde edilen denklem katsayıları
(%90Başarım)

Servis Alanı	Başarım (%90)				
Yarı-Kent (SU)	Yükselme Açısı(Θ)	a	b	c	d
	$5^{\circ} \leq \Theta \leq 16^{\circ}$	6.165	0.774	0.013	0.988
	$17^{\circ} \leq \Theta \leq 21^{\circ}$	13.458	0.267	0.409	0.029
	$22^{\circ} \leq \Theta \leq 90^{\circ}$	5.355	0.008	0.236	0.001
Kent (U)	Yükselme Açısı(Θ)	a	b	c	d
	$5^{\circ} \leq \Theta \leq 55^{\circ}$	7.506	0.213	0.002	0.998
	$56^{\circ} \leq \Theta \leq 59^{\circ}$	44.588	0.852	0.083	0.914
	$60^{\circ} \leq \Theta \leq 90^{\circ}$	10.34	0.058	0.294	0.01
Yoğun-Kent (DU)	Yükselme Açısı(Θ)	a	b	c	d
	$5^{\circ} \leq \Theta \leq 60^{\circ}$	7.771	0.109	6.39E-05	1
	$61^{\circ} \leq \Theta \leq 77^{\circ}$	26.267	0.411	0.01	0.991
	$78^{\circ} \leq \Theta \leq 90^{\circ}$	17.45	0.135	0.293	0.008
Yüksek-Yapılı-Kent (UHR)	Yükselme Açısı(Θ)	a	b	c	d
	$5^{\circ} \leq \Theta \leq 65^{\circ}$	7.436	0.046	6.15E-06	1
	$66^{\circ} \leq \Theta \leq 85^{\circ}$	32.361	0.42	0.003	0.997
	$86^{\circ} \leq \Theta \leq 90^{\circ}$	31.595	0.294	0.269	0.003

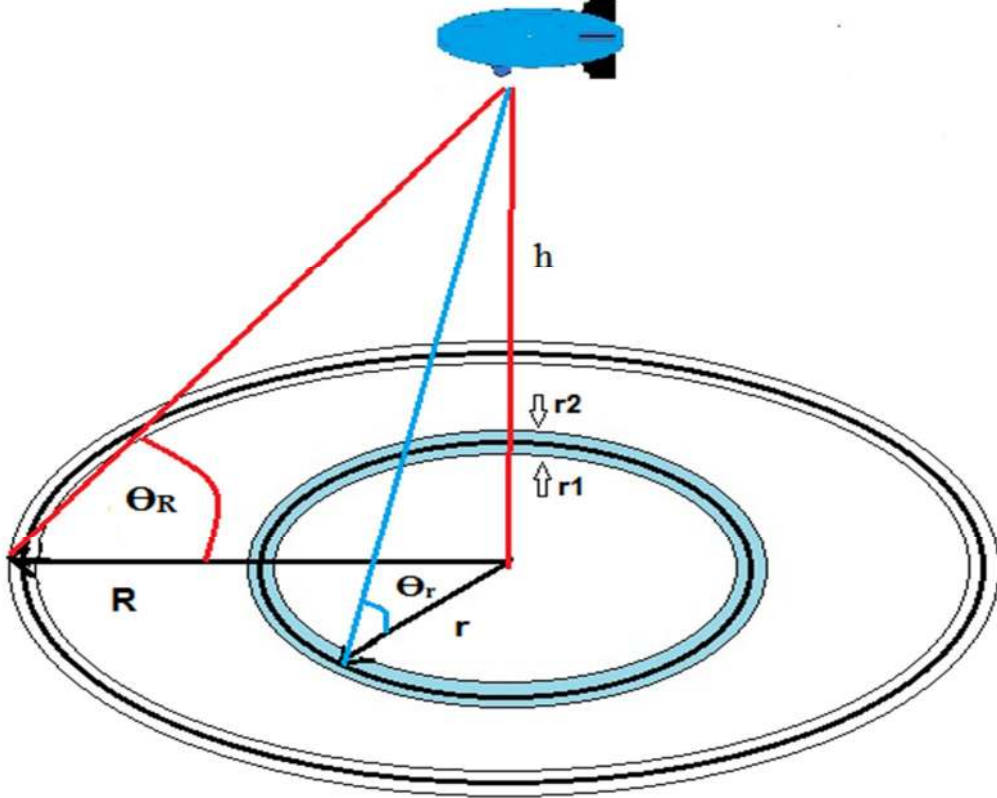
2.6. Yükselme Açısının Toplam Kapsama Alanındaki Dağılımı

Yükselme açısı yeryüzündeki kullanıcı anteninin belli bir uyduya doğru düşey doğrultuda bakış açısıdır. HAPs sisteminde kapsama, yükselme açılarına bağlı ortaya çıkan yarıçapların, yani izdüşüm uzaklıklarının oluşturduğu dairesel alanlardır. Toplam kapsama alanını belirleyen ise yükselme açısının alabileceği en küçük değerdir. Her bir açı farklı bir yarıçapa karşılık düştüğünden, her açının varlığı toplam kapsama alanında farklılık gösterecektir.



Şekil 2.39. HAPs sistemi kapsama geometrisi (yeryüzü düz kabul edildiğinde)

Şekil 2.39' da HAPs sitemi için kapsama geometrisi görülmektedir. Yükselme açısı Θ , $0^\circ - 90^\circ$ arasında değişmektedir. Platformun yerden yüksekliği $h=22 \text{ km}$ alınmıştır. Herbir açının toplam alandaki varlığını, o açığa karşılık hesaplanan kapsama dairesinin yarıçapına bağlı bir daire diliminin alanıyla ifade edilebilir. Şekil 2.40' da görüldüğü üzere, herhangi bir Θ_r , yükselme açısına karşılık düşen daire dilimi, $\Theta_r + 0.05^\circ$ ve $\Theta_r - 0.05^\circ$ açılarının oluşturduğu daire dilimi tanımlanmıştır. 0.05° lik marjınle elde edilen daire diliminin alanının, toplam kapsama alanına oranı bize belirlenen açının toplam alandaki yoğunluğunu verecektir. Burada her açığa karşılık gelen yarıçaplar geometrik yaklaşımla bulunmuştur.



Şekil 2.40. HAPs sisteminde toplam kapsama alanı

h : Platformun yerden yüksekliği (22 km alınmıştır.)

R : $\Theta_R \approx 0^\circ$ yükselme açısına karşılık gelen maksimum kapsama dairesi yarıçapı (km).

r : Herhangi bir Θ_r yükselme açısına karşılık gelen kapsama dairesi yarıçapı (km).

r_1 : $\Theta_{r1} = \Theta_r + 0.05^\circ$ açısına karşılık gelen kapsama dairesi yarıçapı (km).

r_2 : $\Theta_{r2} = \Theta_r - 0.05^\circ$ açısına karşılık gelen kapsama dairesi yarıçapı (km).

$$r = h / \tan \Theta_r \quad (2.8)$$

$$r_1 = h / \tan \Theta_{r1} \quad (2.9)$$

$$r_2 = h / \tan \Theta_{r2} \quad (2.10)$$

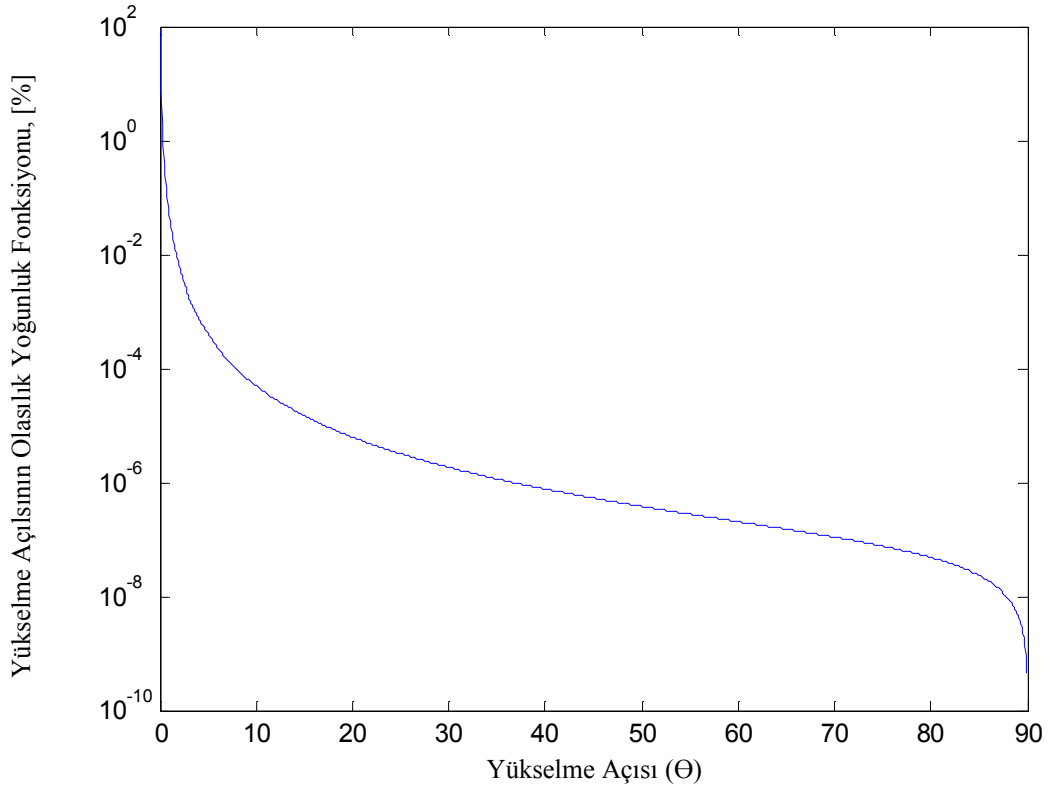
$$P(\Theta_r) = (r_2^2 - r_1^2) / (R^2) \quad (2.11)$$

(2.8) denkleminde Θ_r yükselme açısının oluşma olasılığı bulunacaktır. Bu durum yükselme açıları cinsinden ifade edilecek olursa;

$$P(\Theta_r) = P\{\Theta_{r1} \leq \Theta_r \leq \Theta_{r2}\} = F(\Theta_{r2}) - F(\Theta_{r1}) \quad (2.12)$$

$$F(\theta) = 1 - \frac{h^2}{(R \tan \theta)^2} \quad (2.13)$$

(2.13)' deki gibi elde edilen dağılım fonksiyonu yardımıyla, herhangi bir yükselme açısının olasılık yoğunluğu ve toplam kapsama alanındaki yükselme açılarının (0° - 90°) dağılım fonksiyonu bulunmuştur. Küçük açıların, toplam kapsama alanında kapladıkları daire dilimleri daha büyük olduğundan, mevcut alanda oluşma olasılıkları çok daha büyük olmaktadır. İnceleme öncelikle 0° - 90° arasında tüm yükselme açıları için yapılmıştır.



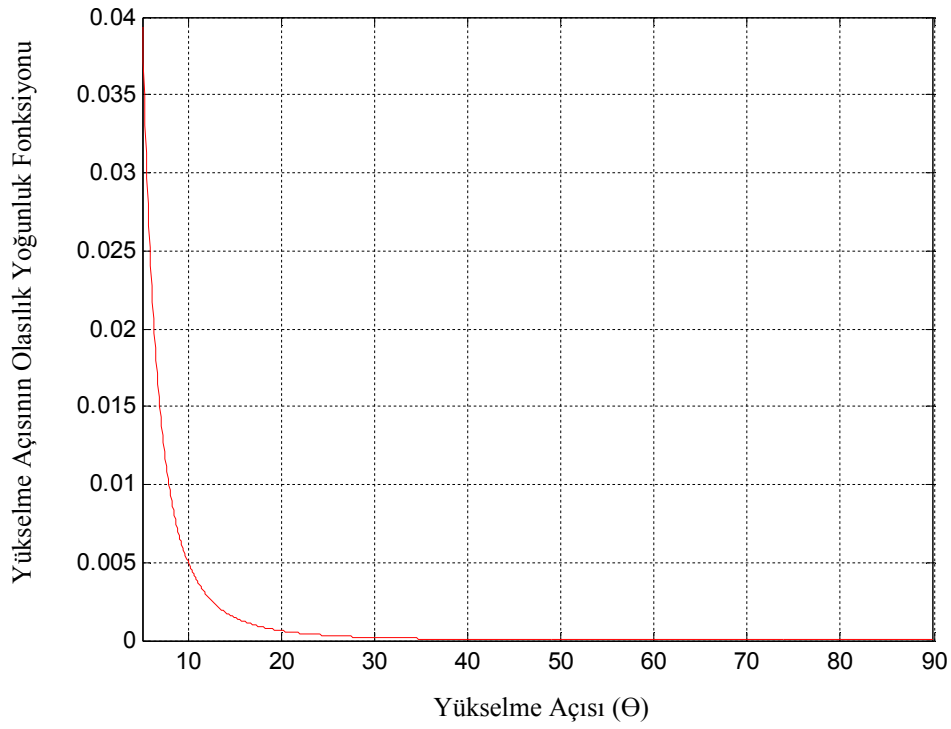
Şekil 2.41. HAPs sisteminde toplam kapsama alanı için yükselme açısının olasılık yoğunluk fonksiyonu

Radyo ufku nedeniyle, 22 km yükseklikte bir platform için, minimum yükselme açısı 5° alınmıştır [5]. Dolayısıyla örnek uzayı 0° - 90° değil, 5° - 90° almak daha doğru olacaktır. Bunun için ise yeni olasılık yoğunluk hesabı denklem (2.16)' daki gibi yapılmıştır.

