

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KU BAND BEACON SİNYALİNİN HAVA ŞARTLARINA GÖRE
İNCELENMESİ (YAĞMUR ETKİSİ)**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yasin Burak Kaya

Elektrik - Elektronik Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

EYLÜL 2016

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KU BAND BEACON SİNYALİNİN HAVA ŞARTLARINA GÖRE
İNCELENMESİ (YAĞMUR ETKİSİ)**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yasin Burak Kaya

1303620025

Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı

Elektrik - Elektronik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hassan SHARABATY

Türk Hava Kurumu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1303620025 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, Yasin Burak Kaya ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı KU BAND BEACON SİNYALİNİN HAVA ŞARTLARINA GÖRE İNCELENMESİ (YAĞMUR ETKİSİ) başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Hassan SHARABATY
Türk Hava Kurumu Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Tayfun KÜÇÜKYILMAZ
TED Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Javad RAHEBI
Türk Hava Kurumu Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 06.09.2016

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum, “Ku Band Beacon Sinyalinin Hava Şartlarına Göre İncelenmesi (Yağmur Etkisi)” adlı çalışmamın, tarafımdan akademik etik ve kurallara aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım kaynakların kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

01.09.2016

Yasin Burak KAYA



TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışma sürecinde beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan desteğini ve yardımını hiç bir zaman esirgemeyen tez danışmanım değerli Yrd. Doç. Dr. Hassan SHARABATY'e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan, maddi manevi desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen aileme teşekkürlerimi, ayrıca bu dönem boyunca bana yardımcı olan, yardımlarını esirgemeyen iş arkadaşlarıma teşekkürlerimi, sevgi ve saygımı sunarım.

Eylül 2016

Yasin Burak KAYA

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
TABLO LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
BİRİNCİ BÖLÜM.....	1
1. GİRİŞ.....	1
İKİNCİ BÖLÜM.....	2
2. UYDU HABERLEŞME SİSTEMLERİ.....	2
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....	6
3. UYDU HABERLEŞME SİSTEMİ ANTENLERİ.....	6
3.1 Anten Tipleri ve Yapısı.....	7
3.2 Horn Anten ve Yapısı	9
3.3 Anten Geometrisi	10
3.4 Anten Performansı	11
3.4.1 Anten Kazancı.....	11
3.4.2 Anten Verimi.....	11
3.4.3 Beamwidth	11
3.5 Polarizasyon	13
3.6 Anten Feed Sistemi	14
3.7 Isıtıcılar	15
3.7.1 Buz Çözme.....	15
3.7.2 Yağmur Sensörü.....	16
3.7.3 Anten Kontrol Birimi	16
3.7.4 Düşük Ses Amplifikatörü (LNA).....	16
3.7.5 Dalga Kılavuzları	17
3.7.6 Mesafe Dalga Tüpü.....	18
3.8 Anten Takip Faz Ayarı (Phasing)	18
3.8.1 Anten Model Ayarı	19
3.8.2 Düşük Gürültü Blok çevirici (LNB)	19
3.8.3 Ortogonal Modu Dönüştürücü (OMT).....	19
3.8.4 Blok Dönüştürücüsü (BUC).....	20
3.8.5 Uydu Mesafe Ölçümü	20
3.9 OMNI Anten	21
3.9.1 TCR Sistemi Ekipmanları Sinyal Alış ve Gönderme.....	21
3.9.2 Uydu Takip Sinyali (Beacon)	22
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM.....	24
4. UYDU HABERLEŞME SİSTEMİ BAĞLANTI BÜTÇESİ.....	24
4.1 Frekanslar.....	24

4.1.1	Ku-Ka-C Band Özellikleri	25
4.1.2	Uyduya Çıkış ve Uydudan Geliş Frekansları.....	25
4.1.3	Uyduya Çıkış Frekansı.....	26
4.2	Uydu Haberleşme Sistemindeki Yol Hesaplamaları.....	26
4.2.1	Anten Çıkış Gücünün Hesaplanması (EIRP).....	26
4.2.2	Serbest Uzay Kaybı.....	27
4.2.3	Anten Kazancı.....	27
4.2.4	Anten Gürültü Değeri.....	27
4.2.5	Termal Gürültü Gücü	28
4.2.6	Uydudan Yer istasyonlarına Gelen Antenin Kazancı	28
BEŞİNCİ BÖLÜM		30
5. KU BAND BEACON SİNYALİNİN YAĞMUR ZAYIFLAMA		
ETKİSİ VE HESAPLANMASI		30
5.1	Yağmur Kaybının ITU-R 838 Modeline Göre Hesaplanması	31
5.2	Noktasal Yağış Alanından Uzun dönemli Yağış Alanının	
	Hesaplanması	34
5.3	ITU-R Yağmur Oranı Bölgesel Kısmı	36
5.4	Türksat Ku bant sinyalinin Yağmur Kaybının Hesaplanması	38
ALTINCI BÖLÜM		43
6. TÜRKİYE YAĞIŞ HARİTASININ ELDE EDİLMESİ		43
6.1	Türkiye Yağış Analizi	44
6.2	ITU-R P.837-6, Annex 3 göre Türkiye Yağmur Oranının	
	Hesaplanması	47
YEDİNCİ BÖLÜM		54
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER		54
KAYNAKLAR		56
EKLER.....		58
Ek-A:	Yağış Oranı Haritaları	59
Ek-B:	Frekansları Belli Olan Katsayıların Nümerik Değerleri	62
Ek-C:	Yağmur Zayıflamasının Matlab Kodu	66
Ek-D:	Nomogram.....	68
Ek-E:	R0.01 %0.01 yağmur oranı	69
ÖZGEÇMİŞ.....		70

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 : Uydu frekans listesi.....	24
Tablo 4.2 : Türksat Ku band beacon sinyalinin yol bütçesi.	29
Tablo 5.1 : kH katsayı değeri	31
Tablo 5.2 : kV katsayı değeri	31
Tablo 5.3 : αH katsayı değeri	32
Tablo 5.4 : αV Katsayı Değeri.....	32
Tablo 5.5 : Yağmur yüksekliği hesaplama tablosu.	35
Tablo 5.6 : Frekans için yatay ve dikey polarizasyondaki nümerik değerleri.....	36
Tablo 5.7 : Yağış oranı yüzdesi bölgesel tanımı	37
Tablo 5.8 : İç Anadolu Bölgesi yıllık yağış miktarı	38
Tablo 5.9 : ITU-R değerleri ile Türksat değerlerinin karşılaştırılması.....	40
Tablo 6.1 : Türkiye'nin ölçülmüş en şiddetli yağış değerleri.....	46
Tablo 6.2 : Türkiye'nin ölçülmüş yağış oranları değerleri.....	52

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	: Haberleşme uydusu.	2
Şekil 2.2	: Uydu yörünge düzlemi ile ekvator düzlemi arasındaki açı.....	3
Şekil 2.3	: Yere durağan yörünge sistemindeki uyduların kapsama durumu	4
Şekil 2.4	: TÜRKSAT uydusunun yeryüzündeki ayak izi.	5
Şekil 3.1	: Reflektör anten çeşitleri (hepsi)	7
Şekil 3.2	: Reflektör anten çeşitleri (cassegrain)	7
Şekil 3.3	: Parabolik anten.	8
Şekil 3.4	: Ofset anten.	9
Şekil 3.5	: Horn anten yapısı	10
Şekil 3.6	: Geometrisi verilen parabolik anten kazancı	10
Şekil 3.7	: Anten ve çapları	12
Şekil 3.8	: Anten beamwidth.	12
Şekil 3.9	: Uydu polarizasyonları	13
Şekil 3.10	: Anten feed kısmı.	14
Şekil 3.11	: Anten feed sisteminin blok diyagramı.	15
Şekil 3.12	: Anten buz çözme ünitesi.	15
Şekil 3.13	: Yağmur sensörü.	16
Şekil 3.14	: Anten LNA sistemi.	17
Şekil 3.15	: Dalga kılavuzu ve dehydratör.	17
Şekil 3.16	: Anten sistemindeki mesafe dalga tüpü.	18
Şekil 3.17	: Uydu mesafe ölçümü.	21
Şekil 3.18	: OMNI anten ve kapsama alanı.	21
Şekil 3.19	: Dijital demodülasyon blok diyagramı.	22
Şekil 3.20	: Sinyal alışı ve iletim blok diyagramı.	22
Şekil 5.1	: kH ve αH yatay polarizasyondaki katsayı değerleri	33
Şekil 5.2	: kV ve αV dikey polarizasyondaki katsayı değerleri	34
Şekil 5.3	: Yağmur zayıflaması ve eğimli yol mesafesinin geometrik gösterilmesi.	35
Şekil 5.4	: Yağmur oranı bölgesel bölümü	37
Şekil 5.5	: Gölbaşı yağış miktarı oranı (mm/h /2012-2014).....	38
Şekil 5.6	: Yağmur kaybının MATLAB simülasyonunda gösterilmesi.	39
Şekil 5.7	: TÜRKSAT Ku bant beacon sinyalinin (8 Haziran 2012-8 Eylül 2014) tarihleri arasındaki grafiksel gösterimi.....	39
Şekil 5.8	: ITU-R değerleri ile TÜRKSAT değerlerinin karşılaştırılmasının grafiksel gösterilmesi.....	40
Şekil 5.9	: TÜRKSAT Ku bant beacon sinyalinin anten değişimi dönemlerinin grafiksel gösterimi	41
Şekil 6.1	: Türkiye iklim bölgeleri	43
Şekil 6.2	: Küresel ve Türkiye yağış sapması.....	44
Şekil 6.3	: Türkiye yağış ortalaması	44

Şekil 6.4	: Türkiye yağış ortalaması alansal dağılımı.....	45
Şekil 6.5	: Köppen iklim sınıflandırması Türkiye haritası	47
Şekil 6.6	: Matlab simülasyonunun grafiksel arayüzü.....	48
Şekil 6.7	: Matlab simülasyonunun giriş değerleri örneği.....	48
Şekil 6.8	: ADANA şehrinin yağış oranı Matlab simülasyonu.	49
Şekil 6.9	: ADANA şehrinin giriş değeri örneği.	49
Şekil 6.10	: ADANA şehrinin yağmur kaybının Matlab simülasyonu.....	50
Şekil 6.11	: HATAY şehrinin yağış oranı Matlab simülasyonu.....	50
Şekil 6.12	: RİZE şehrinin yağış oranı Matlab simülasyonu.	51
Şekil 6.13	: RİZE şehrinin yağmur kaybının Matlab simülasyonu.	52



KISALTMALAR

TMC	: Tracking mode kuplör [15]
OMJ	: Othomode junction (Ortamod bağlantı noktası) [15]
POL	: Polarizasyon [16]
OMT	: Orthogonal Mode Transducer (Ortogonal modu dönüştürücüsü [15]
TR	: Tracking alıcı [16]
LHP	: Left Hand Polarization (Sol-el Polarizasyon) [16]
RHC	: Right Hand Polarization (Sağ-el Polarizasyon) [16]
LNA	: Low Noise Amplifier (Düşük ses amplifikatörü) [18]
TWTA	: Traveling Wave Tube (Mesafe dalga tüpü) [19]
LNB	: Low Noise Blockconverter (Düşük gürültü blok çevirici) [21]
BUC	: Block Upconverter (Blok dönüştürücü) [22]
BSS	: Broadband Satellite Service (Geniş bant uydu servisi) [28]
FSS	: Fixed Service Satellite (Sabit uydu servisi) [28]
HPA	: High Power Amplifier (Yüksek güçlü amplifikör)
EIRP	: Effective Isotropic Radiated Power (Çıkış gücü) [29]
G/T	: Gain to Temperature (Kazanç/Gürültü sıcaklığı) [31]
BER	: Bit-Error-Rate (Bit hata oranı) [32]
ITU-R	: International Telecommunication Union-Radiocommunication Sector (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği) [35]

ÖZET

KU BAND BEACON SİNYALİNİN HAVA ŞARTLARINA GÖRE İNCELENMESİ (YAĞMUR ETKİSİ)

KAYA, Yasin Burak

Yüksek Lisans, Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hassan SHARABATY

Eylül 2016, 71 sayfa

Uydu beacon sinyali modüle edilmemiş, sabit bir frekansta belirli bir güçte gönderilen sinyaldir. Uydu operatörleri kendilerinin belirlediği frekans bandını beacon sinyali olarak belirler. Beacon sinyalleri uydu anten ayarının rahat yapılabilmesi, mesafe ölçümü, yağmur kayıp miktarı, çıkış gücünün hesaplanması için kullanılır. Uydu operatörleri takip sinyalini seçerken genellikle Ku bant frekansı kullanılır. Bunun sebebi Ku bandın Ka bandına göre yağmur kaybı daha azdır. Bu tezde Ku bant beacon sinyalinin yağmur kayıpları üzerinde çalışılmıştır. ITU-838 modeli referans alınarak TÜRKSAT uydusu için sinyalin yağmurdan ne kadar etkilendiği iki yıllık gözlemlerle hesaplanarak karşılaştırılmış, bu ölçümlerde hem teorik formüller hem de veriler kullanılmıştır. TÜRKSAT yer istasyonlarındaki iki yıllık veriler kullanılırken matlab simülasyonundan yararlanılmıştır. Bu sayede ITU-838 modeliyle karşılaştırılırken farklar gözlemlenmiştir. Türkiye'nin yağış haritası çıkartılmıştır. Diğer şehirlerdeki sistem performansının hesabı Ankara, Gölbaşı bölgesinde kullanılan antenin varsayımı ile yapılmıştır. Bu gözlemler sonucunda nasıl bir çözüm üretileceği sunulmuş ayrıca en uygun yedek yer istasyon için yer belirtilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yağmur zayıflaması, Ku bant beacon sinyali, ITU-838

ABSTRACT

KU BAND BEACON SIGNAL INVESTIGATION BY WEATHER (RAIN EFFECT)

KAYA, Yasin Burak

Master Thesis, Department of Electrical-Electronic

Thesis supervisor: Asst. Prof. Hassan SHARABATY

September 2016, 71 pages

Satellite beacon is a signal that could not be modulated and sent in constant frequency, and in specific power. Designating his own frequency bands, satellite operators specify it as beacon signal. Beacon signals are used for adjusting satellite antenna settings easily, distant measurement, amount of rain fade and calculating the output power. While satellite operators choose beacon signal, generally Ku band frequency is used. The reason for this, Ku band's rain fade is less than Ka band. In this thesis, Ku band beacon signals' rain fade is studied. Taking as a reference ITU – 838 model, it is compared by calculating that how signals affected from rain in two-year observations for Türksat satellite and in this measurements both theoretical formula and data are used. While using two-year data in Türksat earth stations, matlab simulations are used. In this way some differences were observed while comparing ITU- 838 model. Turkey's rainfall map was issued. Calculation of system performance at other cities is done by assumption of antenna which is used at Ankara, Gölbaşı region. As a result of these observations have provided a solution how to produced results also indicated the most appropriate place for backup ground station.