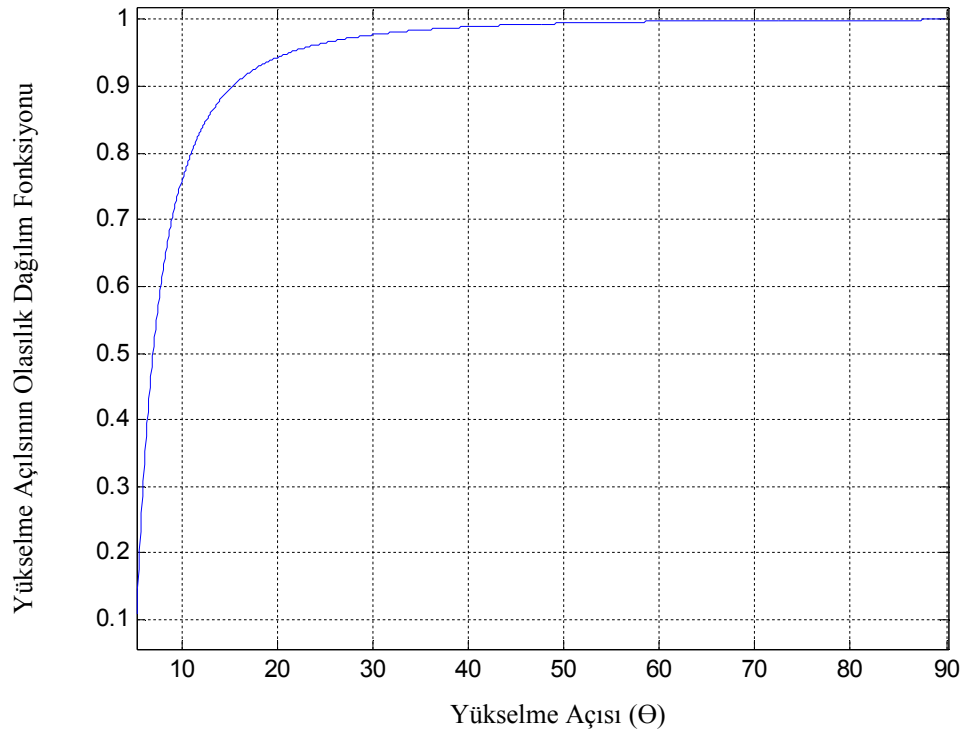
$$\theta_i = 0^\circ \dots 90^\circ \quad (2.14)$$

$$P(\text{kapsama}) = P(\theta_i \geq 5^\circ) \quad (2.15)$$

$$P(\theta_i | \text{kapsama}) = P(\theta_i, \text{kapsama}) / P(\text{kapsama}) \quad (2.16)$$



Şekil 2.42. HAPs sisteminde toplam kapsama alanında $\Theta_i \geq 5^\circ$ için yükselme açısının olasılık yoğunluk fonksiyonu



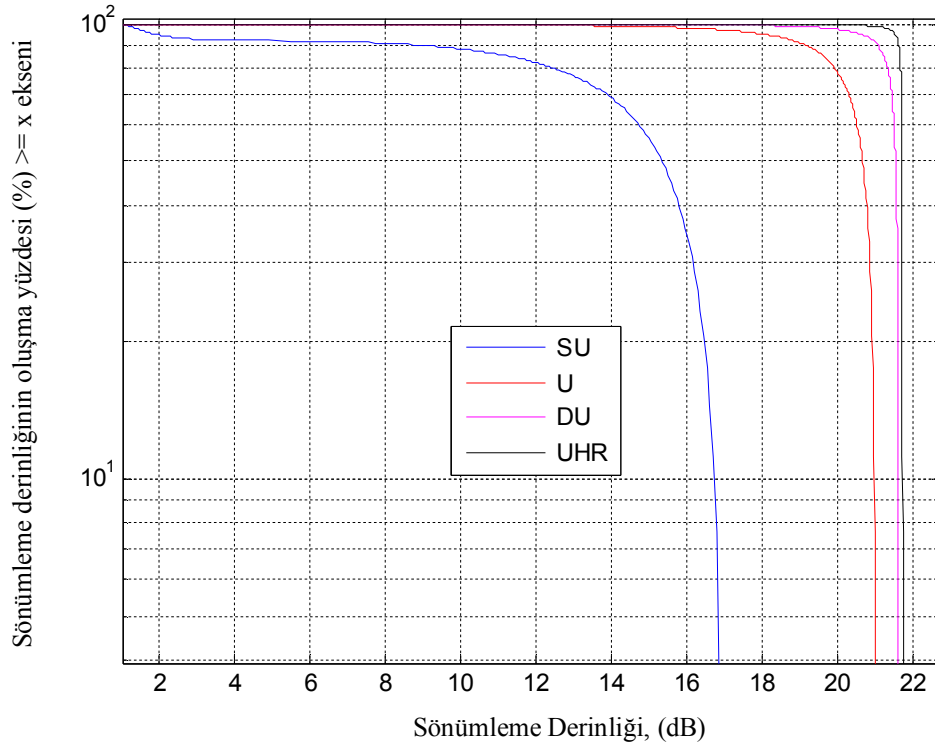
Şekil 2.43. HAPs sisteminde toplam kapsama alanında $\Theta_i \geq 5^\circ$ için yükselme açısının olasılık dağılım fonksiyonu

Şekil 2.43’ deki dağılım fonksiyonu $\Theta_i \geq 5^\circ$ durumu için denklem 2.17’ deki gibi ifade edilmiştir.

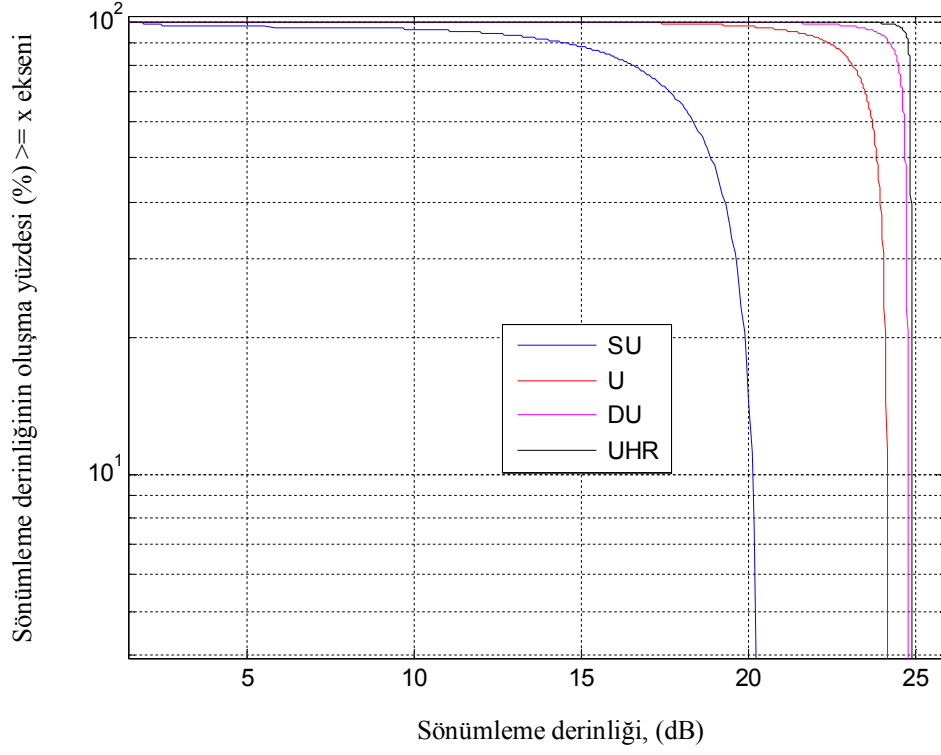
$$F(\Theta_i) = 1.004 - 23.98 \theta^{-1.995} \quad (2.17)$$

2.6.1. %99, %95 ve %90 Başarım Hedefleriyle Oluşabilecek Sönümleme Derinliklerinin Toplam Kapsama Alanındaki Olasılık Dağılımı

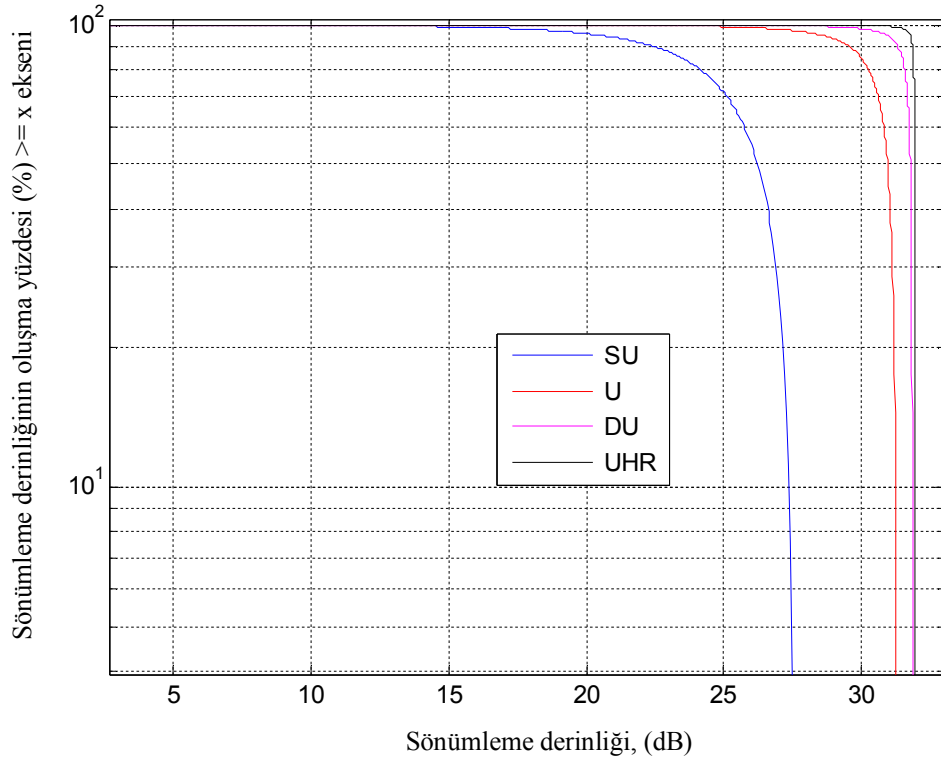
Herhangi bir kapsama alanında her bir yükselme açısının oluşma olasılıkları incelenmişti. Bu çalışmaya paralel olarak her bir yayılım ortamı ayrı ayrı incelendiğinde, %99, %95 ve %90 olarak belirlenen başarım hedefleriyle elde edilen sönümleme derinlikleri de tıpkı onu oluşturan yükselme açısında olduğu gibi bir oluşma olasılığına sahip olacaktır. Farklı başarım hedefleriyle elde edilen olasılık dağılımları Şekil 2.44, Şekil 2.45 ve Şekil 2.46’ daki gibi elde edilmiştir.



Şekil 2.44. %90 başarım hedefi ile oluşabilecek sönümleme derinliklerinin toplam kapsama alanındaki dağılımı



Şekil 2.45. %95 başarımlı hedefi ile oluşabilecek sönümlenme derinliklerinin toplam kapsama alanındaki dağılımı



Şekil 2.46. %99 başarımlı hedefi ile oluşabilecek sönümlenme derinliklerinin toplam kapsama alanındaki dağılımı

2.7. HAPs Sisteminde 2-6 GHz Frekans Bandında Toplam Yol Kaybı Modeli

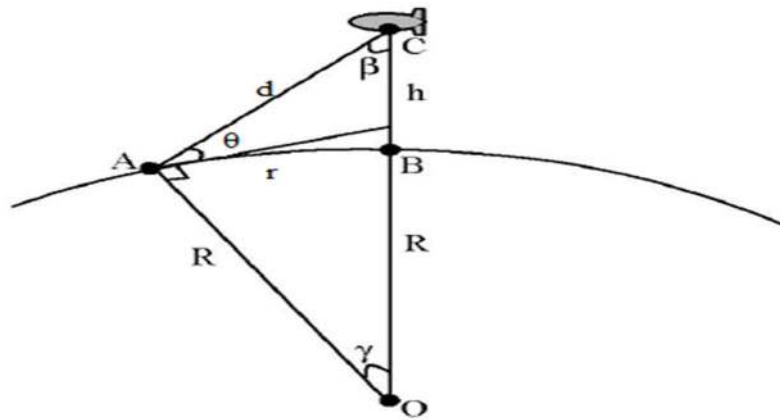
Yayılmı karakteristiklerinin belirlenmesi, bağlantı ve sistem tasarımı açısından çok önemlidir. Yükselme açısına bağı olarak dört farklı yayılım ortamı için istatistiksel hesaplamalarla elde edilen sönümlleme modeli ile serbest uzay yol kaybı birleştirilip, her bölge için farklı çalışma frekanslarında yol kaybı hesapları yapılmıştır. Çalışma frekansları 2-6 GHz bandında 2.0, 3.5 ve 5.5 GHz olarak seçilmiştir. Bu frekanslar 3G ve 4G sistemler için öngörülen frekans bantlarıdır [51].

Şekil 2.39' dan yararlanarak geometrik yaklaşımla (2.18) ve (2.19) denklemleri bulunur. Burada platformun yerden yüksekliği $h=22 \text{ km}$ alınmıştır ve yeryüzü düz kabul edilmiştir [30].

$$r = \frac{h}{\tan \theta} \quad (\text{km}) \quad (2.18)$$

$$d = h\sqrt{1 + (\cot \theta)^2} \quad (\text{km}) \quad (2.19)$$

Yeryüzü düz kabul edildiğinde platformdan olan izdüşüm uzaklığı $r(\text{km})$ küçük yükselme açıları için belirli bir hata ile hesaplanmıştır. Dolayısıyla Şekil 2.47' den yararlanarak gerçek $r(\text{km})$ ve $d(\text{km})$ uzaklıkları (2.22) ve (2.23) denklemleri ile bulunur.



Şekil 2.47. HAPs sistemi kapsama geometrisi (yer eğriliği hesaba katıldığında)

$$\frac{R+h}{\sin(90+\theta)} = \frac{R}{\sin(180-(90+\theta+\gamma))} \quad (2.20)$$

$$\gamma = \cos^{-1}\left(\frac{R}{R+h} \cos \theta\right) - \theta \quad (2.21)$$

$$r = \frac{\pi}{180} R [\cos^{-1}\left(\frac{R}{R+h} \cos \theta\right) - \theta] \quad (\text{km}) \quad (2.22)$$

$$d = \sqrt{R^2 + (R+h)^2 - 2R(R+h)\cos\gamma} \quad (\text{km}) \quad (2.23)$$

Toplam yol kaybı ise (2.26) denkleminde hesaplanır.

$$L_{FSL} = 92.4 + 20\log(d_{km}) + 20\log(f_{GHz}) \quad (\text{dB}) \quad (2.24)$$

$$L_{\theta} = F = |a - b \cdot \theta - c \cdot K1 + d \cdot K2| \quad (\text{dB}) \quad (2.25)$$

$$L = L_{FSL} + L_{\theta} \quad (\text{dB}) \quad (2.26)$$

Farklı servis alanlarında 2.0, 3.5 ve 5.5 GHz çalışma frekanslarında %99 başarımla için beklenen toplam yol kayıpları Tablo 2.10, 2.11 ve 2.12' de verilmiştir [30].

Tablo 2.10. f=2.0 GHz için beklenen toplam yol kayıpları

Servis Alanı	f= 2.0 GHz-Toplam yol kaybı (dB)				
	15°	30°	45°	60°	80°
SU	159.81	144.53	141.96	134.48	128.78
U	166.65	158.26	152.58	148.15	139.61
DU	168.76	161.06	156.07	152.33	148.57
UHR	169.03	162.56	158.80	156.29	149.74

Tablo 2.11. $f=3.5$ GHz için beklenen toplam yol kayıpları

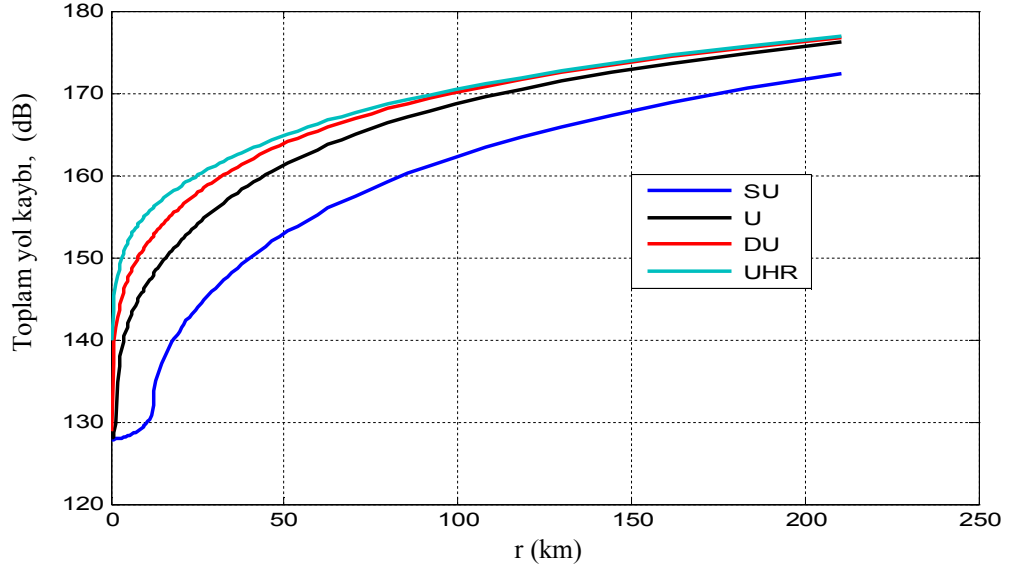
Servis Alanı	$f= 3.5$ GHz-Toplam yol kaybı (dB)				
	15°	30°	45°	60°	80°
SU	164.67	154.39	146.82	139.34	133.64
U	171.51	163.12	157.44	153.01	144.47
DU	173.62	165.92	160.93	157.19	153.43
UHR	173.89	168.42	163.66	161.15	154.60

Tablo 2.12. $f=5.5$ GHz için beklenen toplam yol kayıpları

Servis Alanı	$f= 5.5$ GHz-Toplam yol kaybı (dB)				
	15°	30°	45°	60°	80°
SU	168.60	158.32	150.75	143.27	137.56
U	175.43	167.04	161.37	156.93	148.39
DU	177.54	169.84	164.85	161.11	157.36
UHR	177.82	171.35	167.58	165.07	158.53

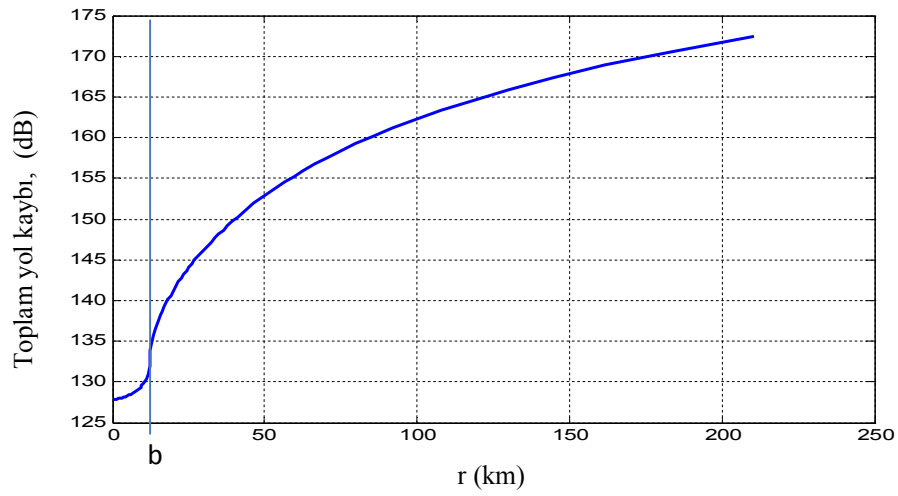
Her bir yükselme açısına göre hesaplanan toplam yol kayıpları, diğer iletişim sistemlerinde de olduğu gibi bir modelle ifade edilmiştir. Model parametreleri; platformun kullanıcıya olan izdüşüm uzaklığı r (km) [Şekil 2.47] ve 2-6 GHz arasında çalışma frekansı f (GHz) dir.

Model oluşturulurken öncelikle veriye uygun fonksiyon adım adım belirlenmiştir. Veri; dört farklı servis bölgesinde uzaklık ve frekansa bağlı hesaplanan yol kayıplarıdır. Bu verileri ifade etmekte önemli olan unsur, dört farklı bölge için ortak bir fonksiyonla temsil edilmeleridir.



Şekil 2.48. Tüm bölgeler için r (km) izdüşüm uzaklığına bağlı toplam yol kaybı

Tüm bölgeler için yol kayıpları Şekil 2.48'de gösterilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde en karmaşık yapıya sahip olan bölgenin yarı kent bölgesi olduğu rahatlıkla anlaşılmaktadır. Dolayısıyla bu veri için geliştirilecek bir model ile birlikte diğer bölgeleri ifade etmek daha kolay olacaktır. Bu nedenle yarı kent bölgesi için hesaplanan yol kaybı değişimi verisine fonksiyon uydurma işlemi yapılmıştır. Yarı kent için $r(km)$ izdüşüm uzaklığına bağlı toplam yol kaybı değişimi Şekil 2.49 'da verilmiştir.



Şekil 2.49. Yarı kent r (km) izdüşüm uzaklığına bağlı toplam yol kaybı

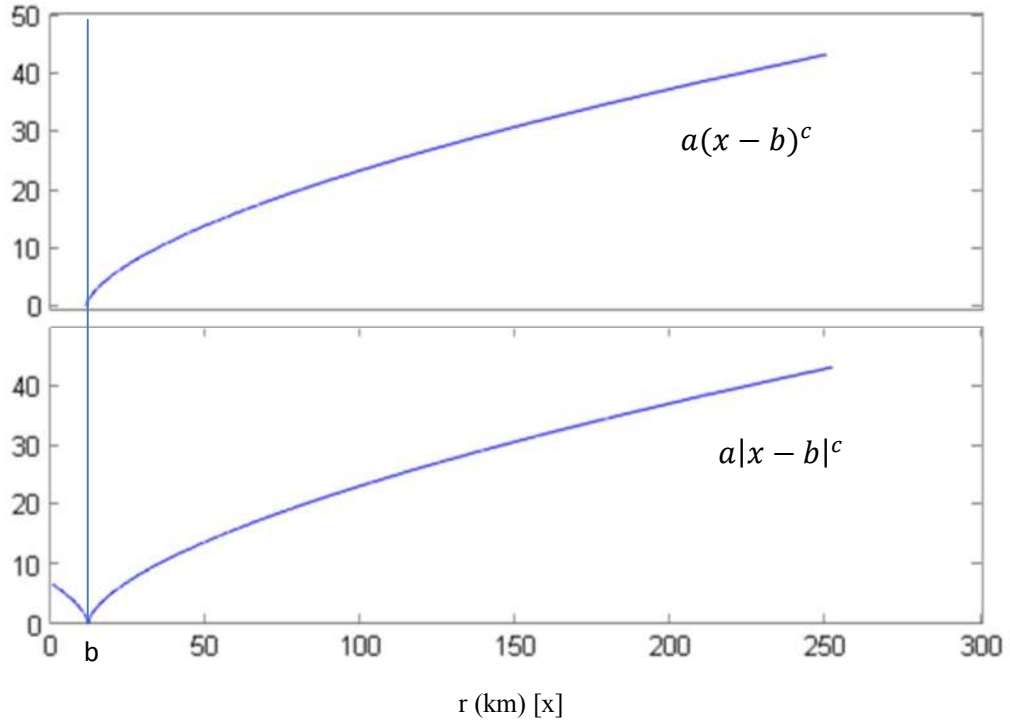
Burada verinin büyük bir bölümü (dikey çizginin sağında kalan kısım) x^c ($0 < c < 1$) gibi bir kuvvet fonksiyonu ile benzerlik göstermektedir. Fonksiyonda yer alan x , $r(\text{km})$ izdüşüm uzaklığıdır. Bu fonksiyonla veriyi temsil edebilmek için fonksiyonu b kadar bir ötelemeye tabi tutmak ve ayrıca a gibi bir katsayı ile çarpmak gerekmektedir. Böylece yeni fonksiyon

$$kuv' = a(x - b)^c \quad (2.27)$$

şeklinde olur. Bu durumda fonksiyon b sabitinden küçük x değerleri için karmaşık sayı değerleri üreteceğinden fonksiyonunun genliğini almak ve fonksiyonu

$$kuv = a|x - b|^c \quad (2.28)$$

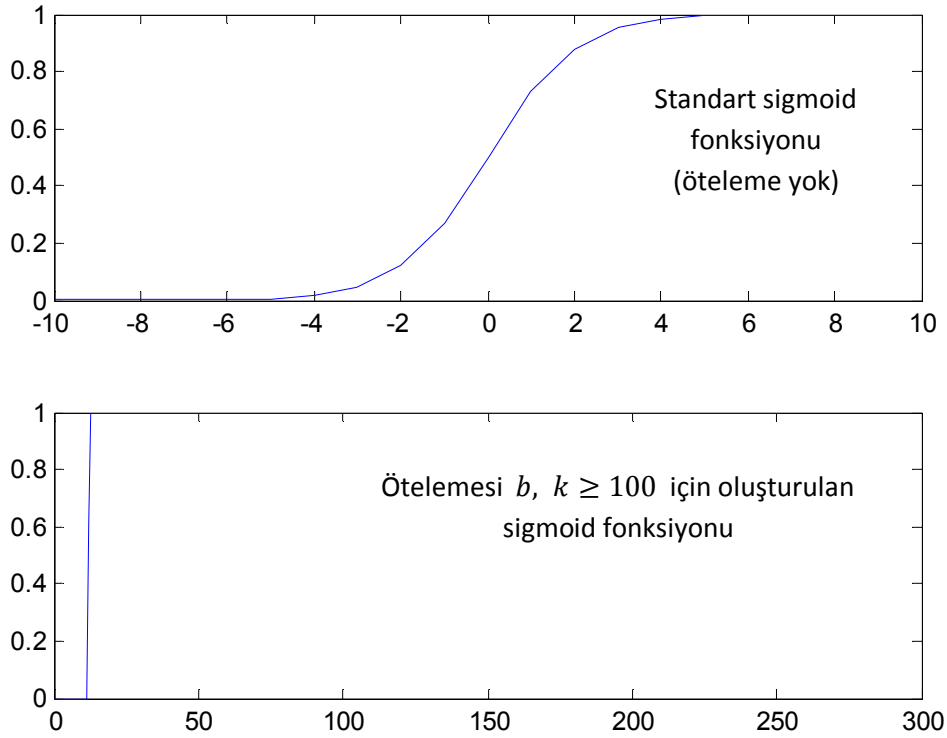
şeklinde yazmak daha doğru olacaktır. Böylece temsil etmeye çalışılan verinin diğer kısmı da (dikey çizginin sol tarafında kalan kısım) ifade edilebilir. Belirtilen fonksiyonlar Şekil 2.50' de görülmektedir.