Keywords: Rain attenuation, Ku band beacon signal, ITU-838

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Uydu haberleşme sistemlerinde, diğer haberleşme sistemlerinde olduğu gibi kayıplar söz konusudur. Haberleşme sistemlerinde en önemli kayıplar atmosferik kayıplardır. Bunlar yağmur, kar, yoğun bulutlardır. Yağmur zayıflaması, 10 GHz ve üzeri frekanslarda en önemli kayıp olarak gösterilmektedir. Yağmur oranı ve kümülatif yağış miktarı bölgeden, bölgeye farklılık göstermektedir. Kapsamlı meteorolojik bilgiler olmadan yol kayıplarının hesaplanması, tahmin yapılması zordur. ITU-R önerisinde dünya yağmur yağış oranlarına göre bölgelere ayrılmıştır. Fakat yağmur yağış oranları ülkelerin coğrafi konumu ve iklim koşullarından kaynaklı farklılık göstermektedir. Ku bant frekansını kullanan uydu operatörleri bölgelerindeki yağmur zayıflaması modelini incelerken son birkaç yılın yağmur yağış veri tabanlarını incelemişlerdir. TÜRKSAT Ku bant beacon sinyalinin hava şartlarına göre incelenmesi yapılırken uzay kaybı, kablo kayıpları ve atmosferik kayıplar hepsi toplanarak toplam verimlilik ve çalışma yüzdesi göz önüne alınmıştır. 8 Haziran 2012 ile 8 Eylül 2014 arasındaki Türkiye, Ankara, Gölbaşı bölgesindeki TÜRKSAT Ku bant beacon sinyali incelenmiştir. Ayrıca bu bilgiler kullanılarak Türkiye'nin yağış haritası elde edilmiştir. Yağış haritası bize yer istasyonunda kullanılan beacon antenin diğer şehirlerde kurulduğu zaman ki performansı hakkında bilgi vermektedir. Bu tezde şu şekilde organize edilmiştir. Bölüm 2' de uydu haberleşme sistemleri yapısı ve yere durağan yörünge hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm 3'te uydu haberleşme sisteminde kullanılan anten yapısı ve antenin özellikleri anlatılmıştır. Bölüm 4'te sistem bağlantı bütçesi sistem kayıpları kazançları elde edilmiştir. Bölüm 5'te yağmur kayıpları ITU-R 838 modeli ile TÜRKSAT verileri karşılaştırılarak sunulmuştur. Bölüm 6'da Türkiye'nin yağış haritasının elde edilmesi, Bölüm 7'de sonuç ve öneriler sunularak nasıl bir çözüm üretileceği verilmiştir.

İKİNCİ BÖLÜM

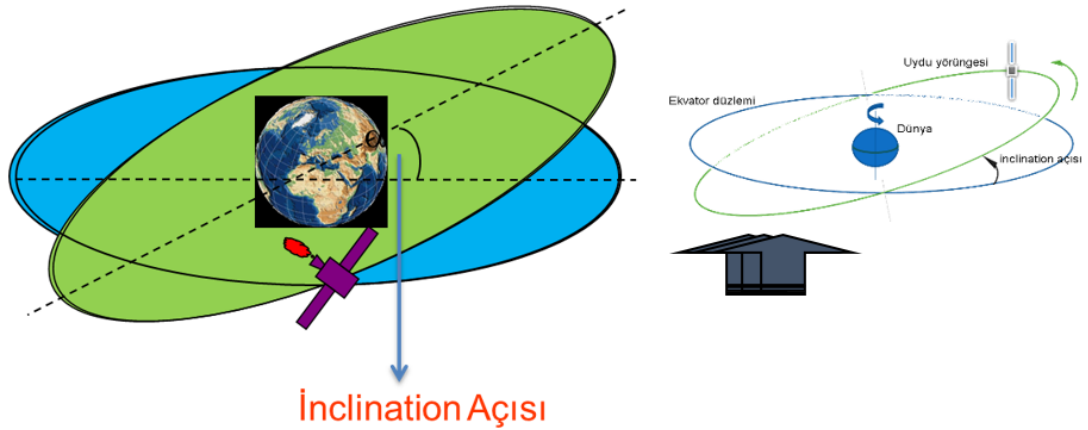
UYDU HABERLEŞME SİSTEMLERİ

Uydu haberleşme sistemleri ilk olarak 1945'te İngiliz yazar A. Clarke tarafından öne sürülmüştür. Uydu haberleşme sistem çalışmalarının ilk sonuçları 1957 yılında ortaya çıkmıştır. Sputnik uydusu ile başlayan bu sistem daha sonra sabit yörünge uyduları ile yerini almıştır. Uydu haberleşmesi karasal olarak yayın olmayan bölgelerde, kıtalar arası haberleşmede sivil haberleşme olan radyo ve televizyon yayıncılığında askeri amaçlarda kullanılmaya başlanmıştır. Kablosuz haberleşme sistemleri fiziksel olarak uygun iki noktanın birbiriyle iletişimde olmasıdır. Uydu haberleşmesi bu iki noktayı gören üçüncü bir nokta ile iletişimde olmasıdır. Bu üçüncü nokta dünyadan belirli bir yükseklikte dünya dönüş hızı ile aynıdır. Fiziksel olarak birbirini gören iki noktanın iletişimde dağlar, binalar, iletişimin kopmasına neden olmaktadır. Bunun sebebi yeryüzünün dairesel oluşundan dolayıdır [9].

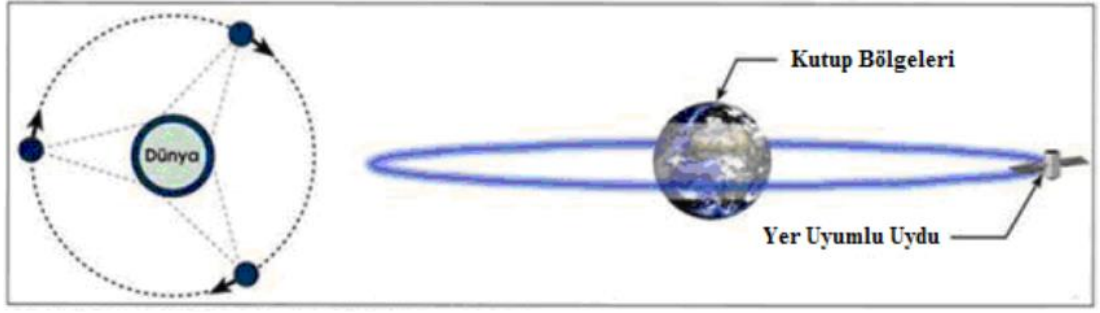


Şekil 2.1: Haberleşme uydusu.

Uydu haberleşme sistemleri bir veya birden fazla link içerir. Bu uyduya gönderilen sinyal, verici yer istasyonu ve uydudan gelen sinyalleri alan alıcı yer istasyonu, uygun frekans ve güce sahip bir uydu ile oluşmaktadır. Mikrodalga sinyaller atmosferik kayıplardan dolayı zayıflayarak yer istasyonuna ulaşır çünkü uydu 37000 km mesafe uzaklıktadır. Yer istasyonundan alınan sinyal zayıflamış bir şekilde alındığı için yükseltilerek sisteme aktarılır. Yeterli güçte sinyalimizi almamız için parabolik geniş açılı antenler kullanılmalıdır. Antenlere gelen bu mikrodalga sinyaller gürültü girişimi oluşmaması için düşük gürültü ve düşük yan lobe şeklinde olmalıdır. Düşük gürültü yükseltici sinyali kuvvetlendirerek sisteme aktarmaktadır. Yere durağan yörünge uyduları 37000 km mesafede ekvator düzleminde olan uydulardır. Haberleşme ve yayıncılık servisi veren uyduların kullandığı yörünge. Çünkü iletişim süresi devamlıdır. Dezavantaj olarak mesafeden dolayı yüksek gecikmeye sahip olması, kutup bölgelerine ulaşamamasıdır [9]. Uydunun boylamda kontrolü doğu-batı manevraları ile sağlanır. Uydunun enlemde kontrolü kuzey-güney manevraları ile sağlanır. Salınımlı yörüngede kontrol edilmeyen bileşen Inclination açısıdır. Inclination (derece) ekvator ve yörünge düzlemi arasındaki açıdır.



Şekil 2.2: Uydu yörünge düzlemi ile ekvator düzlemi arasındaki açı [4].



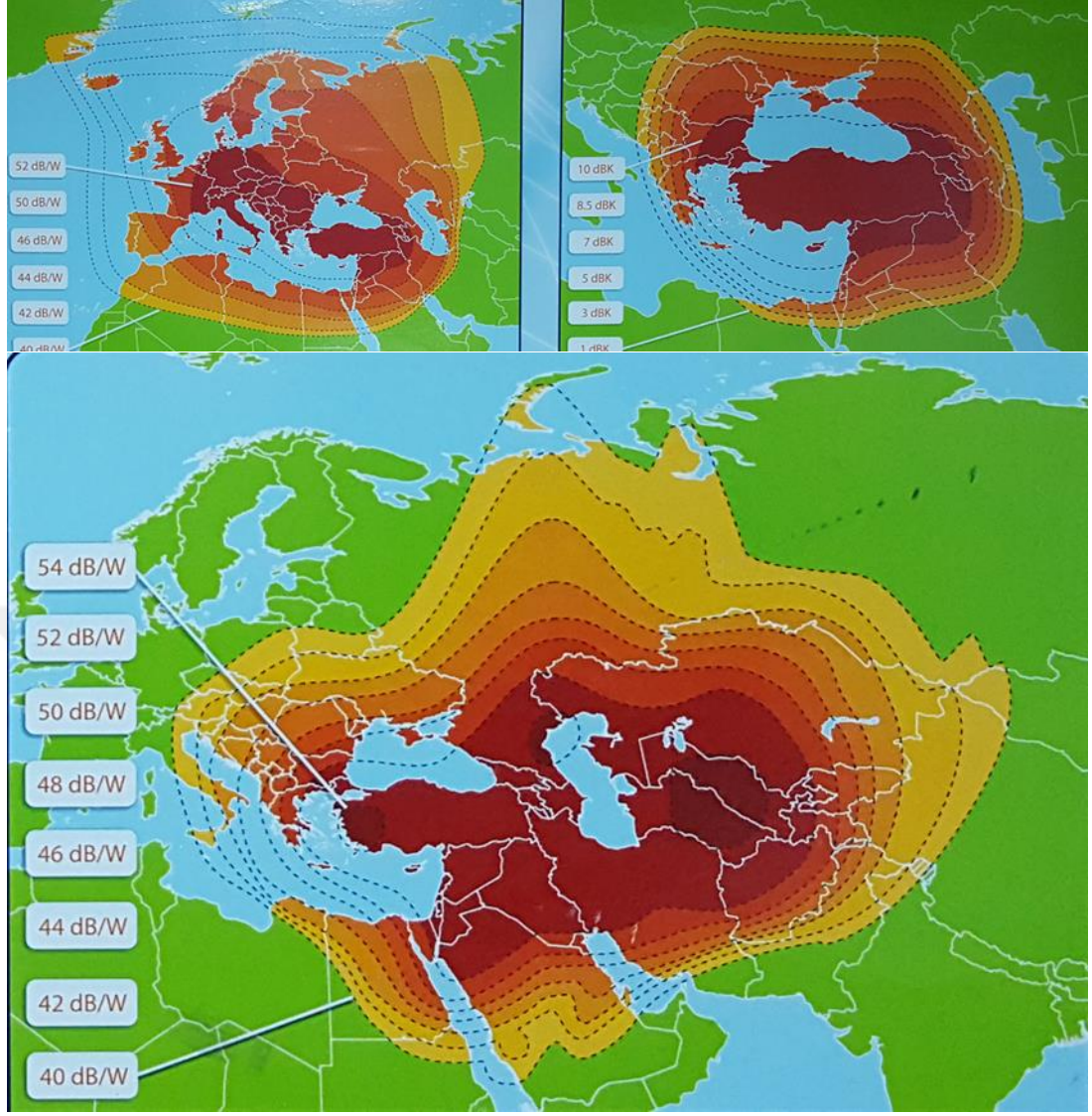
Şekil 2.3: Yere durağan yörünge sistemindeki uyduların kapsama durumu [9].

Perigee: Bir uydunun eliptik bir yörünge içerisinde dünyaya en yakın olan noktasına perigee denir. Perigee noktasında bir uydu, yörünge üzerinde herhangi bir başka noktaya göre daha hızlı hareket eder. Perigee:198 km'dir.

Apogee: Bir uydunun eliptik bir yörünge içerisinde dünyadan en uzak noktasına apogee denir. Apogee noktasında bir uydu, yörünge üzerindeki diğer noktalarına göre daha yavaş hareket eder. Apogee 35727 km'dir.

Yere durağan yörünge uydularının boylamca kontrol penceresi $E/W \pm 0,1$ derece 80km.Bunun dışında olması sabit anten kullanıcılarının yayınlarında kesintiler meydana getirir. Enlem kontrol penceresi N/S: $\pm 0.05^\circ$ 'dir. Ayrıca yere durağan yörünge üzerindeki bir uydunun yörünge üzerindeki hızı yaklaşık 3074,6 m/s'dir.

Yere durağan yörünge uyduları kutup bölgelerine kapsamaz ama buradaki nüfus yok denecek kadar azdır. Uydudan gelen EIRP sinyal gücünün yeryüzüyle yaptığı teğet açısı uydunun ayak izi denir. Bu şekilde iki uçta uydu sinyalinin en güçlü olduğu alan tespit edilir. Ayak izinin dışına çıkıldıkça uydu sinyali zayıflar ve anten çapı artar. Uydu ayak izi hesaplanırken uydu ile yer istasyonu arasındaki mesafe uydudan çıkan sinyal gücüne bağlıdır. Bu hesaplamalar yapılırken vektörel işlemler kullanılır [9].



Şekil 2.4: TÜRSAT uydusunun yeryüzündeki ayak izi.

Uydu tutulması yılın belirli döneminde güneşin uydu ile aynı hizaya gelmesiyle gerçekleşen durumdur. 21 Mart - 23 Eylül ekinos döneminde en fazla olduğu zamandır. En fazla olduğu süre 72 dakika sürmektedir ve bu sürede uydu enerji için bataryalardan yararlanır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

UYDU HABERLEŞME SİSTEMİ ANTENLERİ

Elektromanyetik dalgalarla havadan haberleşmeyi sağlayan antenler frekanslarına göre değişik özelliklerde ve tiplerde oluşur. Uydu haberleşmesi mikrodalga frekanslar ile çalıştığı için mikrodalga antenler kullanılır. Mikrodalga antenler dört gruba ayrılır [4].

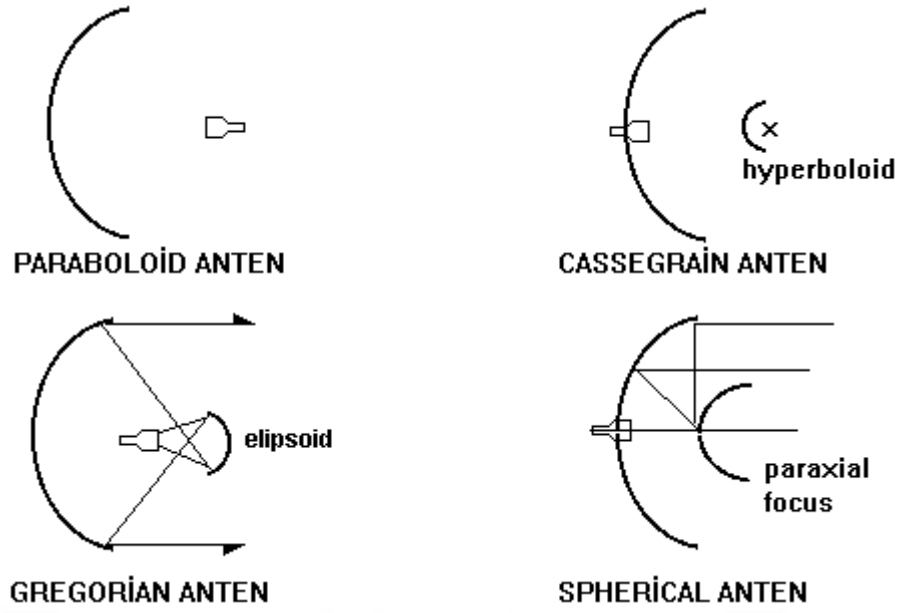
- 1- Aperture Antenler
- 2- Travelling Antenler
- 3- Slot Antenler
- 4- Array Antenler

Aperture antenlerde kendi için de üç gruba ayrılır.

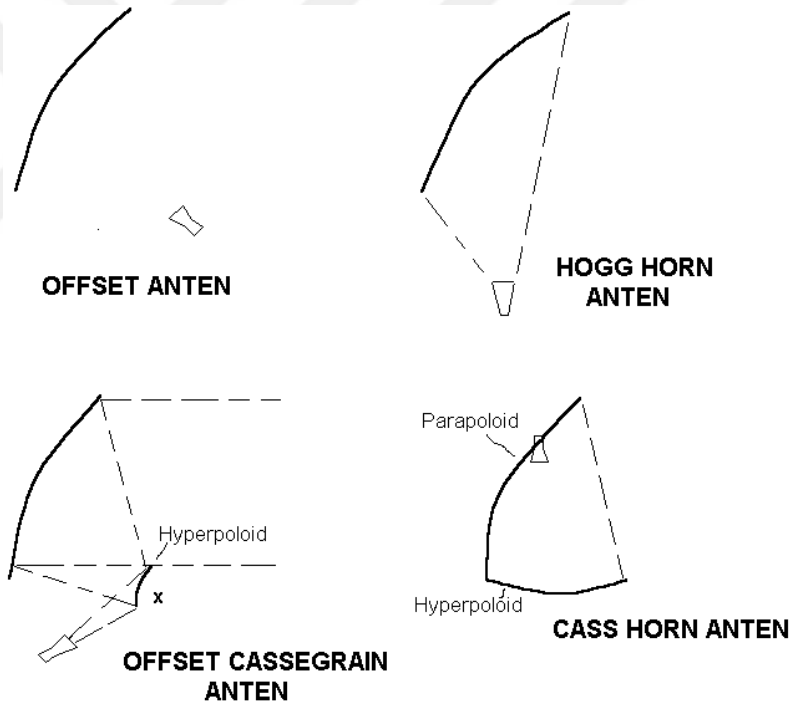
- 1- Horn Antenler
- 2- Reflektör Antenler
- 3- Lens Antenler

Yer istasyonlarında kullanılan antenler yapıları diğer sistemlerde kullanılan antenlerden oldukça farklıdır. Yer istasyonlarında uydudan gönderilen ve düzeyi çok düşük olan sinyal işaretlerini alabilmek için anten kazançları çok yüksek buna karşılık gürültü sıcaklıklarının çok düşük olması gerekir. Bu iki koşulu sağlayabilmek ise karmaşık bir tasarım gerektirmektedir. Böyle bir yer istasyonun anten maliyeti yaklaşık toplam maliyetin 1/3 'ü kadardır [4].

Uydu haberleşme sistemlerinde en çok kullanılan anten cassegrain tipi reflektör antenlerdir. Bu antenlerin avantajı LNB'nin ortam sıcaklığından uzaklaştırılarak daha uygun bir şekilde yerleştirilmesidir [4].



Şekil 3.1: Reflektör anten çeşitleri (hepsi) [4].



Şekil 3.2: Reflektör anten çeşitleri (cassegrain) [4].

3.1 Anten Tipleri ve Yapısı

Parabolik antenler (Merkez odaklı): Sinyalin bir bölümü LNB kablo ve kolları tarafından engellenmesidir. Bu gölgeleme 80-90 cm çapında olan ufak çaplı antenlerde %60-65 civarında bir randıman sağlanabilir. Bundan kaynaklı olarak ufak

aplı antenlerde genellikle parabol tipi uygulanmaz. Parabol tipi antenler 150 cm ile 700 cm arası çaplar için özellikle de hareketli antenler için kullanılmaktadır [4].



Şekil 3.3: Parabolik anten.

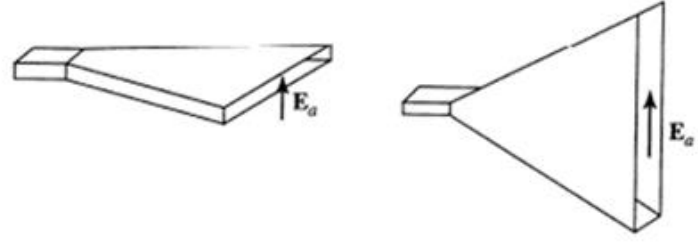
Offset antenler: Parabol geometrisi esas alınarak üretilmektedir ancak parabol kollarından birinin bir bölümü kullanılmaktadır. Ofset antenlerde verim %72'lere kadar yaklaŐabilir. Çanak yeryüzüne dikey vaziyette durduğu için su ve kar tutması asgari düzeydedir, LNB ve tutucu kollar uzaydan gelen sinyalleri glgelemezler [4].



Şekil 3.4: Ofset anten.

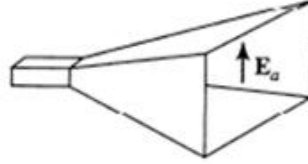
3.2 Horn Anten ve Yapısı

Mikrodalga bandında kullanılan anten çeşididir. Feed 'in ucunda bulunan ve sinyalin reflektörler aracılığıyla uyduya gönderilmeden önce en son çıktığı yerdir veya reflektörden sonra sinyalin ilk alındığı noktadır. Çeşitli uygulamalar için farklı türlerde geliştirilmiş horn antenler üretilmiştir. Yer istasyonu antenlerinin feed ünitelerinde kullanılmaktadır. Bu antenler iletim ve alışı için kullanılırlar. Horn sayesinde elektromanyetik dalganın düzgün ve verimli bir biçimde anten üzerinden geçişi sağlanır. Ayrıca bu antenler sayesinde uydular üzerinden gönderilen sinyallerin dünyanın istenilen bölgesine ve geniş coğrafyalara ulaşması sağlanmaktadır. Horn feed aracılığıyla LNA bağlıdır [4]. Geniş bant aralığında çalışır ve yüksek kazançlıdır. Horn antenler dalga kılavuz modundan elektromanyetik açık alan moduna kademeli olarak geçiş yapar ve bir birim olarak hareket eder ve antenden yayılan alan dalga kılavuzdaki yayılan alanın genişletilmiş halidir. Ku bant beacon elektromanyetik sinyaller uydudan horn anten ile gönderilir [1].



H-düzlemsel sektörel horn

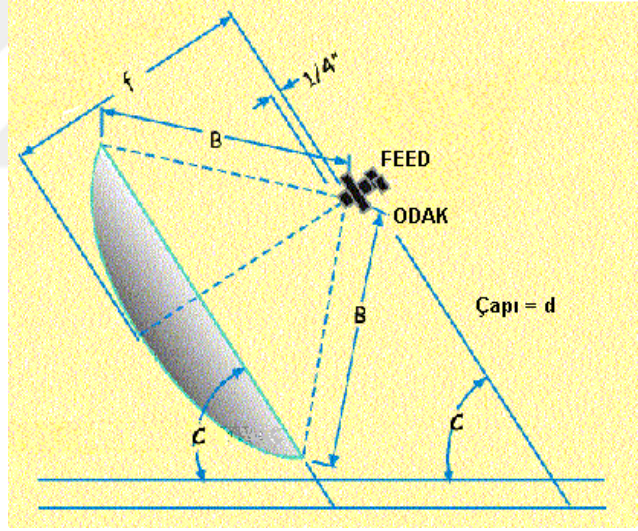
E-düzlemsel sektörel horn



Piramit şeklinde horn

Şekil 3.5: Horn anten yapısı [1].

3.3 Anten Geometrisi



Şekil 3.6: Geometrisi verilen parabolik anten kazancı [4].

$$G = 4\pi A_e / \lambda^2 \quad (3.1)$$

λ : Çalışılan frekanstaki dalga boyu $\lambda = c / f$

A_e : Antenin etkin alanı

$$A_e = \eta \pi r^2$$

r : Anten yarıçapı $r = d / 2$

η : Anten verimi denklemi yeniden düzenlenirse;

$$(3.2)$$

İdealde $\eta = 1$ 'dir. Fakat pratikte bu rakam 0,4 ile 0.84 arası değişmektedir[4]. Antenin odağına gelen mikrodalgaları toplamak için konulan horn bir noktadan kaynaklı olmayıp belirli bir alan kaplar. Bunun neticesinde antenin parabolid eksenine paralel olmayan elektromanyetik dalgaların bir bölümü horn içine gürültü olarak girer. Anten yüzeyi hiçbir zaman ideal düzlükte değildir. Bu nedenle parabolid eksene paralel gelen dalgaların tamamı yansıtılmaz, bir bölümü yansıtıcı levhalar tarafından emilir. Bütün bunlar kayıp demektir. Anten geometrisi hiçbir zaman ideal parabolid haline getirilemeyeceğinden bu da kazancın idealden sapması demektir [2].

3.4 Anten Performansı

Anten performansı üç ayrı kriter üzerinden değerlendirilebilir [4].

3.4.1 Anten Kazancı

Kazanç, bir antenin girişindeki gücü belirli bir yönde yayma yeteneğinin göstergesidir ve maksimum yayım yoğunluğu noktasında ölçülür. Alınan sinyalin çıkışa odaklanması veya yönlendirilmesidir [4].

$$G = \eta (\pi df/c)^2 \quad (3.3)$$

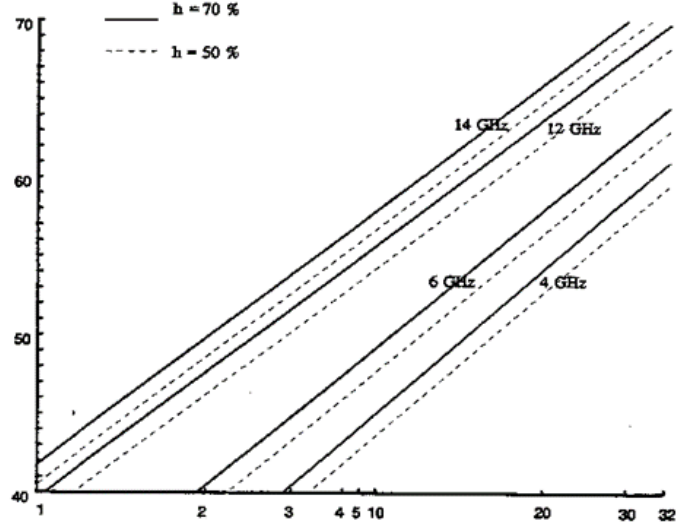
Frekans yükseldikçe ve anten çapı büyüdükçe anten kazancı daha yüksek olmaktadır [4].

3.4.2 Anten Verimi

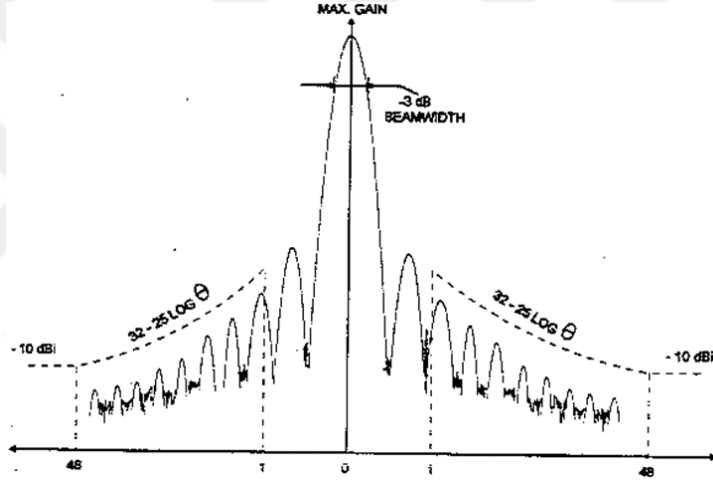
Temel olarak η parametresini etkileyen faktörlerdir [4]

3.4.3 Beamwidth

Anten performansının asıl göstergesi anten test patternidir. Beamwidth bir antenin uyduya ne kadar dar bir açıyla odaklanabileceğinin göstergesidir. Antenin en güçlü olduğu açısal aralıktır. Anten çapı büyüdüğünde, frekans ise yükseldiğine beamwidth daralır [4].



Şekil 3.7: Anten ve çapları [4].



Şekil 3.8: Anten beamwidth [4].

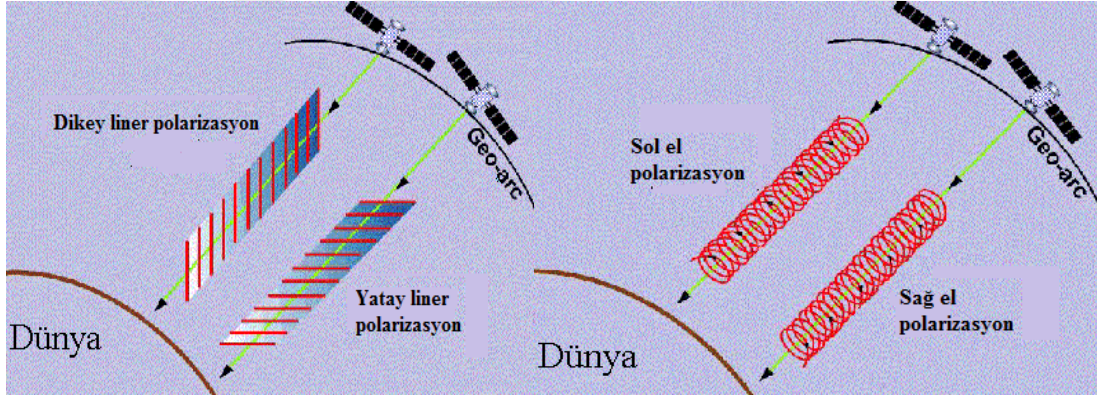
Yere durağan yörünge uyduları 1.5-2 derecelik aralıklarla 37000 km uzaklığa yerleştirilmiştir. Bundan dolayı yeryüzündeki çok düşük bir açı aralığı, aynı anda iki veya daha fazla uydunun bir antenin görüş alanına girmesine neden olabilir. Bu bakımdan uyduya çıkış yapan antenlerde beamwidth'in dar olmasının çok önemi vardır. Beamwidth etkileyen faktörler [4].