Şekil 2.50. $a(x - b)^c$ ve $a|x - b|^c$ fonksiyonlarının oluşturulması

$a|x - b|^c$ fonksiyonu ile veriyi ifade edebilmek için bir sabit ve bir de doğrusal bileşenin bu fonksiyona eklenmesi gerekmektedir. Ancak verinin iki farklı bölgeden oluştuğu ve bu iki farklı bölgeyi aynı doğrusal bileşenle ifade etmenin mümkün olmadığı grafiklerden görülmektedir. Ayrıca $a|x - b|^c$ fonksiyonunun b 'den küçük kısmının -1 ile çarpılması ve veriye daha uygun bir hale getirilmesi gerekmektedir. Bu nedenlerden dolayı fonksiyon b noktasından itibaren iki bölgeye ayrılır. Bu ayırma işlemi için sigmoid fonksiyonundan faydalanılmıştır. Sigmoid, denklem (2.29) ve Şekil 2.51'deki gibi bir matematiksel işlevdir. Tanım aralığı $(-\infty, \infty)$ ve değer aralığı $[0, 1]$ 'dir.

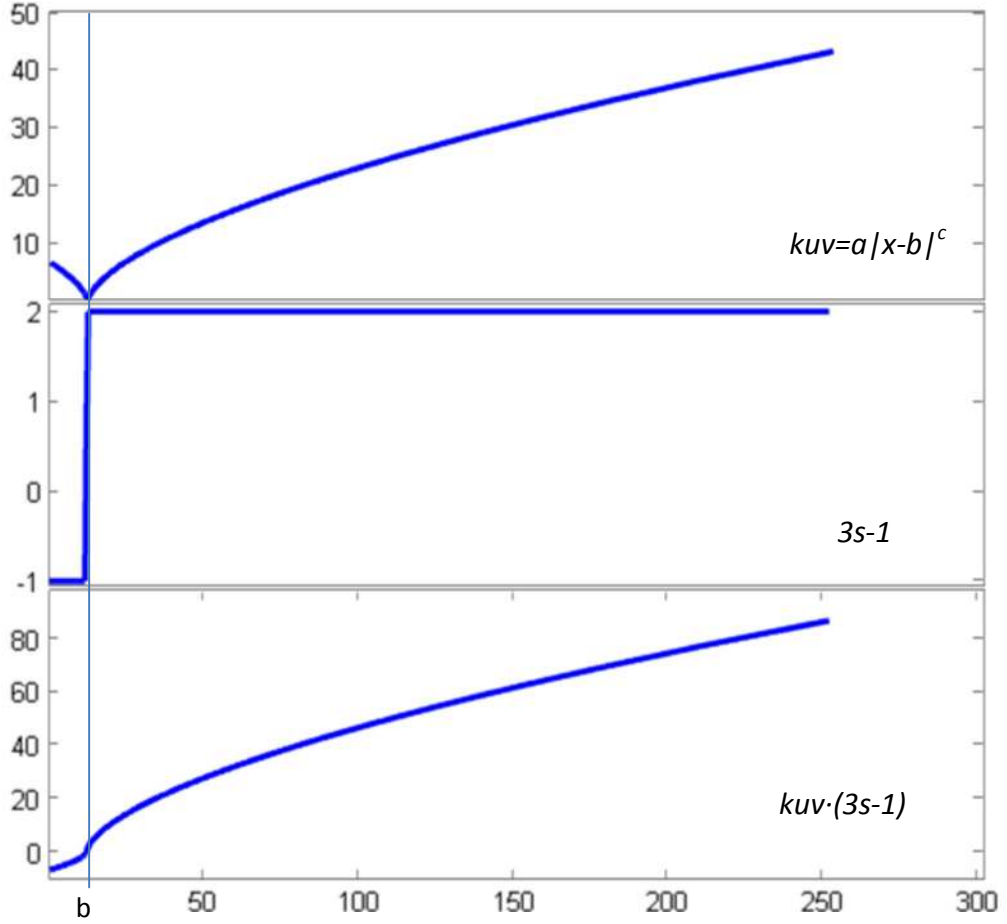
$$S = \frac{1}{1 + e^{-kx}} \quad (2.29)$$



Şekil 2.51. Standart sigmoid fonksiyonu ve ötelemesi $b, k \geq 100$ için oluşturulan sigmoid fonksiyonu

Bu fonksiyondaki k , fonksiyon b noktasından geçerken oluşan geçişin keskinliğini kontrol eder. k ne kadar büyükse, keskinlik o kadar fazla olur. Ancak elimizdeki x değerleri için $k \geq 100$ olarak alındığında keskinlik miktarında çok fark edilir bir değişme

olmadığından $k = 100$ alınmıştır. Sigmoid fonksiyonu kullanmaktaki amacımız kuv fonksiyonunun b değerinden önceki kısmını -1 ile sonraki kısmını ise 2 gibi pozitif bir sayı ile çarparak veriye daha uygun hale getirmektir.



Şekil 2.52. Sigmoid ve kuvvet fonksiyonlarının kullanılması ile yarı kent bölgesi için temel teşkil eden fonksiyonun oluşturulması

Şekil 2.52’de görüldüğü gibi yarı kent bölgesi için elde edilmiş veriyi temsil etmek amacıyla kullanılacak fonksiyonun en temel hali öncelikle oluşturulmuştur. Bu aşamadan sonra b parametresinden önceki ve sonraki bölümleri veriye daha uygun hale getirmek amacıyla $l_1 = gx$ ve $l_2 = ex$ gibi iki doğrusal fonksiyon $kuv \cdot (3s-1)$ fonksiyonuna ilave edilmiştir. Ancak bu doğrusal fonksiyonlar da iki bölge için ayrı uygulanmalıdır. Bu nedenle sırasıyla $s-1$ ve s fonksiyonları ile çarpılarak ana fonksiyona eklenmiştir. Son olarak ise verinin ortalama değerini ifade etmek için d sabit değeri fonksiyonla toplanır.

Yarı-kent bölgesi üzerinden frekans parametresine bağlı olmadan toplam yol kaybı (PL) için geliştirilen fonksiyonun son hali şöyledir:

$$PL = s[3(kuv) + l_2] - (kuv + l_2) + d \quad (2.30)$$

Oluşturulan model bu haliyle sadece izdüşüm uzaklığı r (km)' ye bağlı olarak değişir. Ancak yapılacak incelemeler 2.0, 3.5 ve 5.5 GHz frekanslarında, yani 2-6 GHz frekans bandında olacağından, frekans değişiminin d sabiti üzerindeki etkisi de ikinci derece bir polinom ile modellenmiş ve PL (toplam yol kaybı) fonksiyonuna ilave edilmiştir. Böylece her bölge için çalışma frekansı f (GHz) ve izdüşüm uzaklığı r (km)' ye bağlı bir model oluşturulmuştur.

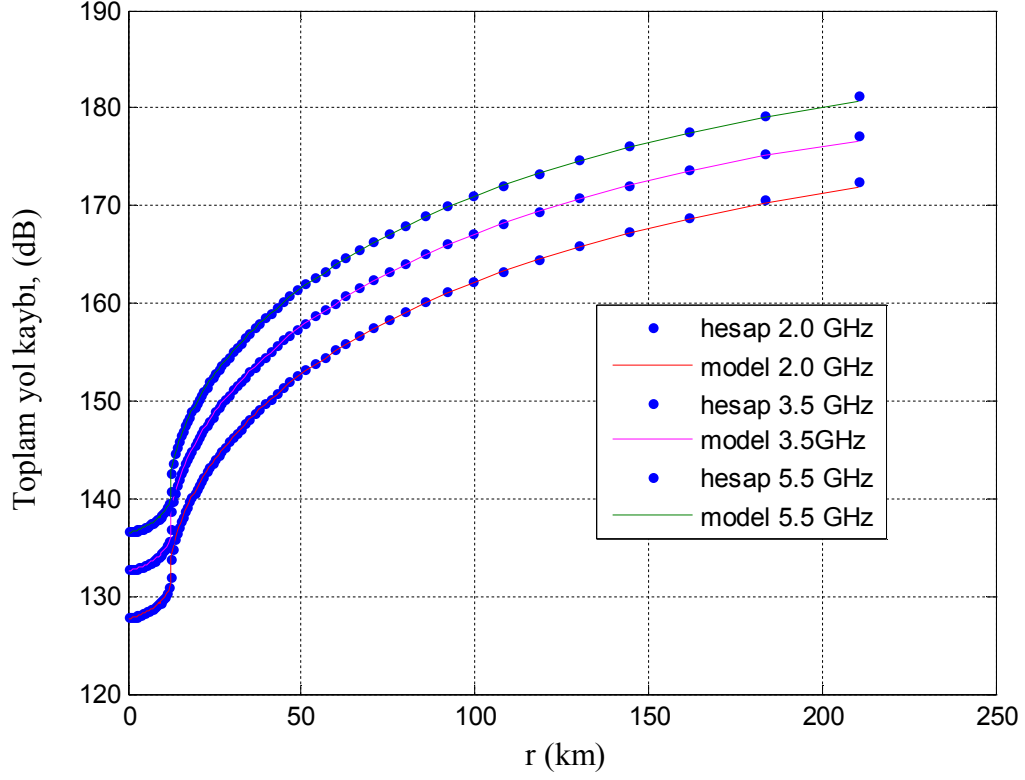
2.7.1. Yarı Kent Toplam Yol Kaybı Modeli

$$kuv = 1.4540|r(km) - 12.1412|^{0.6220} - 0.0962r(km) \quad (2.31)$$

$$S = \frac{1}{1 + e^{-100(r(km) - 12.1412)}} \quad (2.32)$$

$$l_2 = 0.3520r(km) \quad (2.33)$$

$$PL_{SU}(dB) = s[3(kuv) + l_2] - (kuv + l_2) + 0.3651f(GHz)^2 + 5.2486f(GHz) + 125.5279 \quad (2.34)$$



Şekil 2.53. 2.0, 3.5, 5.5 GHz için toplam yol kaybının izdüşüm uzaklığına bağlı değişimi (Yarı kent)

Yarı kent için 2.0 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.000493 dB, hatanın standart sapması 0.070742 dB olmuştur.

Yarı kent için 3.5 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.078860 dB, hatanın standart sapması 0.126250 dB olmuştur.

Yarı kent için 5.5 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.078353 dB, hatanın standart sapması 0.126250 dB olmuştur.

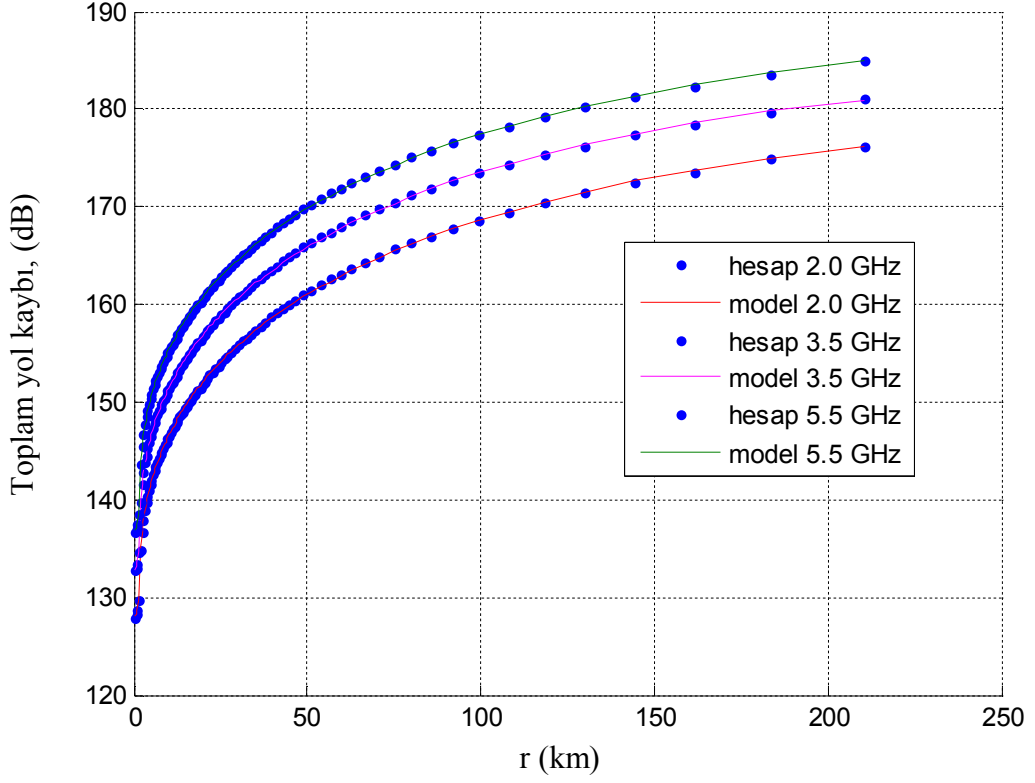
2.7.2. Kent Toplam Yol Kaybı Modeli

$$kuv = 3.0410|r(km) - 1.5660|^{0.4499} - 0.0546r(km) \quad (2.35)$$

$$S = \frac{1}{1 + e^{-100(r(km) - 1.5660)}} \quad (2.36)$$

$$l_2 = 0.9557r(km) \quad (2.37)$$

$$PL_U(dB) = s[3(kuv) + l_2] - (kuv + l_2) + 0.3651f(GHz)^2 + 5.2487f(GHz) + 122.6696 \quad (2.38)$$



Şekil 2.54. 2.0, 3.5, 5.5 GHz için toplam yol kaybının izdüşüm uzaklığına bağlı değişimi (Kent)

Kent için 2.0 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.007068 dB, hatanın standart sapması 0.146481 dB olmuştur.

Kent için 3.5 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.038244 dB, hatanın standart sapması 0.150324 dB olmuştur.

Kent için 5.5 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.037537 dB, hatanın standart sapması 0.150324 dB olmuştur.

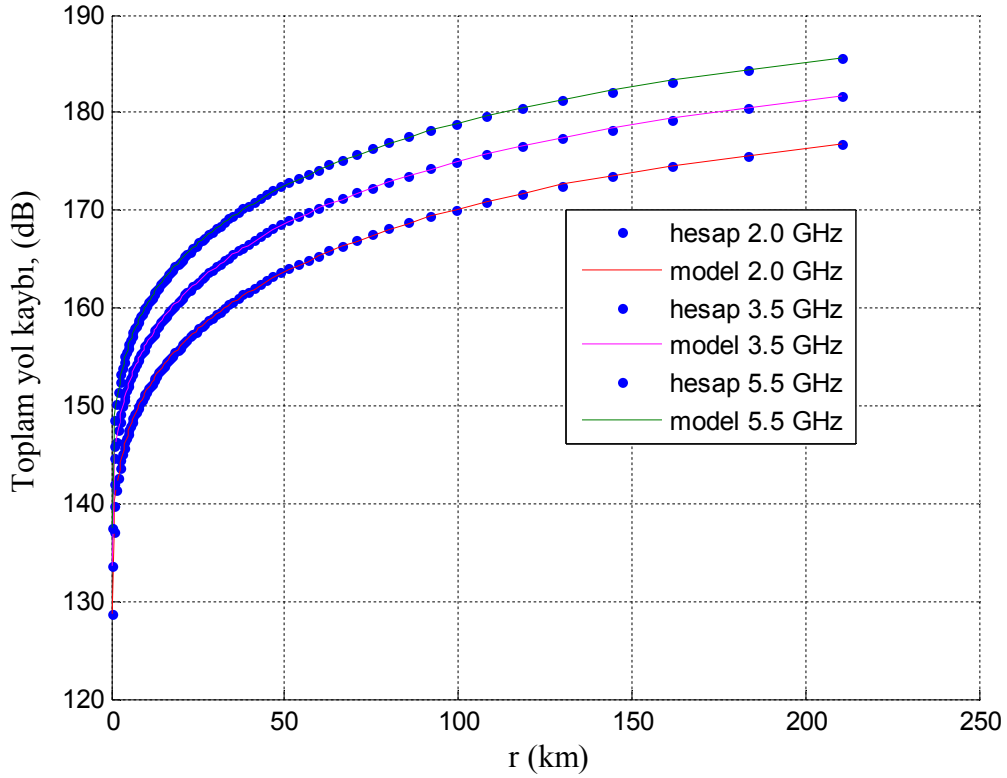
2.7.3. Yoğun Kent Toplam Yol Kaybı Modeli

$$kuv = 3.8236|r(km) - 0.7137|^{0.3692} - 0.0309r(km) \quad (2.39)$$

$$S = \frac{1}{1+e^{-100(r(km)-0.7137)}} \quad (2.40)$$

$$l_2 = 8.6021r(km) \quad (2.41)$$

$$PL_{DU}(dB) = s[3(kuv) + l_2] - (kuv + l_2) + 0.3693f(GHz)^2 + 5.2716f(GHz) + 125.5443 \quad (2.42)$$



Şekil 2.55. 2.0, 3.5, 5.5 GHz için toplam yol kaybının izdüşüm uzaklığına bağlı değişimi (Yoğun kent)

Yoğun kent için 2.0 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması -0.001935 dB, hatanın standart sapması 0.096047 dB olmuştur.

Yoğun kent için 3.5 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.022147 dB, hatanın standart sapması 0.099830 dB olmuştur.

Yoğun kent için 5.5 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.022040 dB, hatanın standart sapması 0.099830 dB olmuştur.

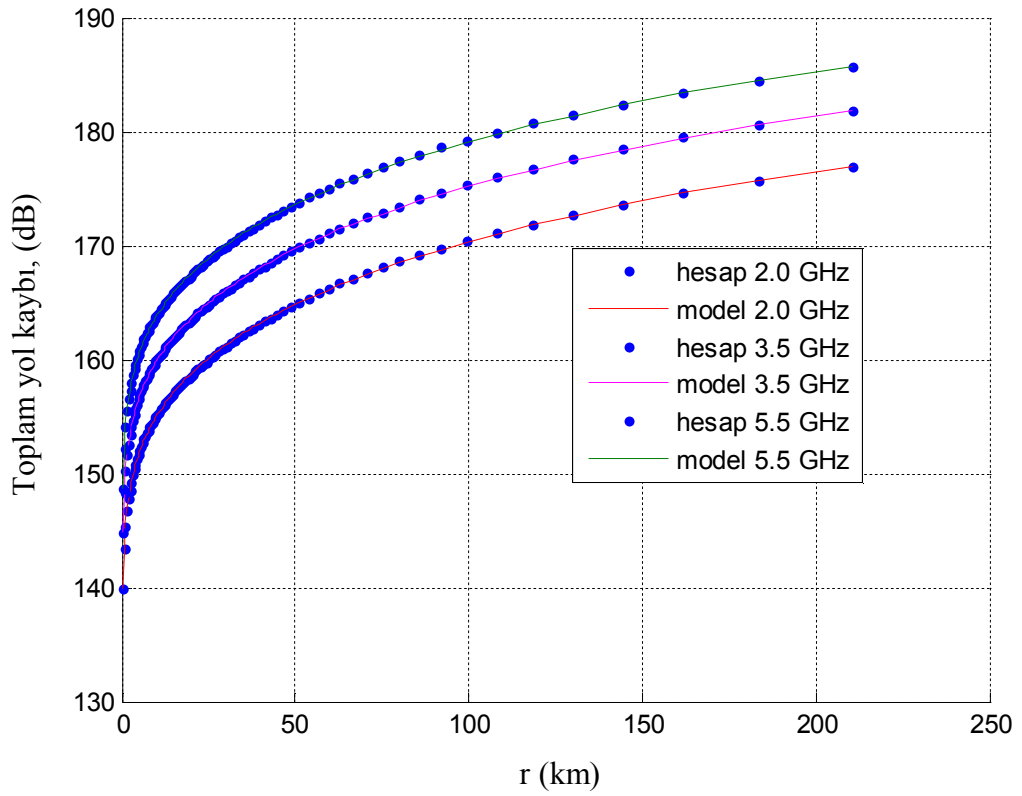
2.7.4. Yüksek Yapılı (Metropol) Kent Toplam Yol Kaybı Modeli

$$kuv = 3.9181|r(km) - 0.6720|^{0.3075} - 0.0072r(km) \quad (2.43)$$

$$S = \frac{1}{1 + e^{-100(r(km) - 0.6720)}} \quad (2.44)$$

$$l_2 = 7.7722r(km) \quad (2.45)$$

$$PL_{UHR}(dB) = s[3(kuv) + l_2] - (kuv + l_2) + 0.3650f(GHz)^2 + 5.2480f(GHz) + 130.5403 \quad (2.46)$$



Şekil 2.56. 2.0, 3.5, 5.5 GHz için toplam yol kaybının izdüşüm uzaklığına bağlı değişimi (Yüksek yapılı kent)

Yüksek yapılı kent için 2.0 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.003449 dB, hatanın standart sapması 0.123287 dB olmuştur.

Yüksek yapılı kent için 3.5 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.022364 dB, hatanın standart sapması 0.108092 dB olmuştur.

Yüksek yapılı kent için 5.5 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.042056 dB, hatanın standart sapması 0.108092 dB olmuştur.

2.8. HAPs Sisteminde Kanal Başarım Analizi (BER, SNR)

Oluşturulan istatistiksel modelde, alınan işaret ile değil sönmüleme derinliğine göre çalışılmıştır. LOS olarak alınan işaret seviyesi referans alındığında sönmüleme derinliği (2.47)' de olduğu gibi negatif olarak tanımlanır [68].

$$F_i = -R_i \text{ [dB]} \quad (2.47)$$

R_i = Alınan işaretin gücü [dB]

Burada bahsedilen işaret seviyeleri işaretin gücünü ifade eder. Dolayısıyla alınan işaretin genliğine geçmek için mevcut sönmüleme derinliklerinden faydalanılır.

$$v_i = 10^{-0.05F_i} \quad (2.48)$$

v_i = Alınan işaretin genliği [Volt]

Gürültü ise, (2.49)' daki gibi sıfır ortalamalı Gauss dağılımı ile modellenmektedir.

$$P(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (2.49)$$

v_i genlikli işaret gönderildiğinde Gauss gürültüsü eklenerek alıcıdan alınan işaret için hata olasılığı (2.50)' deki gibi olacaktır.

$$P(e|v_i) = \int_{-\infty}^0 \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-v_i)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (2.50)$$

Bu durumda bit hata olasılığı (BER) (2.51) ve (2.52)' deki gibi hesaplanacaktır. Buradaki $P(v_i)$, v_i genlikli işaretin oluşma olasılığıdır.

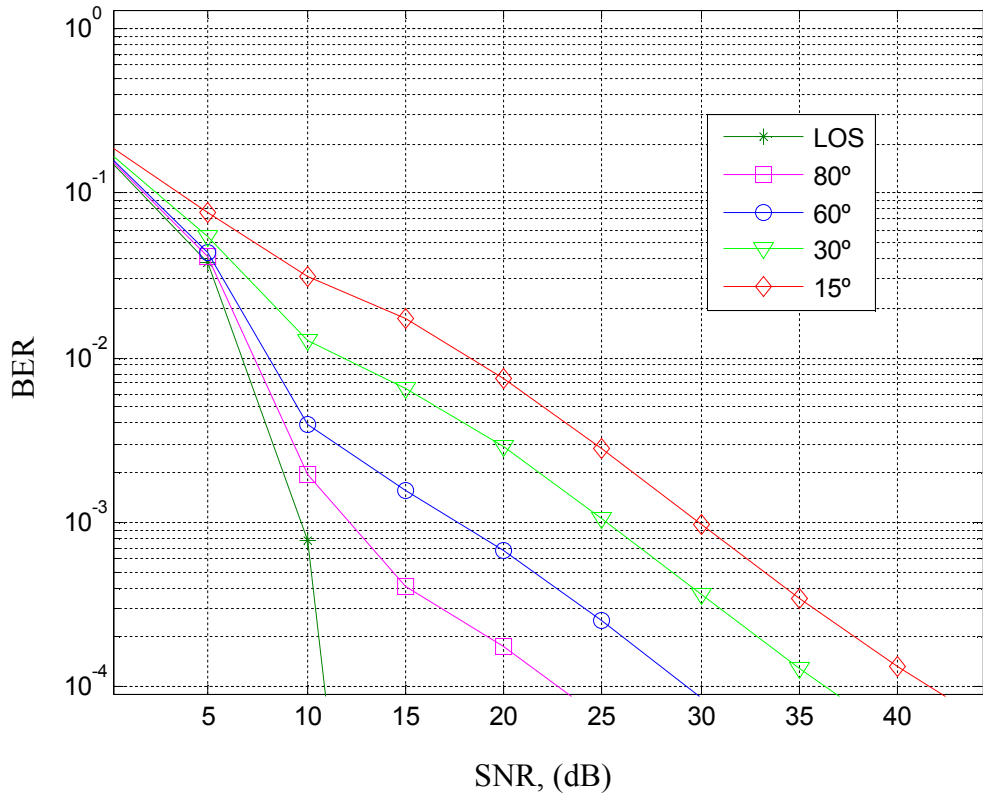
$$P_e = \sum_{i=1}^n P(v_i)P(e|v_i) \quad (2.51)$$

$$P_e = \sum_{i=1}^n P(v_i) \int_{-\infty}^0 \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-v_i)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (2.52)$$