1. Anten çapı
2. Anten geometrisi
3. Frekans

$$\theta_{1/2} = k\lambda/d = kc/fd \quad (3.4)$$

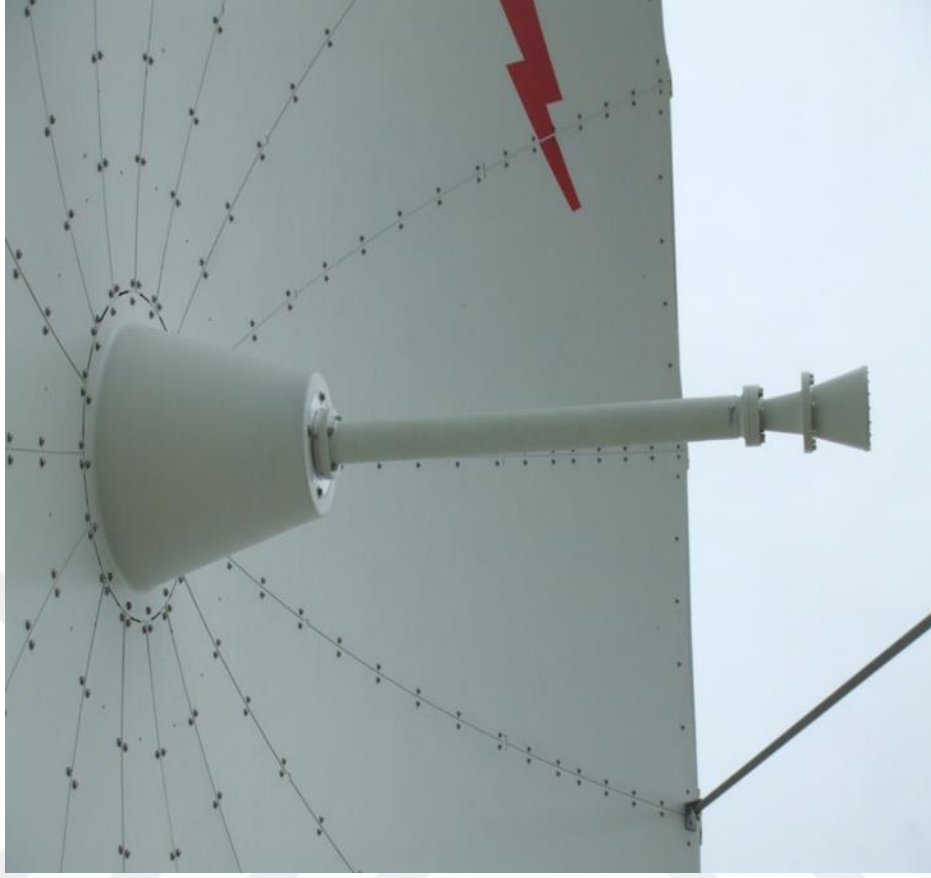
3.5 Polarizasyon

Uydu haberleşmesinde frekanslar GHz'ler seviyesinde olduğundan dolayı elektromanyetik dalgaların düzlemsel dalgalar halinde yayıldığını düşünülebilir. Sınırsız ortamda düzlemsel dalgaların polarizasyonu, basit ortama da elektrik alanın yayılım yönüne dik olarak; doğrusal, dairesel ve eliptik polarizasyonlu olarak tanımlanabilir. Elektrik alan bahsedilen düzlemde bir doğru boyunca değişiyorsa doğrusal, dairesel bir yörünge çiziyorsa dairesel, eliptik bir yörünge çiziyorsa eliptik polarizasyonlu denilmektedir. Uydu haberleşme sistemlerinde lineer veya dairesel polarizasyonlu antenler kullanılmaktadır. Uydu antenleri işaretlerini bir kısmı için yatay diğer kısmı için düşey olarak polarize edilmektedir. Polarizasyon denilen bu yöntem uydunun bant genişliğini iki kat artırma olanak sağlamaktadır. Lineer çapraz polarizasyon düzenlemesiyle transponderlerin yarısı yeryüzüne gönderdiği huzmeleri düşey polarize eder, diğer yarısı ise yatay polarize ederler. Her iki frekanstaki yayınlar iç içe geçmesine rağmen bu düzenleme sayesinde 90 derece faz farkına sahiptirler ve bu yüzden birbirine karışmazlar [4].



Şekil 3.9: Uydu polarizasyonları [4].

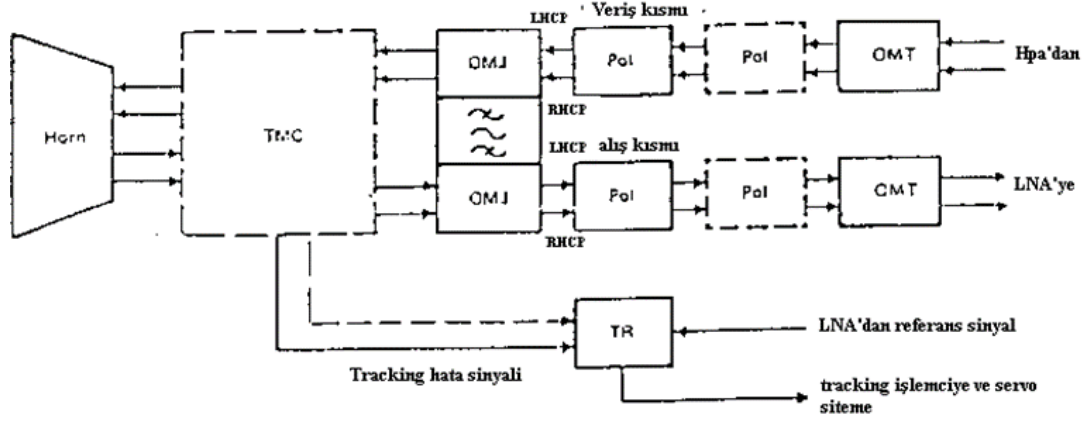
3.6 Anten Feed Sistemi



Şekil 3.10: Anten feed kısmı.

Bir antenin feed sistemi bir horn ve ona bağlı RF devrelerden oluşur. Bir anten feed sistemi;

1. Horn
2. Tracking mode kuplör (TMC) (sadece monopulse trackingde)
3. Orthomode bağlantı sistemi (OMJ)
4. Polarizasyon sistemi
5. Alıcı ve verici orthomode transducer'ler (OMTs)



Şekil 3.11: Anten feed sisteminin blok diyagramı.

3.7 Isıtıcılar

Isıtıcılar çok soğuk havalarda kar yağdığı zaman buz çözme ünitesinin sisteme verdiği karar ile çalışan reflektörün altında bulunan ünedir. Kar yağdığında veya soğuk havalarda antenin donmasını önleyerek sinyal seviyesinin düşmesini engeller.

3.7.1 Buz Çözme

Anten üzerindeki algılayıcısı sayesinde kar yağıp yağmadığını veya aşırı soğukları algılayan bir sensor içeren kontrol ünitesi sürekli kontrol altında tutulur. Sensorlar aktif hale geldiğinde ya da hava aşırı soğduğunda cihaz çalışarak ısıtıcıları devreye sokar ve anten üzerindeki birikmekte olan karı eriterek yansıma yüzeyini yani reflektörü tam performansta kullanılmasını sağlar. Manuel olarak da çalıştırılabilir [4].



Şekil 3.12: Anten buz çözme ünitesi.

3.7.2 Yağmur Sensörü

Yağmur yağdığı zaman feed penceresi önünde biriken su damlacıkları reflektörden gelen sinyal dalgalarını etkileyerek sinyal gücünü zayıflatmaktadır. Bu etkiyi ortadan kaldırmak için buz çözücü sensörün yanında bulunan yağmur sensörü aracılığı ile algılanan yağmur sistemi tetikleyerek üzerine konumlanmış kanal sayesinde buradaki su damlacıkları basınçlı hava ile uzaklaştırılmasını sağlamaktadır [4].



Şekil 3.13: Yağmur sensörü.

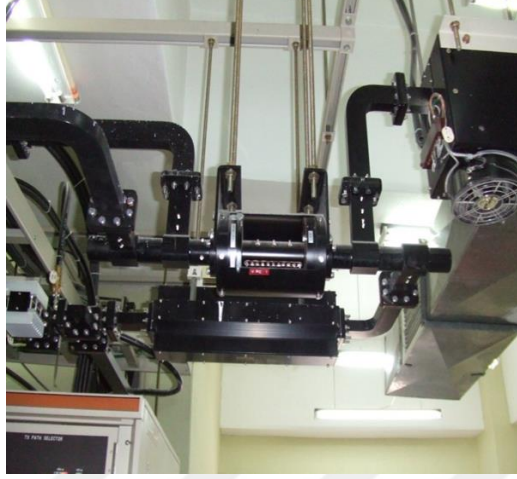
3.7.3 Anten Kontrol Birimi

Yere durağan yörünge uydularında Güneş ve Ayın çekim kuvvetlerinden Güneşin radyasyon basıncından Dünyanın yer ve çekim alanından dolayı belirli zamanlarda N-S ve E-W manevraları yapılarak bozulan yörünge düzeltilmesi gerekmektedir. Bu nedenlerden dolayı antenlerin, uydudan gelen sinyaldeki bozulmayı minimize edecek şekilde uyduyu takip etmesi gerekmektedir. Bu düzeltmeler anten kontrol biriminde yapılmaktadır [4].

3.7.4 Düşük Ses Amplifikatörü (LNA)

LNA uyduya gelen ve anten üzerinde odaklanan sinyaller üzerinde çeşitli gürültüler oluşmaktadır. LNA, antene gelen çok düşük güçteki sinyallerin yakalanıp güçlendirilmesini sağlayan bir ekipmandır. Anten üzerinde rasgele dolan elektronlar termal gürültü oluştururlar. LNA içerisindeki yarı iletkenler meydana gelen termal gürültüyü minimize eder ve düşük gürültü seviyesine sahip RF

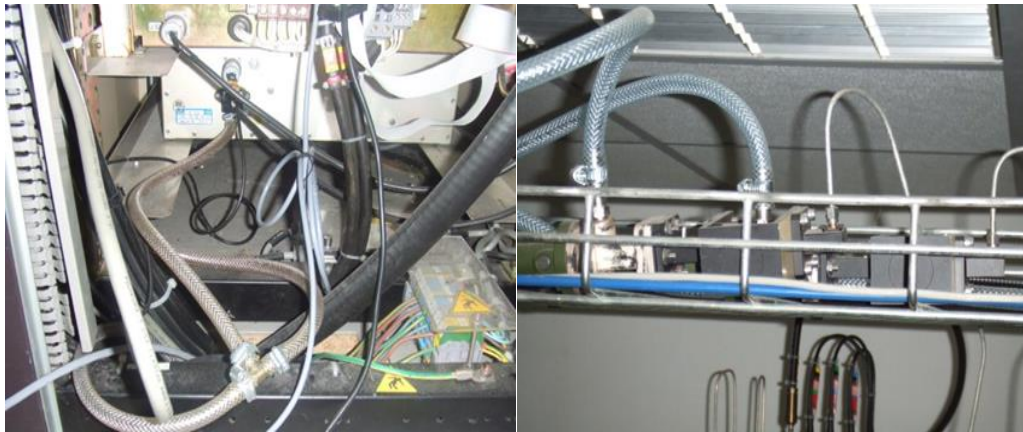
sinyalinin oluşmasına olanak sağlarlar. LNA'lar antenin feed ünitesinin çok yakınına yerleştirilerek meydana gelebilecek sinyal kayıplarının minimize edilmesine yardımcı olurlar.



Şekil 3.14: Anten LNA sistemi.

3.7.5 Dalga Kılavuzları

Dalga kılavuzlarında belirli miktarda hava kaçakları olmaktadır. Buda dehydratör sayesinde içerisine basılan hava basıncının düşmesini neden olmaktadır. Bu kaçakların belirli sınırlar içerisinde olup olmadığını kontrolünü günlük kontroller sayesinde cihazın bir çalışma periyot süresinin ölçümü ile yapılmaktadır. Dehydratör dalga kılavuzların içerisine hava basarak bunların içerisinde toz, nem ve pislik oluşumlarını veya girişlerini engeller. Böylelikle sinyal gücünün buralarda en az kayıp olması sağlanır.



Şekil 3.15: Dalga kılavuzu ve dehydratör.

3.7.6 Mesafe Dalga Tüpü

Uydu haberleşme sistemlerinde uydu ile yer istasyonu arasındaki mesafe, uydunun yere durağan yörüngedeki yeri, yer istasyonun enlemi, boylamı ve deniz seviyesinden yüksekliğine bağlı olarak değişir. Aradaki mesafenin bu kadar büyük olması nedeniyle uydudan yer istasyonuna ve yer istasyonundan uyduya gönderilen elektromanyetik dalganın zayıflaması oldukça büyüktür. Uzaklık kaybı denilen bu zayıflama neticesinde sinyal seviyesinin yükseltilmesi gerekmektedir buda günümüzde TWTA ile yapılmaktadır [4].



Şekil 3.16: Anten sistemindeki mesafe dalga tüpü.

3.8 Anten Takip Faz Ayarı (Phasing)

Phasing monopulse antenler kullanılan bir işlemdir. Antenin beacon sinyalini en iyi seviyede yakaladığı esnada Az ve El açılarında oynama yaparak. En iyi hata açılarını bulmaya çalışır. 15 günlük periyotlarla yapılır. Manevralardan sonra uydunun yerinde değişmeler olacağından phasing yapılarak uydunun daha hassas takip edilmesi sağlanmalıdır. Beacon sinyalini peakler daha sonra Azimuth ve Elevation da $\pm 0.100^\circ$ bozulmalar gerçekleştirir. Azimutta $\pm 0.100^\circ$ gittiğinde Elevation da bozulma olmaması gerekir. Aynı şekilde elevation da $\pm 0.100^\circ$ hareket ettiğinde Azimutta bozulma olmaması gerekir. Auto phasing işleminde bu işlemleri kendisi otomatik yapar ve phasing değerini ayarlayarak uyduyu daha hassas takip etmesini sağlar. Manuel phasing de ise kendimiz uydu sinyalinin peak (tepe) olduğu

yeri bulup. Manuel olarak phase değeri girerek Az ve EL da $\pm 0.100^\circ$ oynayarak diğer açının bozulmadığı değeri deneyerek bulup kaydederiz [4].

3.8.1 Anten Model Ayarı

Anten model ayarı antenin yayılım deseninin incelenmesine denmektedir. Bir antenin dizaynı, üretimi ve kurulumunun ITU standartlarına uygun olup olmadığının tespiti için yapılan testtir. İki derece içerisindeki komşu uydulara olası enterferansı minimize etmek için antenin ışınma diyagramını teste tabi tutularak belirlenen kriterler içerisinde kalacak şekilde ayar yapılmasına denir [4]. Asıl taşıyıcı sinyal tepe noktasından ikiye böldüğümüzde iki taraftaki yan taşıyıcı sinyal ile aynı olması gerekmektedir. Her iki yan taşıyıcı sinyalin tepeden 12-13 dB aşağıda olmasına ve eşit olmasına dikkat edilir. Genel formül aşağıda verilmiştir.

$$G = 29 - 25 \text{LOG}(\theta) \text{ dBi} \quad (1 \leq \theta \leq 7) \quad (3.5)$$

3.8.2 Düşük Gürültü Blok çevirici (LNB)

Bir LNB, uydudan bir radyo sinyalini uydu çanağından yansıttıktan sonra alan bir yükselticidir. Sinyalin yükseltilmesine ek olarak, LNB sinyali In-Door-Unit tarafından kullanılabilir bir frekansa da çevirir. LNB, frekans değiştirici ve ara frekans kuvvetlendiricisinden oluşan, 12 GHz'lik uydu işaretlerini 900-1700 MHz'lık ara frekansa çeviren bir bloktur. Bu blok çanak antenin odak noktasındaki feed horn' a doğrudan bağlanır ve bir kablo ile uydu alıcısına irtibatlanır.

1. LNB Frekans Alış Aralığı 10700-12750
2. LNB LOCAL OSC: 9750 ve 10600
3. L_o:9750 ise 10700-11900
4. L_o:10600 ise 11550-12750

Uydu alıcı ayarı yaparken LNB H (Horizontal-Yatay) ve V (Vertical-Dikey) polarizasyon seçimini ürettiği 13 V ve 18 V'a göre yapar [4].

3.8.3 Ortogonal Modu Dönüştürücü (OMT)

Her iki polariteyi birden aynı anda alıp farklı LNA 'lara yönlendiren dalga kılavuzlarıdır. OMT çok portlu bir mikrodalga cihazıdır. Aynı zamanda hem sinyal

göndermek hem de sinyal almak amacı ile kullanılır. OMT çok portlu mikrodalga cihazdır. Karşı polarizasyondaki sinyalin alımı sırasında sinyalin iletimine izin verir [4].

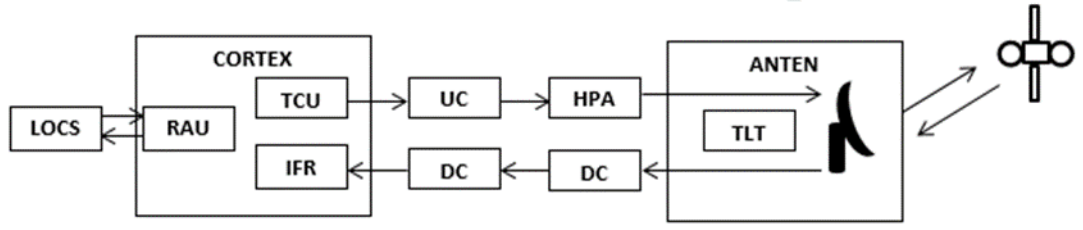
3.8.4 Blok Dönüştürücüsü (BUC)

VSAT sistemlerinde yaygın bir biçimde kullanılır. Uydu modemden gelen düşük frekanslı sinyalleri yüksek frekanslı sinyallere dönüştürür. Yaptığı görev bakımından bakıldığında LNB'nin tersidir. Modemden gelen L-bant sinyaller BUC özelliğine bağlı olarak Ku-Band, C-bant ya da Ka-Band frekanslarına çevrilir. LNB gelen yüksek frekanslı sinyalleri düşük frekanslı sinyallere çevirirken, BUC düşük frekanslı sinyallerin iletme hazır hale getirilmesi için yüksek frekanslı sinyallere çevirir.

BUC anten üzerinde feed'in arkasına OMT kullanılarak bağlanır. VSAT anten sistemine baktığınızda, LNB-Feed-OMT ve BUC ünitelerini anten destek kollarının üzerinde görebilirsiniz. Alış ve gönderim sinyallerinin birbirlerinden izolasyonunun yapılması için OMT kullanılmaktadır. BUC üretici firmalar cihazların teknik dökümanları içinde sistem çalışma frekanslarını, local osilatör frekanslarını ve diğer teknik özelliklerini açıklarlar. BUC bir local osilatöre sahiptir. Local osilatör ve 10 MHz referans sinyali ile birlikte, uyduya çıkılacak frekans doğru bir şekilde çevirebilmektedir [4].

3.8.5 Uydu Mesafe Ölçümü

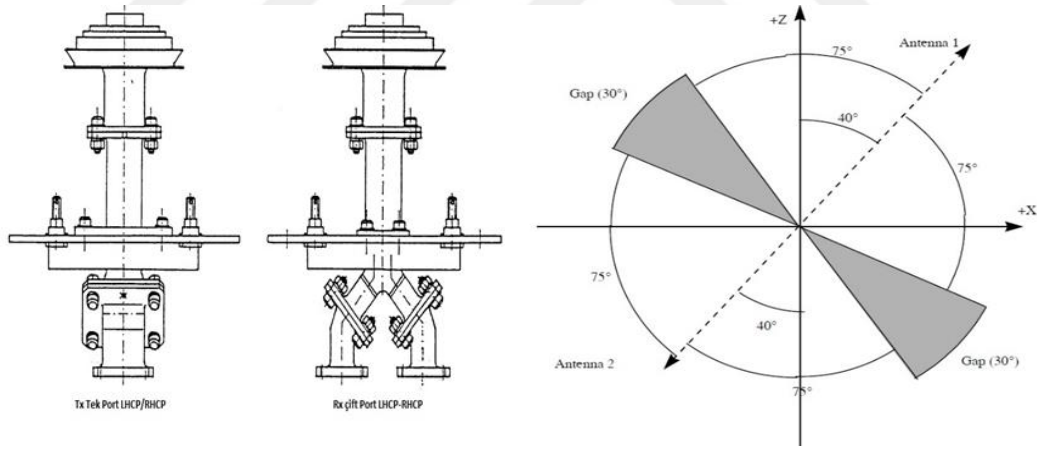
Uydunun yerini tespit amacı ile yapılan, yer istasyonu ile uydu arasındaki mesafenin ölçülmesidir. Daha hassas manevralar yapabilmek için uydu ile yer istasyonu arasındaki mesafeyi ölçmek ve uydunun tam konumunu bulmak için yapılan ölçümdür. Mesafe ölçümü sonucunda bize uydunun o anki uzaklığı ve Azimuth & Elevation açılarını vererek konumu belirtir. Mesafe ölçümü, mesafe komutun yollanması ile başlar ve uyduya giden sinyalin geri dönüşü ile son bulur. Uydunun tam yerinin ölçülmesi için istasyon içindeki geçen zamanın ve uydunun içinde geçen zamanın düşülmesi gerekir. Mesafe işlemi sonucunda elde ettiğimizden ölçümden istasyonda geçen zaman ve uydu içerisinde geçen zaman düşüldükten sonra kalan sonuç 2 ye bölünerek uydunun tam mesafesi tespit edilmiş olur [4].



Şekil 3.17: Uydudaki mesafe ölçümü [4].

3.9 OMNI Anten

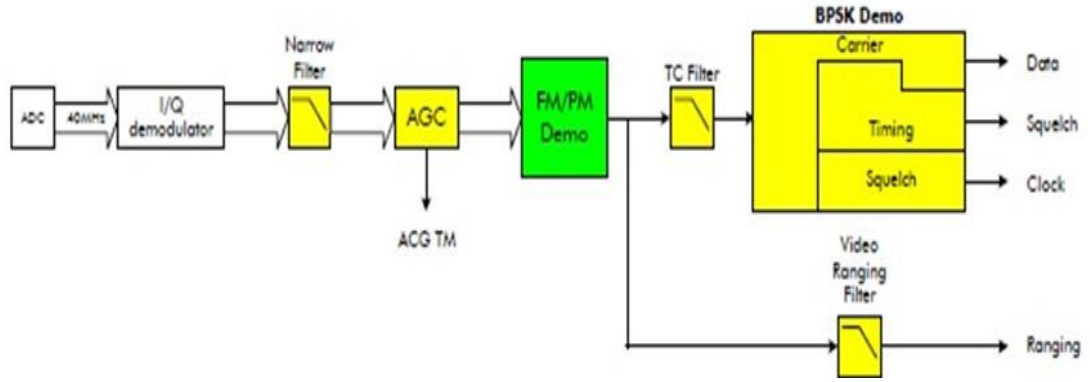
OMNI anten telekomut alımı ve telemetri transmisyonu sağlayan geniş açılı bir kapsama alanına ve iyi bir eksnel orana sahip bir dairesel dalga kılavuzudur. Telekomut ve telemetri için ikişer anten bulunur. Acil durumlarda, kaydırılma ve transfer orbit operasyonlarında kullanılmaktadır. Dairesel polarizasyon ile iletim yapmaktadır. Uyduda, omni antenlerin bir seti (1TX+1RX) dünya kapsama kısmı antenin besleme mekanizmasının en üstünde yer almaktadır. İkinci set zıt yönde yer almaktadır. Yani uydunun +Z ve -Z eksenlerinde bulunmaktadır [4].



Şekil 3.18: OMNI anten ve kapsama alanı.

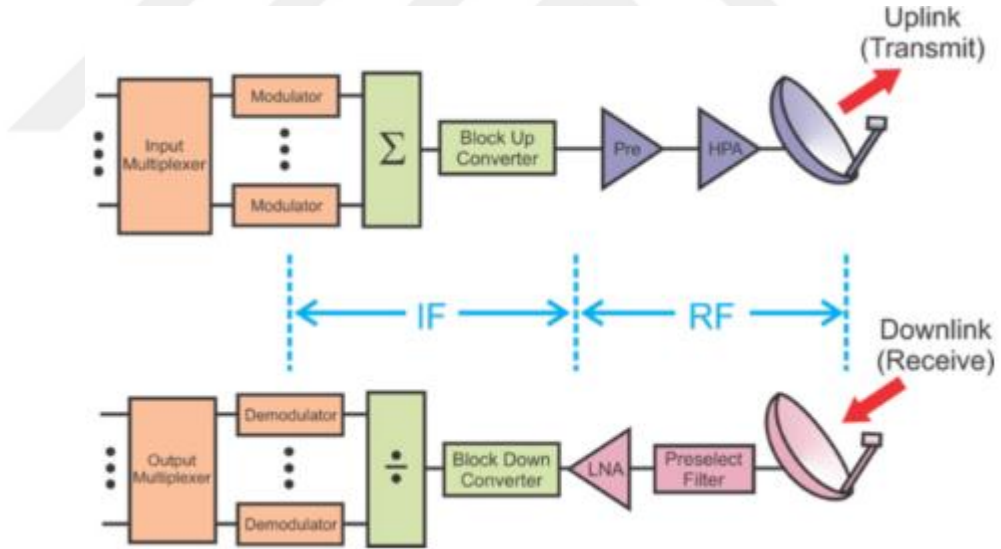
3.9.1 TCR Sistemi Ekipmanları Sinyal Alış ve Gönderme

Telekomut ve uydudaki ölçüm sinyallerini alıp FM/PSK demodülasyona tabi tutulduğu ekipmandır. Sinyalin antene geliş blok diyagramı ve dijital modülasyon blok diyagramı gösterilmiştir. TC&RG sinyalini alınarak iki defa LO osilatör çevrimine tabi tutularak İkinci RF dönüşümü sonrası FM demodülasyonuna tabi tutulduktan sonra dijital demodülasyona BPSK tabi tutulmaktadır [4].



Şekil 3.19: Dijital demodülasyon blok diyagramı.

Telemetri ve uydu ölçüm sinyalleri sinyallerinin PM/PSK modülasyona tabi tutulduğu ekipmandır. DC/DC ünitede ekipmanın kontrolü yapılmakta, Baseband ünitesinde digital modülasyona tabi tutulmakta, LO ünitesinde modülasyon sinyali oluşturularak, RF ünitesinde modüleli TM sinyali oluşturulmaktadır [4].



Şekil 3.20: Sinyal alış ve iletim blok diyagramı [18].

3.9.2 Uydu Takip Sinyali (Beacon)

Uydunun takip edilebilmesi için takip sinyali oluşturup gönderen kısımdır. Uydu beacon sinyali modüle edilmemiş, sabit bir frekansta belirli bir güçte gönderilen sinyaldir. Uydu operatörleri kendilerinin belirlediği frekans bandını beacon sinyali olarak belirler. Beacon sinyalleri uydu anten ayarının rahat

yapılabilmesi, mesafe ölçümü, yağmur kayıp miktarı, çıkış gücünün hesaplanması için kullanılır. Uydu operatörleri beacon sinyalini seçerken genellikle Ku bant frekansı kullanılır. Bunun sebebi Ku bandın Ka bandına göre yağmur kaybı daha azdır.



DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYDU HABERLEŞME SİSTEMİ BAĞLANTI BÜTÇESİ

Uydu haberleşme sistemlerinde kayıplar en önemli kısmı oluşturmaktadır. Uydu kayıplarını hesaplamada en önemli neden maliyetten kazanmak içindir. Alınan güç tam olarak iletilen güç, kaynaklar ve kayıpların çıkarılmasıyla elde edilen güçtür. Uydu iletişim sisteminde hatasız ve emniyetli iletim yapılması için gerekli olan güç kriterinin, sistem parametrelerine aşağıda sisteme bağlı olarak hesaplanır.

1. Anten kazancı
2. Anten çıkış gücü
3. Anten transfer kazancı

4.1 Frekanslar

Radyo teknolojisinde iletişimin temel bileşenleri radyo cihazların ve ilgili frekans aralığıdır. Radyo teknolojisi elektrik işaretlerini veya elektromanyetik dalgaların kablosuz ortamlarda iletilmesi ve alınmasıdır. Elektromanyetik dalgalar mevcut tüm frekansları göstermektedir. Sinyal iletiminde küçük bir kısmı kullanılır [14].

Tablo 4.1: Uydu frekans listesi [4].

L-bant	1.530-2.700 GHz
S-bant	2.700-3.500 GHz
C-bant	Downlink: 3.700-4.200 GHz Uplink: 5.925-6.425 GHz
X-bant	Downlink: 7.250-7.745 GHz Uplink: 7.900-8.395 GHz

Tablo 4.1 (Devam): Uydu frekans listesi [4].

Ku-bant (Europe)	Downlink: FSS:	10.700-11.700 GHz
	Uplink: FSS:	14.000-14.800 GHz
Ku-bant (Europe)	Downlink: BSS:	11.700-12.500 GHz
	Uplink: BSS:	17.300-18.100 GHz
Ku-bant (America)	Downlink: FSS:	11.700-12.200 GHz
	Uplink: FSS:	14.000-14.500 GHz
Ku-bant (America)	Downlink: BSS:	12.200-12.700 GHz
	Uplink: BSS:	17.300-17.800 GHz

4.1.1 Ku-Ka-C Band Özellikleri

10 GHz ve üzeri yüksek frekanslarda şiddetli bir yağmur yağdığı zaman gözle görülür kayıplar başlamaktadır. Yağmur zayıflaması bölgedeki yağış miktarı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Uydu operatörleri bu kaybı minimum düzeye düşürmek için yüksek frekanslarda yayın çıkmaktadırlar. TV yayınlarında en çok kullanılan Ku bant frekansıdır. 100 mm/h saati aşan yağmur bölgelerinde gözle görülür bir etki hissedilir. Uydu haberleşme sistemlerinde kullanılan bir diğer frekans bandı da Ka bandıdır. Ku bandı, Ka bandına göre yağmurdan daha az etkilenmektedir bunun sebebi Ka bandı yüksek frekans olması ve frekans ne kadar büyürse kayıplarda orantılı bir şekilde artacaktır. C-bandının Ku ve Ka bandına göre frekansı küçüktür ve anten çapı diğer kullanılan frekanslara göre oldukça büyüktür. C-bandında sinyali uyduya iletmek için daha fazla güç gerektirmektedir. Buda tercih edilen bir frekans olmamaktadır. Frekans büyüdükçe anten çapları da orantılı olarak küçülecektir [3].

4.1.2 Uyduya Çıkış ve Uydudan Geliş Frekansları

Çıkış ve iniş frekansları uyduda ve yer istasyonunda enterferans olması durumundan kaçınabilmek için ayrı tutulmak zorundadır. İki sinyali birbirinden daha da yalıtılabilmek için polariteleri de farklı tutulur. Farklı polariteler kullanılmasının esas nedeni aynı frekansın farklı kanallar için tekrar kullanılabilmesini sağlamaktır. Aynı frekans bandı iki ayrı kanal tarafından kullanılabilir [4].