N = Gürültü gücü [dB]

SNR = İşaret gürültü oranı [dB]

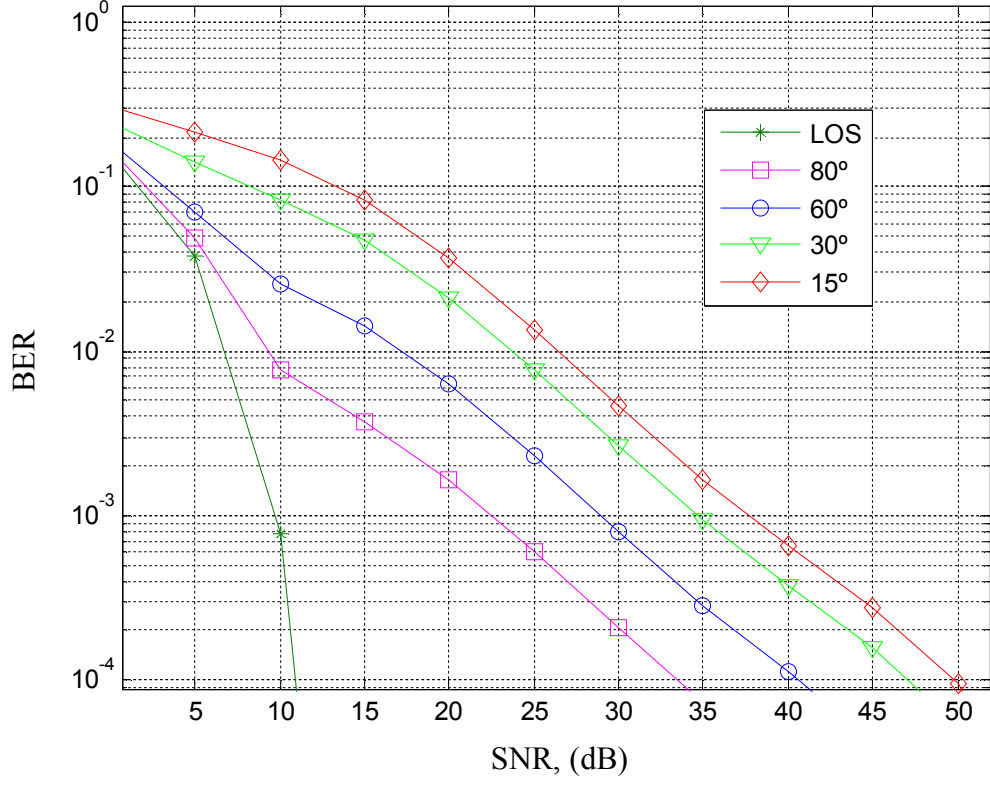
BER = Bit hata oranı (Bit Error Rate)



Şekil 2.57. Yarı kent için kanal başarımı

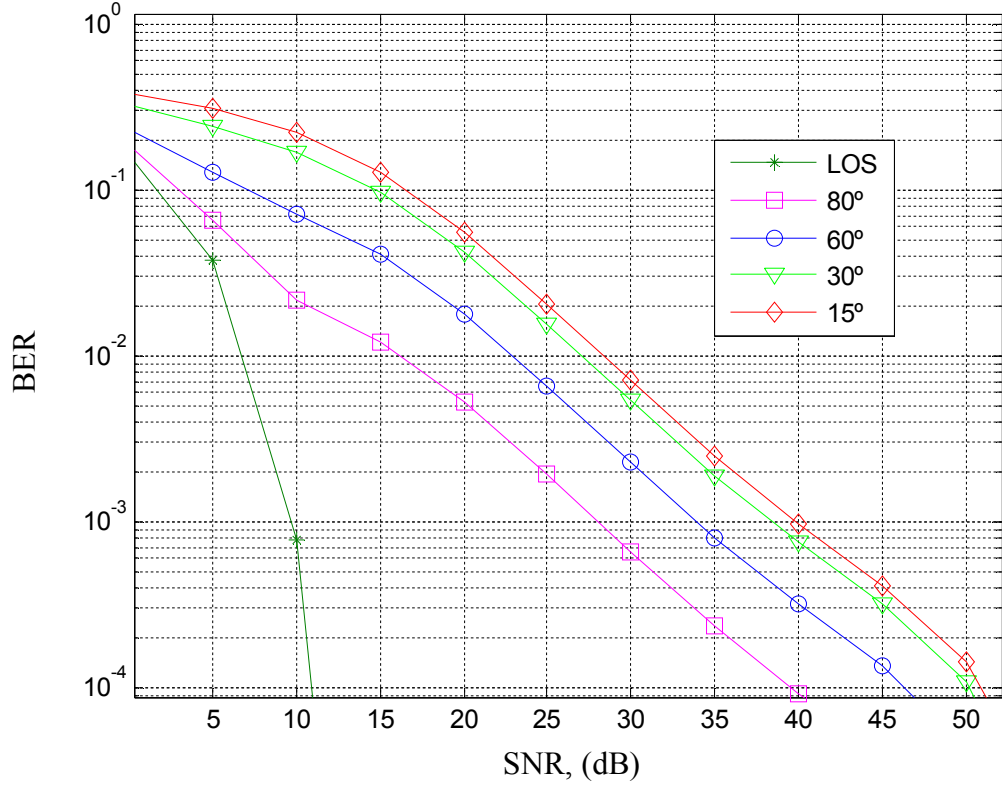
Yarı kent (SU) bölgesinde, 10^{-4} olan bit hata olasılığı için 80° , 60° , 30° ve 15° yükselme açılarında ideal AWGN kanalına (sönümleme olmayan) ilave edilmesi gereken

SNR' ler sırasıyla 12 dB, 18 dB, 25.5 dB ve 31 dB olacaktır. Başka bir ifadeyle, 10^{-4} BER değeri için 80° , 60° , 30° ve 15° yükselme açılarında SNR değerinde AWGN kanalına göre kötüleşme sırasıyla 12 dB, 18 dB, 25.5 dB ve 31 dB olacaktır.



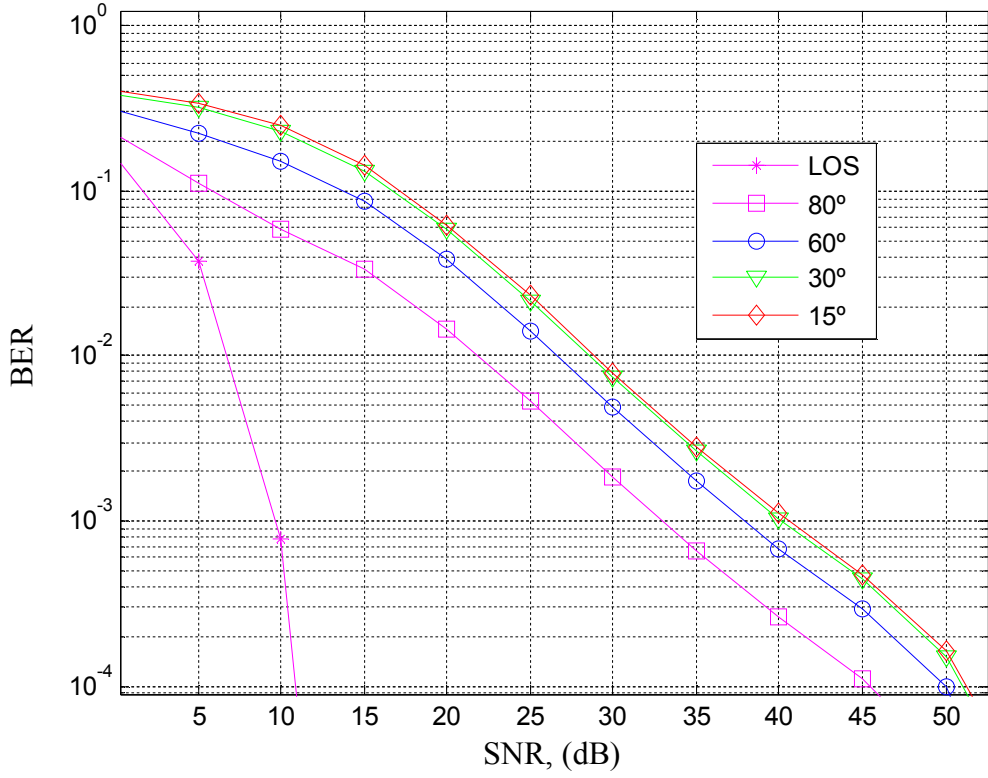
Şekil 2.58. Kent için kanal başarımı

Kent (U) bölgesinde, 10^{-4} olan bit hata olasılığı için 80° , 60° , 30° ve 15° yükselme açılarındaki ideal AWGN kanalına (sönümlenme olmayan) ilave edilmesi gereken SNR' ler sırasıyla 22.5 dB, 29.5 dB, 35 dB ve 38.5 dB olacaktır. Başka bir ifadeyle, 10^{-4} BER değeri için 80° , 60° , 30° ve 15° yükselme açılarındaki SNR değerinde AWGN kanalına göre kötüleşme sırasıyla 22.5 dB, 29.5 dB, 35 dB ve 38.5 dB olacaktır.



Şekil 2.59. Yoğun kent için kanal başarımı

Yoğun kent (DU) bölgesinde, 10^{-4} olan bit hata olasılığı için 80° , 60° , 30° ve 15° yükselme açılarında ideal AWGN kanalına (sönümleme olmayan) ilave edilmesi gereken SNR' ler sırasıyla 28.5 dB, 35.5 dB, 39 dB ve 40 dB olacaktır. Başka bir ifadeyle, 10^{-4} BER değeri için 80° , 60° , 30° ve 15° yükselme açılarında SNR değerinde AWGN kanalına göre kötüleşme sırasıyla 28.5 dB, 35.5 dB, 39 dB ve 40 dB olacaktır.



Şekil 2.60. Yüksek yapılı (metropol) kent için kanal başarımı

Yüksek yapılı kent (UHR) bölgesinde, 10^{-4} olan bit hata olasılığı için 80° , 60° , 30° ve 15° yükselme açılarında ideal AWGN kanalına (sönümleme olmayan) ilave edilmesi gereken SNR' ler sırasıyla 34.5 dB, 39 dB, 40 dB ve 40.5 dB olacaktır. Başka bir ifadeyle, 10^{-4} BER değeri için 80° , 60° , 30° ve 15° yükselme açılarında SNR değerinde AWGN kanalına göre kötüleşme sırasıyla 34.5 dB, 39 dB, 40 dB ve 40.5 dB olacaktır.

3. İRDELEME VE SONUÇLAR

HAPs iletişim sistemi, gelecekte mobil servisler için güçlü bir seçenek olabileceğinden üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu sistemde çözülmesi gereken sorunlardan biri, yayılım modelleme ile yol kaybı kestirimidir. Yapılan çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Sistemde sönümlenme (F) değişimi önemlidir. Sönümlenme derinliği, dört farklı yayılım ortamında (SU, U, DU, UHR) LOS ve NLOS oluşma olasılığına göre bilinen istatistiksel modellerden yararlanarak modellenmiştir. Model parametreleri Rice yayılım katsayısı (K1), Rayleigh yayılım katsayısı (K2), yükselme açısı (θ) ve başarımlı hedefi olmuştur.
2. Model parametreleri değiştirilerek sönümlenme derinliğinin değişimi incelenmiş buna bağlı olarak parametreler ile sönümlenme derinliği arasındaki ilişki katsayıları hesaplanmıştır. Buradan varılan sonuç ise, %99, %95 ve %90 başarımlı hedeflerinde, sönümlenme derinliği ile yükselme açısı arasında güçlü ve negatif bir ilişki ($\delta_{F-\theta}$), Rice yayılım katsayısı ile yine negatif ancak çok da güçlü olmayan bir ilişki (δ_{F-K1}), Rayleigh yayılım katsayısı ile ise pozitif güçlü bir ilişki (δ_{F-K2}) olduğudur. Sonuç olarak, yükselme açısının ve Rayleigh yayılım katsayısının, sönümlenme derinliğini en çok etkileyen parametreler olduğu söylenebilir.
3. Bir parametrenin sönümlenme derinliğine etkisi incelenirken diğer parametreler sabit tutulmuştur. Ancak sönümlenme derinliği bu parametrelerin her birine üçüne de bağlı olarak bir değişim göstermektedir. Bu durumda çoklu lineer regresyon analizine ihtiyaç duyulmuştur. θ (5° - 90°), K1 (10-20 dB) ve K2 (10-20 dB) bağımsız değişkenlerinin her durumu için karşılık gelen sönümlenme derinliği değerleri (F), SPSS paket programında çoklu regresyon analizi ile incelenmiştir. Tahmini değerler ile gerçek değerler arasındaki hata hesaplanıp, anlamlı yükselme açıları için en uygun denklemler elde edilmiştir. Eldeki verilerin değişimi tamamıyla lineer olmamasından dolayı, yükselme açısının farklı aralıklarında gruplandırmalar yaparak inceleme yapılmasının daha iyi olacağı sonucuna varılmıştır. En anlamlı açı kesitleri için parçalı şekillerde tahmini sönümlenme derinliği değerlerini verecek denklemler oluşturulmuştur.
4. Her bir açı farklı bir yarıçapa karşılık düştüğünden, her açının varlığı toplam kapsama alanında farklılık gösterecektir. 0.05° lik marjınla elde edilen daire diliminin alanının,

toplam kapsama alanına oranı bize belirlenen açının toplam alandaki yoğunluğunu vermiştir. Yükselme açısı 0° - 90° arasında alınmıştır. Burada platformun yerden yüksekliği 22 km alınmıştır. Küçük açıların, toplam kapsama alanında kapladıkları daire dilimleri daha büyük olduğundan, mevcut alanda oluşma olasılıkları çok daha büyük olmaktadır.