4.1.3 Uyduya Çıkış Frekansı

Uyduya çıkış frekansının daha yüksek olmasının nedeni uydudaki teçhizatı daha basitleştirmesindedir. Çünkü bu şekilde uyduda daha küçük alıcı anten kullanılabilen ve uydudaki güç yükselticilerinde bulunan TWT tüplerinin daha küçük olması sağlanmaktadır. Antenin kazancı frekansın karesiyle doğru orantılıdır, o nedenle daha yüksek frekans kullanılmakla alıcı anteni daha küçük olmaktadır. Ayrıca TWTA 'lerin büyüklükleri dalga boyuyla orantılıdır. Yer istasyonundaki büyük anten uydudan gelen zayıf sinyali toplar. Dolayısıyla uyduda küçük yer istasyonunda büyük anten kullanılır [4].

4.2 Uydu Haberleşme Sistemindeki Yol Hesaplamaları

4.2.1 Anten Çıkış Gücünün Hesaplanması (EIRP)

Baseband seviyesinde üretilen sinyal RF katındaki modülasyon ve frekans çevrimlerini takiben HPA tarafından güçlendirilerek antene iletilir. Anten tarafından güçlendirilen sinyal uyduya gönderilir. Antenden çıkan sinyalin gücü çıkış gücü genellikle dBW birimiyle logaritmik skalada ifade edilir [4]. Formül olarak söylersek iletilen anten kazancı G_T ve iletilen gücün P_T çarpılması ile elde edilir.

$$EIRP_{SAT} = G_T \cdot P_t \quad (4.1)$$

$$EIRP_{SAT} = G_T \text{ (dB)} + P_T \text{ (dBW)} + \text{Anten kayıpları} \quad (4.2)$$

P_T genellikle HPA çıkışındaki dBW birimindeki güçtür. Dolayısıyla ile çıkış gücü HPA gücüne anten kazancı eklenerek kabaca bulunabilir. Net EIRP'yi bulmak için antenle HPA arasındaki dalga kılavuz kayıplarının düşülmesi gerekmektedir [4]. TÜRKSAT Ku bant beacon sinyalinin uydudaki horn antenden çıkış gücünün hesaplanması için değerleri yerine koyduğumuzda P_T -2.00, dalga kılavuz kaybı -2.23, G_T 19.80 dBi, anten hiza kaybı -0.14 dBpp buradan $EIRP_{SAT}$ 15.43 dBW bulunur [15][4].

4.2.2 Serbest Uzay Kaybı

Lineer ortamda ışık hızının c , 3×10^8 m/s frekansa oranı, sinüzoidal dalga boyunu λ verir. Sinyalin frekansı 11.120 GHz'dir. Sinüzoidal dalga boyu 2.69 cm'dir. Uzay ortamında en büyük kayıp serbest uzay kaybıdır. Serbest uzay kaybını L_S olarak tanımlayabiliriz. Formül olarak d mesafe, λ dalga boyu f sinyal frekansıdır, mesafenin 37580 km olduğunu buradan serbest uzay kaybının 204,88 dB olduğu hesaplanmıştır [7].

$$L_S = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \quad (4.3)$$

4.2.3 Anten Kazancı

Kazanç, bir antenin girişindeki gücü belirli bir yönde yayma yeteneğinin göstergesidir ve maksimum yayım yoğunluğu noktasında ölçülür. Alınan sinyalin çıkışa odaklanması veya yönlendirilmesidir.[4] Uydudan gelen Ku bant beacon sinyalinin yer sistemindeki antenden alışı gücünü hesaplamak için formülize edersek G_R antenin alışı kazancı, antenin verimlilik değeri η , 0.6 (% 60) anten çapı d , 7.2 m dir. Bu formülden hesaplanarak anten alışı kazancımız 56, 26 dBW 'dir.

$$G_R = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2 \quad (4.4)$$

4.2.4 Anten Gürültü Değeri

Sistem gürültüsü G_R/T_S Kazanç/Sistem gürültü sıcaklığı hesaplamamızda önemli bir yer teşkil etmektedir. Sistem gürültü sıcaklığına T_S dersek sistem anten gürültü sıcaklığı T_A ve karma sıcaklığı T_{COMP} birleşiminden meydana gelmektedir. T_A toplam zayıflama olarak alırsak, yağmur ve gaz kayıpları 'A' olarak alınır ve orta yağışlara T_M soğuk hava sıcaklığı T_C olarak kabul edilir. T_M yağmurda 260 K, bulutlu havada 280 K kabul edilir. T_C 10 K (gökyüzü gürültüsü) alınır. Kablo kaybı L_{ABS} 1dB, sıcaklığı T_A 65,5 K bulunur. Sistem gürültü sıcaklığı TÜRKSAT verilerinde toplam T_S 127 K'dir. T_{COMP} 61,5 K'dir [7].

$$T_S = T_A + T_{COMP}$$

$$T_A = T_M (1 - 10^{-A/10}) + T_C \cdot 10^{-A/10} \quad (4.5)$$

Sistemin gürültü değerini N_f dersek, eş değer gürültü sıcaklığı 290 K, formülden $127K = 290K \cdot (N_f - 1)$ $N_f=1.44 = 1.58$ dB bulunur.

$$T_S = 290 \cdot (N_f - 1) \quad (4.6)$$

4.2.5 Termal Gürültü Gücü

Elektronik hareketlerin sistemde oluşturduğu gürültünün tanımlanmış halidir. Boltzmann sabiti ($K = 1.38 \times 10^{-23}$ JK⁻¹ = -228,6 dBW/K/Hz), eş değer gürültü sıcaklığı 290 K, bant genişliği 2 KHz buradan formüle yerleştirdiğimizde gürültü gücü N, - 170,96 dB'dir.

$$N = K \cdot T \cdot B \quad (4.7)$$

4.2.6 Uydudan Yer istasyonlarına Gelen Antenin Kazancı

G_R/T_S Kazanç/Sistem gürültü sıcaklığı alışı antenin performansı için kullanılan bir parametredir. Büyük G_R/T_S değerleri sistem için daha iyidir. Ku bant beacon sinyalinin geldiği antendeki performans değeri G_R/T_S değeridir [4]. Alınan sinyalin antendeki gücü P_R dir [7]. T_S sistem gürültü sıcaklığı 127 K, 21dB'dir. Anten kazancımız G_R , 56, 26 dBW, formülde yerine koyduğumuzda G_R/T_S 35.26 dB/K'dır. Yer istasyonuna gelen antenin kazancını hesaplarken değerleri yerine koyduğumuzda P_R -133,62 dB, -103,62 dBm bulunur.

$$G_R/T_S \text{ (dB)} = G_R \text{ (dB)} - T_S \text{ (dB)} \quad (4.8)$$

$$P_R = EIRP_{SAT} + G_R \text{ (dB)} - L_S \text{ (dB)} \quad (4.9)$$

LNA' antene gelen sinyali yükselterek istenilen seviyeye çıkarmak için kullanılır. İdeal bir LNA 'da maksimum kazanç, minimum gürültü oranına sahip olmalıdır. TÜRK SAT anten sisteminde kullanılan LNA 60 dB' dir. Buradan alınan anten gücü -103,62 dBm 'den -43.62 dBm hesaplanmıştır. Bu değer Türksat yer istasyonlarında ekranda takip edilmektedir. Ve sistem performansı hakkında bize bilgi vermektedir. Bunlarda BER ve C/N_0 hesaplaması ile sağlamaktadır.

Türksat Ku bant beacon sinyalinin bilgi içermediği için sadece temiz taşıyıcıdır. BER kullanılmamaktadır. Beacon sinyalinin gerçek değeri LNA

çıkışındaki değer değildir. C/N_0 ile hesaplanan bu değer taşıyıcıya sahip frekanslarda yağmur kayıplarının yanı sıra atmosferik kayıplar, yoğun bulutlar, polarizasyon kaybı ve anten hiza kaybı söz konusudur ve bu kayıplar eklenerek yayın sağlayan frekansların performanslarını hesaplamamızda bize yardımcı olmaktadır. Bir sinyalin C/N_0 taşıyıcının 1 Hz' deki içindeki seviyesinin gürültüye oranıdır. L_r yağmur zayıflaması, L_o atmosfer kayıpları, feed kaybı ve anten hiza kaybıdır. Sistem performansında yağmur kayıpları hesaplanarak gerçek performans değeri hesaplanmaktadır. Yüksek yağış alan bölgelerde yağmur kayıpları Ku bantda en önemli kayıplardır. Bölüm 5 'te Türksat Ku bant beacon sinyalinin gerçek yağmur kayıpları hesaplanmıştır.

$$C/N_0 = EIRP_{SAT} + G_R/T_S - L_S - L_r - L_o - k_b \quad (4.10)$$

Tablo 4.2: Türksat Ku band beacon sinyalinin yol bütçesi.

Maks. EIRP:	83,69 dB
Serbest uzay kaybı:	204,88 dB
Anten kazancı:	56,26 dBW
Uydudan gelen sinyal değeri:	-103,62 dBm
G/T:	35,26 dB/K
Termal gürültü gücü:	-170,96 dB
Bant genişliği:	2 KHz

BEŞİNCİ BÖLÜM

KU BAND BEACON SİNYALİNİN YAĞMUR ZAYIFLAMA ETKİSİ VE HESAPLANMASI

Uydu haberleşme sistemleri diğer haberleşme sistemlerine göre mesafenin en fazla olduğu haberleşme biçimidir. Sinyalin yeryüzüne geldiği mesafe yaklaşık 37000 km civarındadır. Bu durumda sinyal zayıflaması oldukça fazladır. Yağmur kayıpları böyle yüksek bantlarda önemli bir yer teşkil etmektedir. Yağmur zayıflaması iki önemli sebepten olmaktadır. Sinyalin yağmur molekülleri arasındaki enerji kaybı emilimi ve saçılımı, buda sinyalin yağmur damlasındaki çarpması ile hareket ettiği yoldan başka bir doğrultuda ilerlemesidir. Bu reaksiyonlar sonuç olarak sinyalde bir zayıflamaya yol açar [10]. Yağmur zayıflaması ülkelerin konumları ve iklim koşullarına göre farklılık göstermektedir. TÜRKSAT yer olarak Türkiye'nin iç anadolu bölgesinde Ankara ilinin Gölbaşı ilçesinde yer almaktadır. Koordinat olarak da $39^{\circ} 46' K$ ve $32^{\circ} 49' D$ değerlerine sahiptir. Denizden yüksekliği 1086 metre basınç 1014 hPa'dır. İklim olarak yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve yağışlıdır karasal iklim söz konusudur. Yıllık yağış ortalaması 80 mm civarındadır. Değerlendirme ve gerçek ölçümleri elde etmek için o bölgedeki yağış miktarı ve yağış oranı bilinmelidir. Bunu varsayım ve yaklaşım olarak alırsak yeni kurulacak sistemlerde bize maliyet kaybına neden olacaktır. Meteoroloji genel müdürlüğünden alınan veriler ve TÜRKSAT anteninden ölçülen değerler temel alınmıştır. 8 Haziran 2012-8 Eylül 2014 yılları arasında yapılan ölçümler sonucunda farklar gösterilmiştir.

5.1 Yağmur Kaybının ITU-R 838 Modeline Göre Hesaplanması

ITU-R 838 yağmur zayıflaması modeline göre yağış miktarı ve oranı bilinmesi gerekmektedir. Özel yağmur zayıflaması değeri (γ_R dB/km) ve yağmur oranı $R_{0.01}$, (mm/h)'dır. Formül olarak yerine koyarsak [12];

$$\gamma_R = kR^\alpha \quad (5.1)$$

Katsayı değerleri k ve α için güç yasa formülü kullanarak hesaplanmıştır. Formüldeki f frekans olup 1-1000 GHz frekans aralığı kullanılabilir [12].

$$\log_{10}k = \sum_{j=0}^4 a_j \exp\left[-\left(\frac{\log_{10}f - b_j}{c_j}\right)^2\right] + m_k \log_{10}f + c_k \quad (5.2)$$

$$\alpha = \sum_{j=1}^5 a_j \exp\left[-\left(\frac{\log_{10}f - b_j}{c_j}\right)^2\right] + m_\alpha \log_{10}f + c_\alpha \quad (5.3)$$

k_H katsayısı horizontal polarizasyon, k_V vertical polarizasyon için kullanılmaktadır. α_H sabit katsayısı horizontal polarizasyon, α_V vertical polarizasyon için kullanılmaktadır. Tabloda değerleri verilmektedir [12].

Tablo 5.1: k_H katsayı değeri [12].

j	a_j	b_j	c_j	m_k	c_k
1	-5.33980	-0.10008	1.13098	-0.18961	0.71147
2	-0.35351	1.26970	0.45400		
3	-0.23789	0.86036	0.15354		
4	-0.94158	0.64552	0.16817		

Tablo 5.2: k_V katsayı değeri [12].

j	a_j	b_j	c_j	m_k	c_k
1	-3.80595	0.56934	0.81061	-0.16398	0.63297
2	-3.44965	-0.22911	0.51059		
3	-0.39902	0.73042	0.11899		
4	0.50167	1.07319	0.27195		

Tablo 5.3: α_H katsayı değeri [12].

j	a_j	b_j	c_j	m_α	c_α
1	-0.14318	1.82442	-0.55187	0.67849	-1.95537
2	0.29591	0.77564	0.19822		
3	0.32177	0.63773	0.13164		
4	-5.37610	-0.96230	1.47828		
5	16.1721	-3.29980	3.43990		

Tablo 5.4: α_V Katsayı Değeri [12]

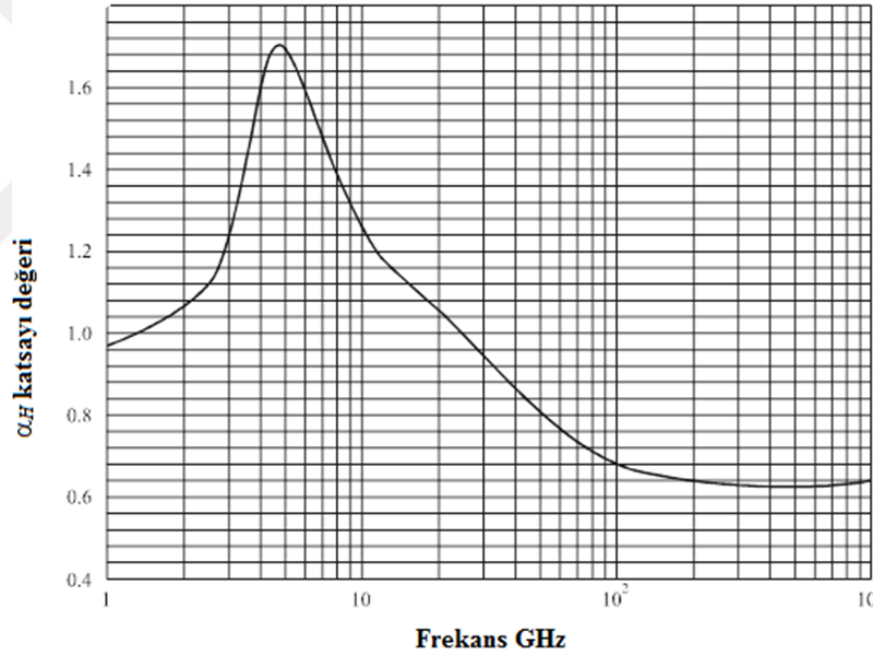
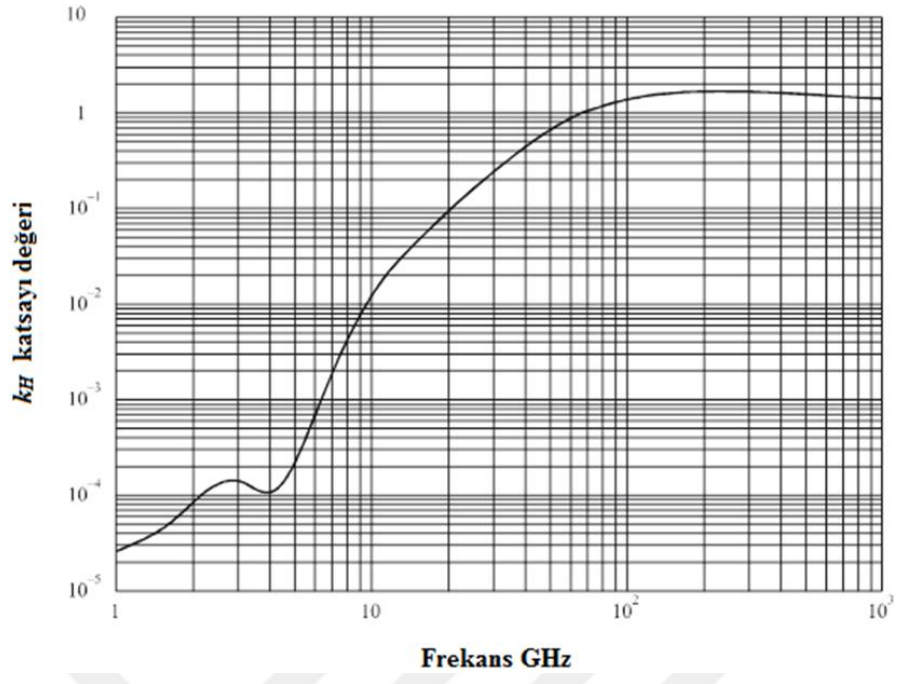
j	a_j	b_j	c_j	m_α	c_α
1	-0.07771	2.33840	-0.76284	-0.053739	0.83433
2	0.56727	0.95545	0.54039		
3	-0.20238	1.14520	0.26809		
4	-48.2991	0.791669	0.116226		
5	48.5833	0.791459	0.116479		

Lineer, dairesel polarizasyon yol geometrisini formülü 5.1, 5.2, 5.3 eşitlikleri kullandığımızda yeniden düzenlendiğinde;

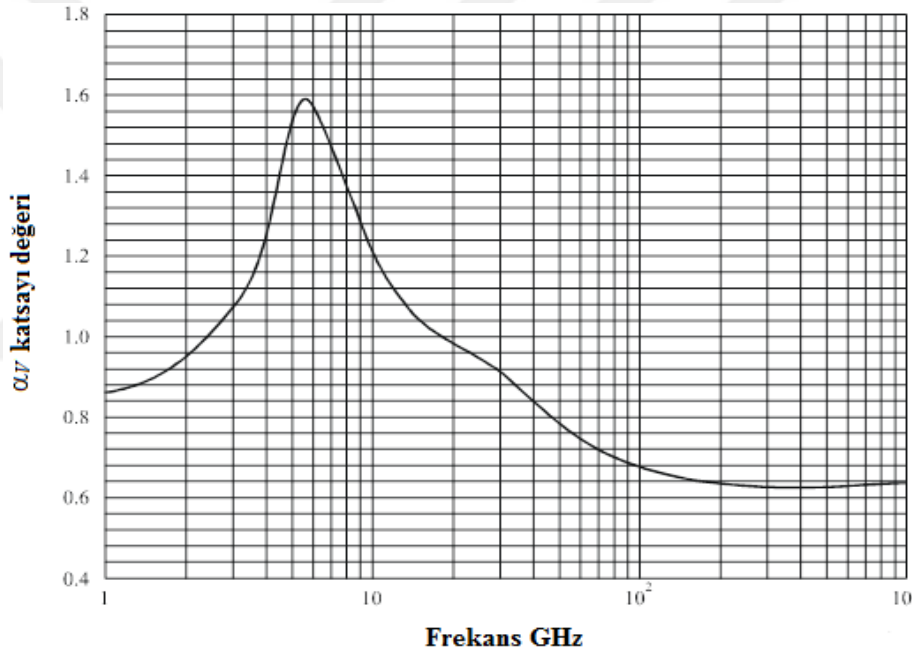
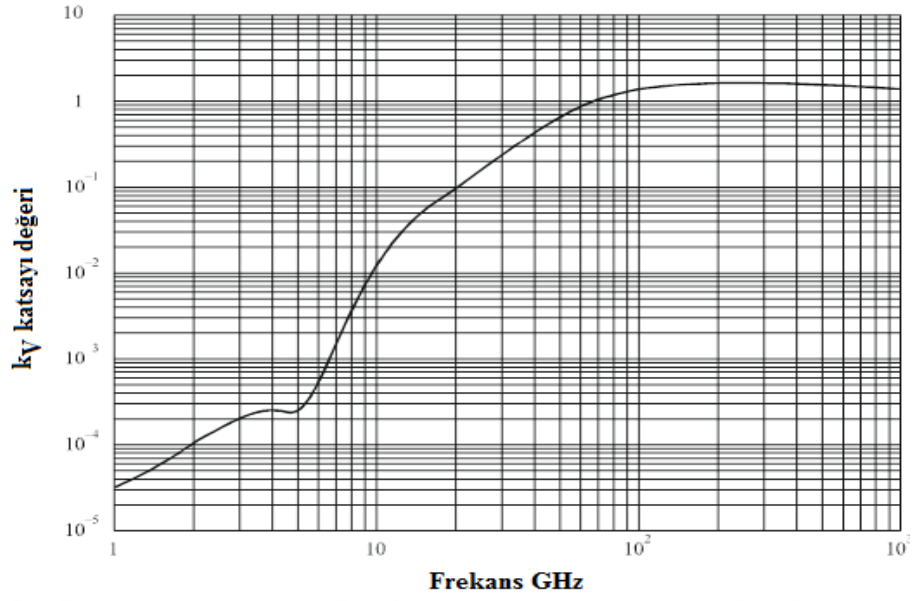
$$k = [k_H + k_V + (k_H - k_V) \cdot \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2 \quad (5.4)$$

$$\alpha = [k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2k \quad (5.5)$$

Denklemdaki yolun elevation açısı Θ ve polarizasyonun τ eğim açısı yatay açıyla bağlantı kurulduğunda ($\tau : 45^\circ$ dairesel polarizasyondur) elde edilir. Şekil 5.1 ve 5.2 'te verilmiş olup nümerik değerleri EK B'de listelenmiştir [12].



Şekil 5.1: k_H ve α_H yatay polarizasyondaki katsayı değerleri [12].



Şekil 5.2: k_V ve α_V dikey polarizasyondaki katsayı değerleri [12].

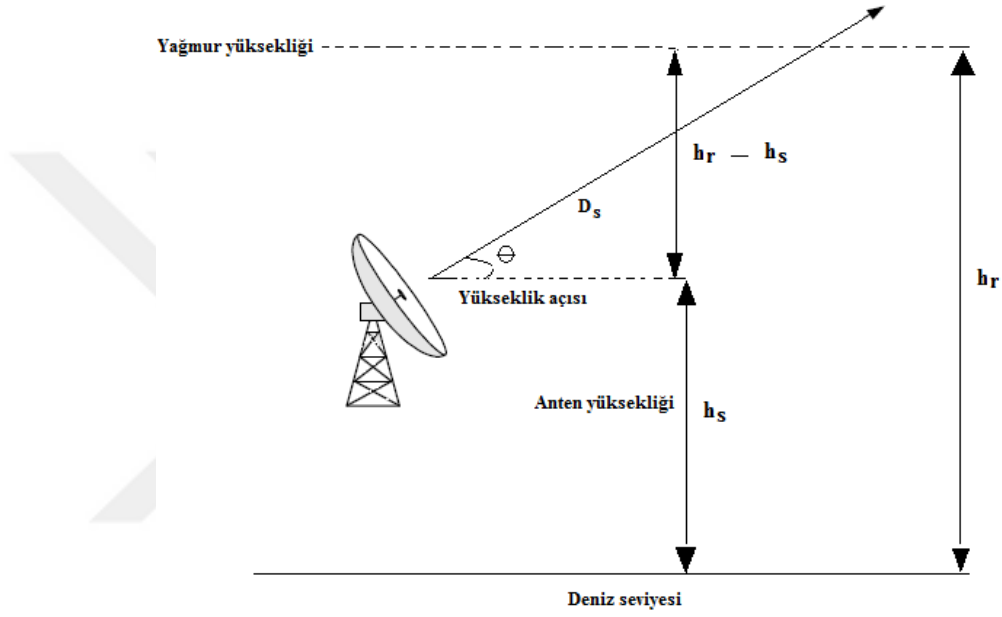
5.2 Noktasal Yağış Alanından Uzun dönemli Yağış Alanının Hesaplanması

Bu hesaplama uzun dönem yağmur zayıflama bilgisini elde etmemizi sağlayacaktır. Eğimli yol mesafesini bilerek özel yağmur zayıflama eşitliği kullanarak o bölge için ne kadar bir kayıp elde edildiğini göstermektedir. L_{RAIN} , yağmur zayıflaması; D_S , eğimli yol mesafesi; γ_R özel yağmur zayıflamasıdır. Formül olarak yazdığımızda, yükseklik açısı antenin uyduya baktığı açıdır.

$$L_{RAIN} = \gamma_R D_S \quad (5.6)$$

$$h_R: h_0 + 0.36 \text{ km} \quad (5.7)$$

Yağmur yüksekliği h_r belirlemek için ITU-R P.839 sayfasındaki eşitlik ile sağlanır [13]. Bu değeri hesaplamak için boylam $0-360^\circ$ derece arasında, Φ enlemde $+90$ ile -90° derece arasında olması gerekmektedir. 0° derece izoterm değeri eklenecek hesaplanır [13]. İkinci hesaplama yöntemimiz ise tablo 5.5’de verilmiştir.



Şekil 5.3: Yağmur zayıflaması ve eğimli yol mesafesinin geometrik gösterilmesi [8].

Tablo 5.5: Yağmur yüksekliği hesaplama tablosu [17][5][6].

Enlem ϕ	h_r (km)	Bölge
$\phi > 23 \text{ N}$	$5 - 0.075 (\phi - 23)$	Kuzey yarımküre (Kuzey Amerika & Avrupa dışında)
$0 < \phi < 23 \text{ N}$	5	Kuzey yarımküre (Kuzey Amerika & Avrupa dışında)
	$3.2 - 0.075 (\phi - 35)$	Kuzey yarımküre Kuzey Amerika & Avrupa Batı 60 D boylamı
$0 \geq \phi \geq 21 \text{ S}$	5	Güney yarımküre
$21 \text{ S} \geq \phi \geq 71 \text{ S}$	$5 + 0.1(\phi + 21)$	Güney yarımküre
$71 \text{ S} > \phi$		Güney yarımküre

Türkiye, Ankara, Gölbaşı bölgesi için verilen enlem değerleri 43.93-44.02°-39°46'K 32°49'D'dir. h_r belirlemek için 5-0.075 (φ -23) eşitliği kullanılır. Buradan yağmur yüksekliği 3.8 km elde edilir.

Yükseklik derecesi $\Theta \geq 5^\circ$ büyükse aşağıdaki formül kullanılır. Yükseklik derecesi 43.96 °'dir. Değer eşitliği sağlamaktadır. h_s , antenin deniz seviyesinden yüksekliği 1086 metredir. , D_s 3.9097 km'dir.

$$D_s = \frac{(h_R - h_S)}{\sin \theta} \quad (5.8)$$

$(h_R - h_S)$ eşitliği eğer sıfırdan küçük veya sıfır değerine eşitse herhangi bir zaman yüzdesi sıfır olacaktır. Ve $R_{0.01}$, değeri sıfır olduğundan yağmur zayıflaması yok demektir. Bu yüzden diğer formülleri uygulamamıza gerek kalmayacaktır [12].

Tablo 5.6: Frekans için yatay ve dikey polarizasyondaki nümerik değerleri.

Frequency (GHz)	k_H	α_H	k_V	α_V
10.000	0.01217	1.2571	0.01129	1.2156
11.000	0.01772	1.2140	0.01731	1.1617
12.000	0.02386	1.1825	0.02455	1.1216
11.120	0.0184	1.2097	0.0179	1.1563

Özel yağmur zayıflaması değeri 11 GHz ve $R_{0.01}$, 25 mm/h için değerimiz 0.88219 dB/km elde edilir. L_{RAIN} , 3.4490 dB elde edilir. 11.120 GHz için L_{RAIN} , 3.5322 dB' elde edilir[8]. Türksat Ku bant sinyalizim yatay (horizontal) polarizasyondur. Tablodaki katsayı değerleri eşitlik 5.2 ve 5.3'e göre hesaplanmıştır.

5.3 ITU-R Yağmur Oranı Bölgesel Kısmı

Türkiye için verilen değer şekil 5.4 ve tablo 5.7 'de görüldüğü gibi K bölgesi olarak tanımlanmaktadır. K bölgesi için verilen yağış değeri 42 mm/h 'dır $R_{0.01}$, 0.01 değeri için ortalama bir yıl olan bölgedeki nokta yağış oranıdır. K bölgesi verilen ülkeler ile o ülkelerin iklim koşulları gerçeği yansıtmamaktadır. Hindistan'ın kuzey batı bölgesi K bölgesi denilmektedir. Fakat bu bölge karasal iklimden farklı

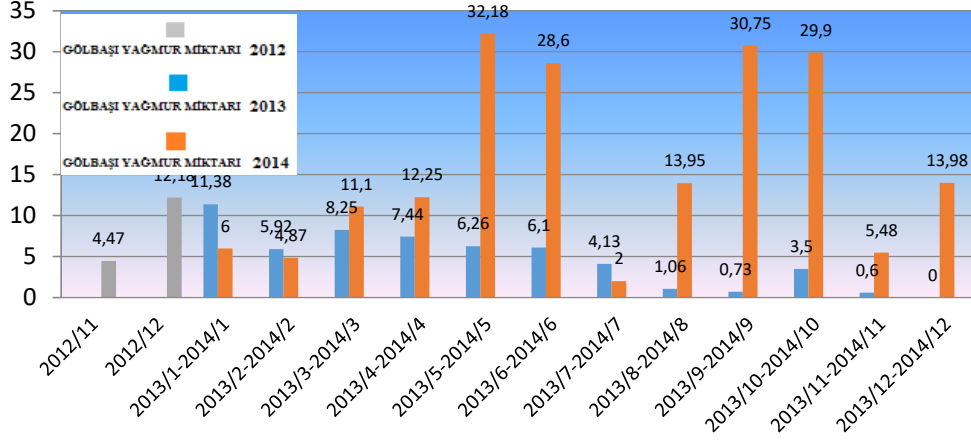
olarak tropikal iklim söz konusudur [11]. Meteoroloji Gölbaşı bölgesi için verilen yağış miktarı 10-30 mm/h 'dır. 30 mm/h değerinin üstüne belli zamanlarda çıkmıştır. Tablo 5.8 ve şekil 5.5'de Gölbaşı için gerçek değerleri alınmıştır. Yeni bir anten sistemi kurulurken o bölgede yağış kayıpları ve miktarı bize gerçek verimlilikte yardımcı olacaktır. Yağış miktarı seçilirken yüzde olarak %99.99 seçilir [17] [EK A].