5. Yer eğriliği sebebiyle, 5° ve üzerindeki yükselme açılarında HAPs kapsama sağlayabilecektir. Dolayısıyla her bir açının toplam alandaki olasılığı $\theta_i \geq 5^\circ$ olacak şekilde yeniden hesaplanmış ve (2.16)'daki denklem ile (2.17)'deki gibi yükselme açısına bağlı bir dağılım fonksiyonu haline getirilmiştir.
6. Her bir yayılım ortamı ayrı ayrı incelendiğinde, %99, %95 ve %90 olarak belirlenen başarımlar hedefleriyle elde edilen sönümlenme derinlikleri de tıpkı onu oluşturan yükselme açılarında olduğu gibi bir oluşma olasılığına sahip olacaktır. Bu durum 2.6.1 bölümünde ayrıntılı şekilde incelenmiştir. Bu da herhangi bir başarımlar hedefinde karşımıza çıkabilecek sönümlenme derinlikleri ve toplam kapsama alanındaki olasılık dağılımlarını verecektir. Bu veri sistem tasarımında önemli bir rol oynayacaktır.
7. Yükselme açısına bağlı olarak dört farklı yayılım ortamı için istatistiksel hesaplamalarla elde edilen sönümlenme modeli ile serbest uzay yol kaybı birleştirilip, her bölge için farklı çalışma frekanslarında yol kaybı hesapları yapılmıştır. Çalışma frekansları 2-6 GHz bandında 2.0, 3.5 ve 5.5 GHz olarak seçilmiştir. Bu frekanslar 3G ve 4G sistemler için öngörülen frekans bantlarıdır. Bu hesaplamalar yapılırken platformun yerden yüksekliği $h=22$ km alınmıştır. %99 başarımlar hedefiyle elde edilen toplam yol kayıplarının yükselme açılara ve yayılım ortamlarına bağlı değişimleri Tablo 2.9, 2.10 ve 2.11'deki gibi olacaktır.
8. Her bir yükselme açısına göre hesaplanan toplam yol kayıpları, diğer iletişim sistemlerinde de olduğu gibi bir modelle ifade edilmiştir. Model parametreleri; platformun kullanıcıya olan izdüşüm uzaklığı r (km) [Şekil 2.47] ve 2-6 GHz arasında çalışma frekansı f (GHz) olarak seçilmiştir. Her bir yayılım ortamı için hesaplanan veriler ile oluşturulan model arasındaki hatanın ortalama değeri ve standart sapması hesaplanmıştır.
9. Yarı kent için 2.0 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.000493 dB, hatanın standart sapması 0.070742 dB; 3.5 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.078860 dB, hatanın standart sapması

- 0.126250 dB ve 5.5 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.078353 dB, hatanın standart sapması 0.126250 dB olarak hesaplanmıştır.
10. Kent için 2.0 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.007068 dB, hatanın standart sapması 0.146481 dB; 3.5 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.038244 dB, hatanın standart sapması 0.150324 dB ve 5.5 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.037537 dB, hatanın standart sapması 0.150324 dB olarak hesaplanmıştır.
11. Yoğun kent için 2.0 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması -0.001935 dB, hatanın standart sapması 0.096047 dB; 3.5 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.022147 dB, hatanın standart sapması 0.099830 dB ve 5.5 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.022040 dB, hatanın standart sapması 0.099830 dB olarak hesaplanmıştır.
12. Yüksek yapılı kent için 2.0 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.003449 dB, hatanın standart sapması 0.123287 dB; 3.5 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.022364 dB, hatanın standart sapması 0.108092 dB ve 5.5 GHz çalışma frekansındaki model ve hesap arasındaki hata ortalaması 0.042056 dB, hatanın standart sapması 0.108092 dB olarak hesaplanmıştır.
13. Oluşturulan yol kaybı modellerinin, hesaplar ile arasındaki hata ortalamaları ve standart sapmaları Tablo 3.1’ deki gibi özetlenmiştir.

Tablo 3.1. Yol kaybı modellerinin, hesaplar ile arasındaki hata ortalamaları ve standart sapmaları

	SU		U		DU		UHR	
	Hata Ortalaması (dB)	Hata Standart Sapması (dB)	Hata Ortalaması (dB)	Hata Standart Sapması (dB)	Hata Ortalaması (dB)	Hata Standart Sapması (dB)	Hata Ortalaması (dB)	Hata Standart Sapması (dB)
2.0 GHz	0.0005	0.0707	0.0007	0.1464	-0.0019	0.0960	0.0034	0.1232
3.5 GHz	0.0788	0.1262	0.0382	0.1503	0.0221	0.0998	0.0223	0.1081
5.5 GHz	0.0783	0.1262	0.0375	0.1503	0.0220	0.0998	0.0420	0.1081

14. Belirlenen yol kaybı düzeyleri incelendiğinde, mevcut mobil ve uydu sistemleriyle karşılaştırıldığında verilerin kullanılabilir olduğu saptanmıştır.
15. v_i genlikli işaret gönderildiğinde Gauss gürültüsü eklenerek alıcıdan alınan işaret için hata olasılıkları (BER), dört farklı yayılım ortamında farklı SNR' lerde hesaplanmıştır. Her bir yayılım ortamı için kanal başarımları, 2.8 bölümünde detaylı bir şekilde verilmiştir.
16. Yarı kent (SU) bölgesinde, 10^{-4} olan bit hata olasılığı için 80° , 60° , 30° ve 15° yükselme açılarında ideal AWGN kanalına (sönümleme olmayan) ilave edilmesi gereken SNR' ler sırasıyla 12 dB, 18 dB, 25.5 dB ve 31 dB olacaktır. Başka bir ifadeyle, 10^{-4} BER değeri için 80° , 60° , 30° ve 15° yükselme açılarında SNR değerinde AWGN kanalına göre kötüleşme sırasıyla 12 dB, 18 dB, 25.5 dB ve 31 dB olacaktır.
17. Kent (U) bölgesinde, 10^{-4} olan bit hata olasılığı için 80° , 60° , 30° ve 15° yükselme açılarında ideal AWGN kanalına (sönümleme olmayan) ilave edilmesi gereken SNR' ler sırasıyla 22.5 dB, 29.5 dB, 35 dB ve 38.5 dB olacaktır. Başka bir ifadeyle, 10^{-4} BER değeri için 80° , 60° , 30° ve 15° yükselme açılarında SNR değerinde AWGN kanalına göre kötüleşme sırasıyla 22.5 dB, 29.5 dB, 35 dB ve 38.5 dB olacaktır.
18. Yoğun kent (DU) bölgesinde, 10^{-4} olan bit hata olasılığı için 80° , 60° , 30° ve 15° yükselme açılarında ideal AWGN kanalına (sönümleme olmayan) ilave edilmesi gereken SNR' ler sırasıyla 38.5 dB, 35.5 dB, 39 dB ve 40 dB olacaktır. Başka bir ifadeyle, 10^{-4} BER değeri için 80° , 60° , 30° ve 15° yükselme açılarında SNR değerinde AWGN kanalına göre kötüleşme sırasıyla 28.5 dB, 35.5 dB, 39 dB ve 40 dB olacaktır.
19. Yüksek yapılı kent (UHR) bölgesinde, 10^{-4} olan bit hata olasılığı için 80° , 60° , 30° ve 15° yükselme açılarında ideal AWGN kanalına (sönümleme olmayan) ilave edilmesi gereken SNR' ler sırasıyla 34.5 dB, 39 dB, 40 dB ve 40.5 dB olacaktır. Başka bir ifadeyle, 10^{-4} BER değeri için 80° , 60° , 30° ve 15° yükselme açılarında SNR değerinde AWGN kanalına göre kötüleşme sırasıyla 34.5 dB, 39 dB, 40 dB ve 40.5 dB olacaktır.

4. ÖNERİLER

Bu çalışmada, Yüksek Rakımlı Platform İstasyonların (HAPs) yayılım ortamlarının istatistiksel modelleme ile sönümlleme derinliklerinin belirlenmesine ilaveten toplam yol kaybı kestirimi yapılmış ve yol kaybı modeli geliştirilmiştir. Yol kaybı model parametreleri çalışma frekansı $f(GHz)$ ve platformun kullanıcıya olan izdüşüm uzaklığı $r(km)$ ' dir. Çalışma frekansı 3G ve 4G sistemler için öngörülen 2-6 GHz frekans bandıdır.

Çalışmada, literatürde var olan yayılım ortamı parametrelerinden yararlanılmıştır. Yani yayılım ortamında çalışılacak bölgedeki P_{LOS} verisi literatürde var olan çalışmadan alıntılanmıştır. Yayılım ortamlarına uygun ve çalışılacak bölge için P_{LOS} verileri elde edilebilir. Bu verilerle çalışılan bölgeye ait ve daha doğru modellemeler yapılabilir.

Farklı modülasyon-demodülasyon, kodlama-dekodlama teknikleri incelenebilir. Böylelikle HAPs sisteminin bu farklı tekniklerdeki performans karşılaştırmaları yapılarak sistem tasarımına ait önemli veriler elde edilebilir.

Deneysel bir çalışma ile yayılım ölçmeleri yapılarak, model sonuçlarıyla karşılaştırılabilir. Bu deneysel çalışma neticesinde deneysel yayılım modelleri elde edilebilir.

HAPs sisteminde öngörülen frekans bantlarında yağmur zayıflatması ve ağaç zayıflatması incelenebilir ve mevcut sistemlerle kıyaslanabilir.

Karasal gezgin sistemler ile HAPs sisteminin mobil servisleri sağlaması konusunda avantaj ve dezavantajlarını gösterme amaçlı detaylı araştırmalar yapılabilir. Mevcut mobil servislerin HAPs sistemi ile sağlanması konusunda çözüm önerileri ortaya konulabilir.

HAPs sisteminde kapsama planlaması yapılabilir. Bu planlama yapılırken, hedeflenen kapsama alanında platformun yerleştirileceği en uygun konumun ve yüksekliğin belirlenmesi, bu alandaki mevcut trafik yükünün saptanıp sistem tasarımı için uygun kapasitenin seçimi odaklanılabilecek önemli konulardan olabilir.

Yapılacak kapsama planlamaları ile örneğin ülkemizdeki kapsama haritası çıkarılıp gerekli platform sayısı, mevcut sistemlere karşılaştırılabilecek bir maliyet raporu ve işletmesi ile ilgili bir fizibilite çalışması sunulabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Ohmori, S., Nakajima, N. ve Yamao, Y., The Future Generations of Mobile Communications Based on Broadband Access Technologies, IEEE Commun. Mag., 38, 12 (2000) 134-142.
2. Widiawan, A. K. ve Tafazolli, R., High altitude platform station (HAPS): A review of new infrastructure development for future wireless communications, Wireless Personal Commun., 42, 3 (2007) 387-404.
3. Jull, G. W., Lillemark, A. ve Turner, R. M., SHARP (Stationary High Altitude Relay Platform) telecommunications missions and systems, IEEE Global Telecommunications Conference, December 1985, New Orleans, LA, USA.
4. Lee, Y. ve Ye, H., Sky station stratospheric telecommunications system, a high speed low latency switched wireless network, Proceeding of 17th AIAA International Communications Satellite Systems Conference, 1998, 25-32.
5. Aragon-Zavala, A., Cuevas-Ruiz, J. L. ve Delgado-Penin, J.A., High-Altitude Platforms for Wireless Communications, First Edition, John Wiley & Sons Ltd., United Kingdom, 2008.
6. Colella, N., Martin, J. ve Akyildiz, I., The HALO network, IEEE Commun. Mag., 38, 6 (2000) 142-148.
7. Oodo, M., Tsuji H., Miura, R., Maruyama, M., Suzuki, M., Nishi, Y. ve Sasamoto, H., Experiments on IMT-2000 using unmanned solar-powered aircraft at an altitude of 20 km, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 54, 4 (2005) 1278-1294.
8. SkyTower Stratospheric Telecommunications Network System, www.avinc.com, 15 March 2005.
9. About the Stratellite, Sanswire Networks, <http://www.wsgi.com/stratellite.php>, 14 February 2010.
10. High Altitude Long Endurance (HALE), www.lindstrandtech.com/hale.html, 28 January 2010.
11. ESA-ESTEC contract 162372/02/NL/US, STRATOS: Stratospheric Platforms a Definition Study for an ESA Platform, Final Report, 1–34, September 2005.
12. Tafazolli, R., Wansch, R., Plenge, C., Horwath, J. ve Apel, U., Stratospheric services, Technical Note of Stratospheric Platforms – a definition study for an ESA platform (TN1), 2004.
13. European Union Contract IST-1999-11214, Network of stratospheric platforms for traffic monitoring, environmental surveillance and broadband services, 5th Framework

Programme of European Community Activities in the Field of Research and Technological Development. Sector: 1.1.2–1.6.1/1.1.2–1.5.1/1.1.2–1.5.2, 1999.

14. European Union contract FP6-IST-2003-506745, Communications from aerial platform networks delivering broadband communications for all, 6th Framework Programme, Priority 2, Information Society Technologies, Annex, 1–27, December 2003.
15. Stratospheric Broadband Project CAPANINA, www.capanina.org, 18 January 2006.
16. COST 297-High Altitude Platforms for Communications and Other Services, www.hapcos.org, 18 March 2011.
17. European Union Contract FP6-2002-AERO-2 SSA Project-516081, High altitude aircraft and airships, 6th Framework Programme, USE HAAS Activity Assessment Report, 1–20, www.usehaas.org, 23 April 2007.
18. European Civil Unmanned Aerial Vehicles Roadmap Report, Strategic Research Agenda, 3, 1–192, www.uavnet.org, 25 May 2005.
19. Hase, Y., Miura, R. ve Ohmori, S., A Novel Broadband All-Wireless Access Network Using Stratospheric Radio Platform, VTC'98 (48th Vehicular Technology Conference), May 1998, Ottawa, Canada, 1191–1194.
20. Javornik, T., Mohorcic, M., Svigelj, A., Ozimek, I. ve Kandus, G., Adaptive Coding and Modulation for Mobile Wireless Access Via High Altitude Platforms, Wireless Personal Commun., 32, 3-4 (2005) 301-317.
21. Vucetic, B. ve Du, J., Channel Modelling in Satellite Mobile Communication Systems, IEEE Journal on Selective Areas of Communication, 10, 8 (1992) 1209–1218.
22. Lutz, E., Cygan, D., Dippold, N., Dolainsky, F. ve Papke, W., The Land Mobile Satellite Channel – Recording, Statistics and Channel Model, IEEE Trans. Veh. Technol., 40, 2 (1991) 375–386.
23. Sciascia, G., Scalise, S., Ernst, H. ve Mura, R., Statistical Characterization of the Railroad Satellite Channel at Ku-Band, International Workshop of Cost Actions 272 and 280, May 2003, Noordwijk, The Netherlands, 85–92.
24. Cuevas-Ruiz, J. L. ve Delago-Penin, J. A., Channel Modeling and Simulation in HAPs Systems, European Wireless 2004, February 2004, Barcelona, Spain, 24-27.
25. Vazquez-Castro, M., Perez-Fontan, F. ve Arbesser-Rastburg, B., Channel modeling for satellite and HAPS system design, Wireless Commun. Mobile Comput., 2, 3 (2002) 285–300.
26. Hoehner, P. ve Haas, E., Aeronautical Channel Modelling at VHF-Band, Institute for Communications Technology, Germany Aerospace Center, 1999, IEEE, Veh. Techn. Conf., 4, 1961-1966.

27. Masumura, S. ve Nakagawa, M., Joint system of terrestrial and high altitude platform station (HAPS) cellular for W-CDMA mobile communication, IEICE Trans. Commun., E.85, 10 (2002) 2051- 2058.
28. Falletti, E., Mondin, M., Dovis, F. ve Grace, D., Integration of a HAP within a terrestrial UMTS network: interference analysis and cell dimensioning, Wireless Personal Commun., 24 (2003) 291-325.
29. Djuknic, G. ve Freidenfelds, J., Establishing wireless communications services via high-altitude aeronautical platforms: a concept whose time has come?, IEEE Commun. Mag., 35, 9 (1997) 128-135.
30. Hasırcı, Z. ve Çavdar, İ. H., Yüksek Rakımlı Platform İstasyonlarda (HAPs) Yayılım Modellemesi ve Yol Kaybı Kestirimi, 4. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, 28-29 Nisan 2011, Ankara.
31. Araniti, G., Iera, A. ve Molinaro, A., Effective service delivery and group management in integrated terrestrial-HAP systems for multicast communications, Wireless Communications & Mobile Computing, 10, 9 (2010) 1173-1185.
32. Tozer, T. C. and Grace, D., High-altitude platforms for wireless communications, Electronics & Communication Engineering Journal, 13, 3 (2001) 127–137.
33. Grace, D., Thornton, J., Chen, G., White, G. P. ve Tozer, T. C., Improving the system capacity of broadband services using multiple high-altitude platforms, IEEE Transactions on Wireless Communications, 4, 2 (2005) 700–709.
34. White, G. P. ve Zakharov, Y. V., Data communications to trains from high-altitude platforms, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 56, 4 (2007) 2253–2266.
35. IEEE Standard 802.16e-2005, Air interface for fixed and mobile broadband wireless Access systems—Amendment for physical and medium access control layers for combined fixed and mobile operation in licensed band, IEEE, 2005.
36. ITU-R M. 1456, Minimum performance characteristics and operational conditions for high altitude platform stations providing IMT-2000 in the bands 1885-1980 MHz, 2010-2025 MHz, and 2110-2170 MHz in the Regs. 1 & 3 and 1885-1980 MHz and 2110-2160 MHz in Reg. 2, ITU-R, 2000.
37. ITU-R Study Groups Document 8-1/307-E, Revised technical and operational parameters for typical IMT-2000 terrestrial systems using high altitude platforms stations and CDMA radio transmission technologies, ITU, Mar. 1999.
38. ITU-R M.1641, A methodology for cochannel interference evaluation to determine separation distance from a system using high-altitude platform stations to a cellular system to provide IMT-2000 service within the boundary of an administration, ITU, 2006.

39. ITU-R SF. 1481-1, Frequency sharing between systems in the fixed service using high-altitude platform stations and satellite systems in the geostationary orbit in the fixed-satellite service in the bands 47.2–47.5 GHz and 47.9–48.2 GHz, ITU, 2002.
40. Oodo, M., Miura, R., Hori, T., Morisaki, T., Kashiki, K. ve Suzuki, M., Sharing and compatibility study between fixed service using high altitude platform stations (HAPs) and other services in 31/28 Ghz bands, Wireless Personal Commun., 23 (2002) 3–14.
41. El-Jabu, B. ve Steele, R., Cellular communication using aerial platform, IEEE Trans. on Vehicular Technology, 50, 3 (2001) 668-700.
42. Thornton, J., Grace, D., Capstick, M. H. ve Tozer, T. C., Optimizing an array of antennas for cellular coverage from a high altitude platform, IEEE Trans. on Wireless Commun., 2, 3 (2003) 484-492.
43. Iskandar, S. ve Shimamoto, S., Urban site path loss prediction for mobile communications employing stratospheric platforms, The 8th International Symposium on Signal Processing and its Applications, 1-2 (2005) 267-270.
44. Oestges, C., A stochastic geometrical vector model of macro- and megacellular communication channels, IEEE Trans. Veh. Technol., 51, 6 (2002) 1352–1360.
45. Oestges, C. ve Vanhoenacker-Janvier, D., Coverage modeling of high altitude platforms communication systems, IEE Electron. Lett., 37, 2 (2001) 119–121.
46. Tirkas, P. A., Wangsvick, C. M. ve Balanis, C. A., Propagation model for building blockage in satellite mobile communication systems, IEEE Trans. Antennas Propag., 46, 7 (1998) 991–997.
47. Blazevic, Z., Zanchi, I. ve Marinovic, I., Deterministic wideband modeling of satellite propagation channel with buildings blockage, IEEE Trans. Veh. Technol., 54, 4 (2006) 1225–1234.
48. Oestges, C. ve Vanhoenacker-Janvier, D., Propagation modeling and system strategies in mobile-satellite urban scenarios, IEEE Trans. Veh. Technol., 50, 2 (2001) 422–429.
49. Sofos, T. ve Constantinou, P., Propagation model for vegetation effects in terrestrial and satellite mobile systems, IEEE Trans. Antennas Propag., 52, 7 (2004) 1917–1920.
50. Saunders, S. R. ve Argo-Zavala, A., Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems, Second Edition, John Wiley & Sons Ltd., New York, NY, USA, 2007.
51. Holis, J. ve Pechac, P., Elevation Dependent Shadowing Model for Mobile Communications via High Altitude Platforms in Built-Up Areas, IEEE T. Antenn. Propag., 56, 4 (2008) 1078-1084.

52. Vazquez-Castro, M., Perez-Fontan F. ve Arbesser-Rastburg, B., Channel modeling for satellite and HAPS system design, Wireless Commun. Mobile Comput., 2, 3 (2002) 285–300.
53. Oestges, C., Saunders, S. R. ve Vanhoenacker-Janvier, D., Physical statistical modeling of the land mobile satellite channel based on ray tracing, Proc. Inst. Elect.Eng. Microw. Antennas Propag., 146, (1999) 45–49.
54. Iskandar, S. ve Shimamoto, S., Channel characterization and performance evaluation of mobile communication employing stratospheric platforms, IEICE Trans. Commun., E89-B, 3 (2006).
55. Lähdekorpi, P., Isotalo, T., Kylä-Liuhala, K. ve Lempiäinen, J., Replacing Terrestrial UMTS Coverage by HAP in Disaster Scenarios, COST297 – High Altitude Platforms for Communications and Other Services Project, 2005.
56. ITU, Question 9/2, High Altitude Platform Stations: An Opportunity to Close the Information Gap, Report on ITU, Geneva, 1998.
57. Oestges, C. ve Vanhoenacker-Janvier, D., Coverage analysis of a stratospheric communication System, IET Proceedings on Microwave, Antennas and Propagation, 148, 1 (2001) 45–49.
58. Lindstrand, ESA-HALE airship research and development program, Proceedings of the second stratospheric platform systems workshop, 99–107, 2000.
59. Miura, R., Wireless system using high altitude platforms – R&D in Japan, USE-HAAS Workshop, Brussels, Belgium, July 2005.
60. ITU-D/2/049-E, Operational and technical characteristics for a terrestrial IMT-2000 system using high altitude platform stations (Technical information document), ITU, 1998.
61. Thornton, J. ve Grace, D., Effect of lateral displacement of a high-altitude platform on cellular interference and handover, IEEE Transactions on Wireless Communications, 4, 4 (2005) 1483–1490.
62. Bertran, E. ve Delgado-Penin, J. A., Effects of Packet and SBAS Measurements Rate on the Emergency Control of anUAV, Data Systems in Aerospace Conference (DASIA.02), Dublin, May 2002.
63. Cushman, R. ve Deronck, H., Progress of regenerative fuel cell technology in the United States of America, Proceedings of the second stratospheric platform systems workshop, 2000, 99–107.
64. Martin, J. N. ve Colella, N., Broadband wireless services from high altitude long operation (HALO) aircraft, SPIE International Symposium of Voice, Video, and Data Communications: Broadbanding for Multimedia Markets, November 1997, Dallas, TX, USA.

65. Gavan, J. ve Haridim, M., Stratospheric quasi-stationary platforms: can they replace communication satellite systems?, Telecommunications and Space Journal, 4 (1997) 275–282.
66. Karapantazis, S. ve Pavlidou, F. N., The role of high altitude platforms in beyond 3G Networks, IEEE Wireless Communications, (2005) 33–41.
67. Tozer, T. C., High altitude platforms for communications services, IEEE Vehicular Technology Society News, (2003) 4–9.
68. Barts, R. M. ve Stutzman, W. L., Modeling and simulation of mobile satellite propagation, IEEE Trans. Antennas Propag., 40, 4 (1992) 375–382.
69. ITU-R P.1410-2, Propagation data and prediction methods required for design of terrestrial broadband millimetric radio access system operating in a frequency range about 20–50 GHz, ITU, 2005.
70. Cheon, C., Liang, G. ve Bertoni, H. L., Simulating radio channel statistics for different building environments, IEEE J. Sel. Areas Commun., 19, 11 (2001) 2191–2200.
71. Kouyoumjian, R. G. ve Pathak, P. H., A uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface, Proc. IEEE, 62 (1974) 1448–1461.
72. Luebbers, R. J., Finite conductivity uniform GTD versus knife edge diffraction in prediction of propagation path loss, IEEE Trans. Antennas Propag., 32, 1 (1984).

ÖZGEÇMİŞ

Zeynep HASIRCI, 30.06.1985 tarihinde Samsun'da doğmuştur. İlköğretim öğrenimini Şehit Ümit Semerci İlkokulu'nda, orta öğrenimini Atatürk İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimini ise 19 Mayıs Anadolu Lisesi'nde 2002 yılında tamamlamıştır. 2003 – 2004 eğitim öğretim yılında, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü kazanmıştır. 2008 yılında bu bölümden Mühendislik Fakültesi ve bölüm birincilik derecesi ile mezun olmuştur. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. Temmuz 2008-Temmuz 2009 tarihleri arasında 1 yıl süreyle Turkcell İletişim Hizmetleri A.Ş.'de Samsun Bölge, Radyo Şebeke, Hücre Planlama ve Optimizasyon biriminde çalışmıştır. Kasım 2009'da Elektrik-Elektronik Mühendisliği Elektronik Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak göreve başlamıştır.

Halen bu görevine devam etmektedir. İyi derecede İngilizce bilmektedir. Çalışma alanları iletişim sistemleri, mobil ve uydu iletişimi ve yayılım modelleme üzerinedir.