Şekil 5.4: Yağmur oranı bölgesel bölümü [3].

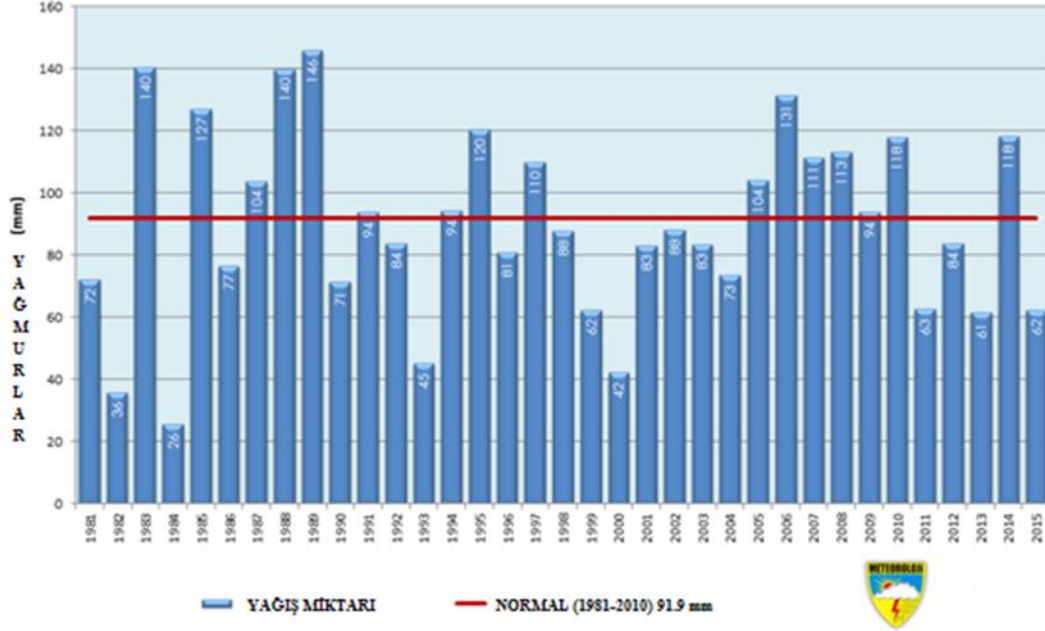
Tablo 5.7: Yağış oranı yüzdesi bölgesel tanımı [9].

%R time exceeded	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1.0	<0.1	0.5	0.7	2.1	0.6	1.7	3	2	8	1.5	2	4	5	12	24
0.3	0.8	2	2.8	4.5	2.4	4.5	7	4	13	4.2	7	11	15	34	49
0.1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65	72
0.03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105	96
0.01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0.003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0.001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170



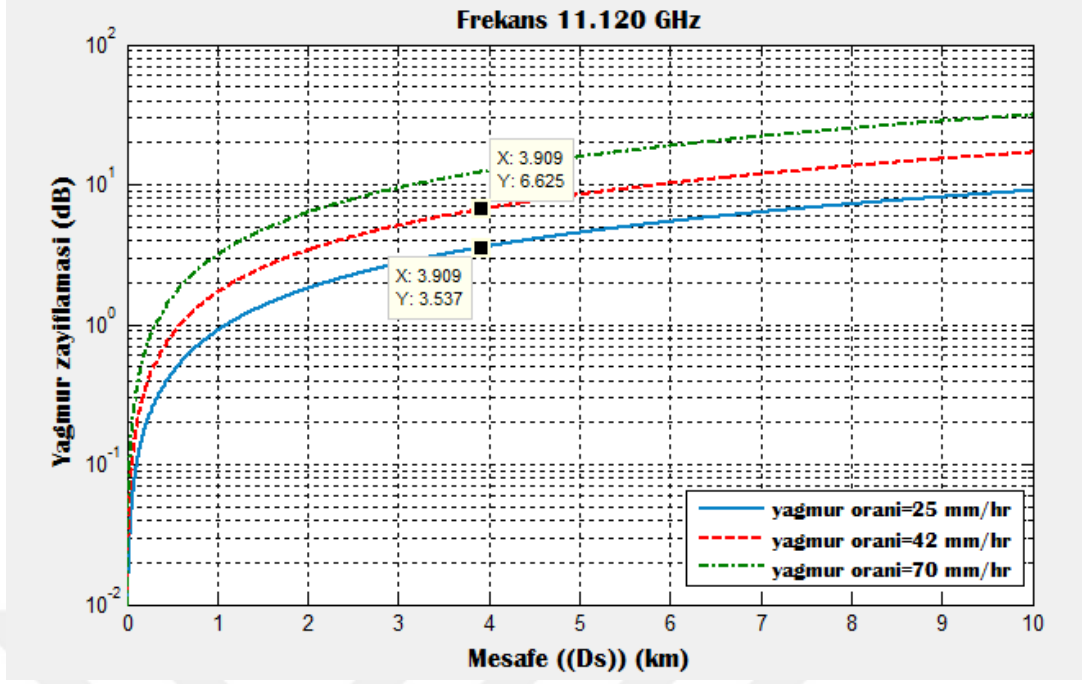
Şekil 5.5: Gölbaşı yağış miktarı oranı (mm/h /2012-2014) [16].

Tablo 5.8: İç Anadolu Bölgesi yıllık yağış miktarı [2].

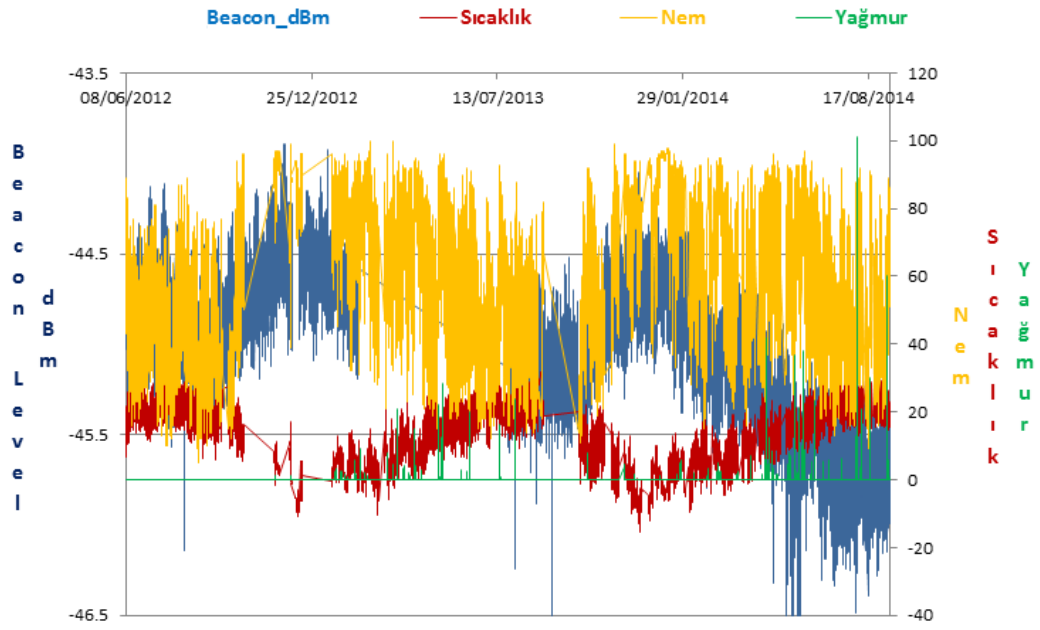


5.4 Türksat Ku bant sinyalinin Yağmur Kaybının Hesaplanması

ITU-R 838 modeline göre frekanslar yatay ve dikey polarizasyon olarak ayrılır. TÜRKSAT Ku bant beacon frekansı yatay polarizasyondur. Formülde 11 GHz' göre katsayılar verilmiştir. Bu frekansa göre hesapladığımızda 3.4490 dB elde edilir. TÜRKSAT Ku bant frekansımız 11.120 GHz'dir. Bu frekansa göre hesaplama yapmak gerekmektedir. Her bir yağış miktarı için bu oranı hesaplamamız zaman almaktadır. 8 Haziran 2012-8 Eylül 2014 yağış değerleri MATLAB simülasyonunda hesaplanmıştır [EK C] [EK D].



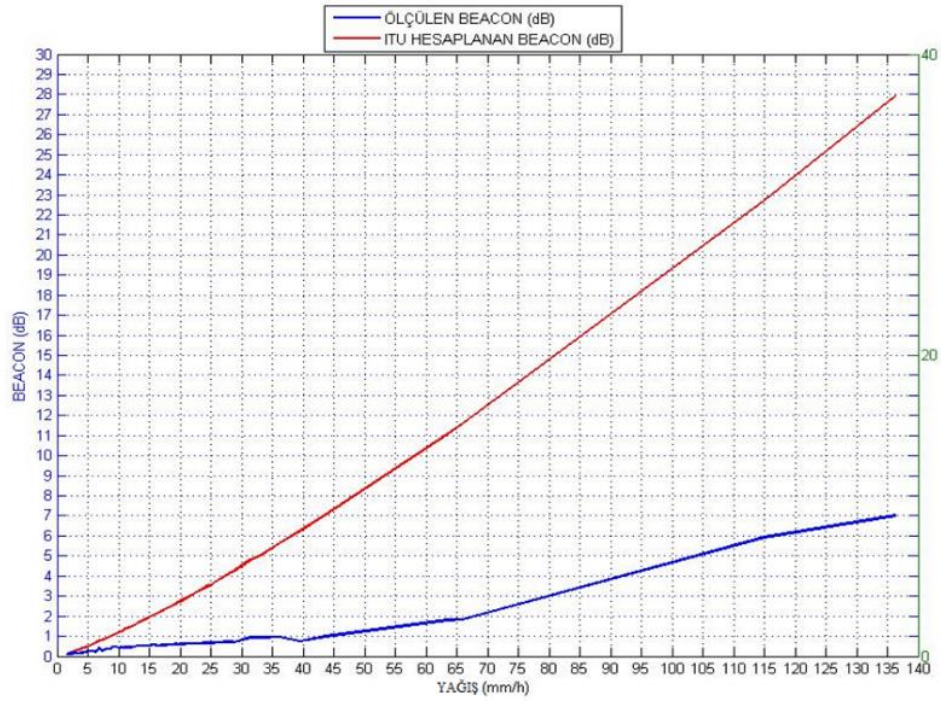
Şekil 5.6: Yağmur kaybının MATLAB simülasyonunda gösterilmesi.



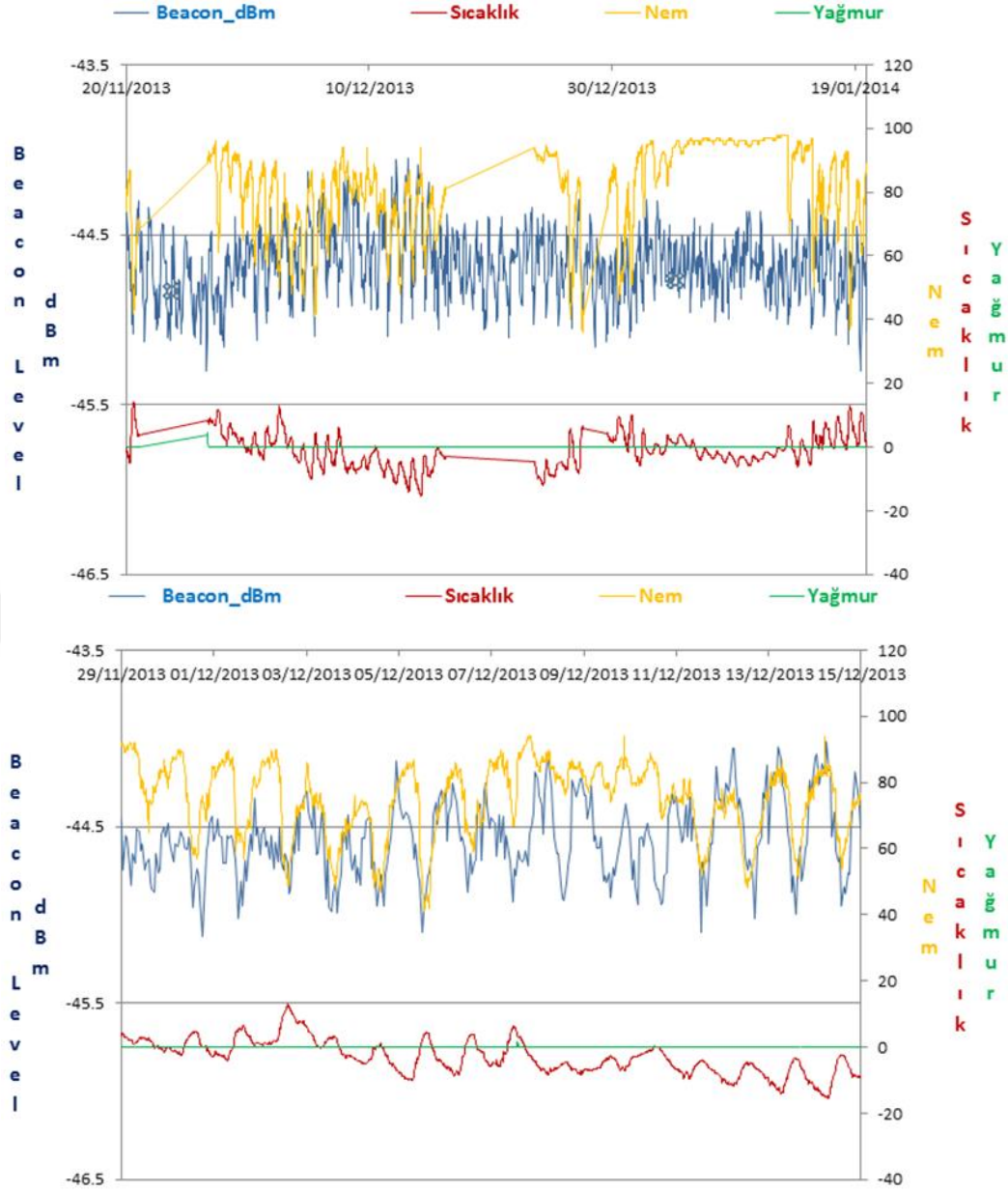
Şekil 5.7: TÜRSAT Ku bant beacon sinyalinin (8 Haziran 2012-8 Eylül 2014) tarihleri arasındaki grafiksel gösterimi [15].

Tablo 5.9: ITU-R değerleri ile Trsat değerlerinin karşılaştırılması [15].

Yağmur oranı 0.01% (mm/hr)	E°	D _s (km)	Hesaplanan L _{RAIN} (dB)	llen L _{RAIN} (dB)	Hata (dB)
5.4	43.94	3.9111	0.554	0.34	0.214
15	43.93	3.9119	1.908	0.71	1.198
18.6	44.01	3.9062	2.47	0.76	1.71
28	43.95	3.9104	4.058	0.95	3.108
31.4	43.23	3.9624	4.723	1.25	3.473
66	44.01	3.9062	11.44	2.43	9.01
115	43.99	3.9076	22.40	7.91	14.49
136.4	43.99	3.9076	27.43	9.34	18.09



şekil 5.8: ITU-R değerleri ile TRSAT değerlerinin karşılaştırılmasının grafiksel gösterilmesi.



Şekil 5.9: TÜRKSAT Ku bant beacon sinyalinin anten değişimi dönemlerinin grafiksel gösterimi [15].

Türksat Ku bant beacon sinyalinin iki yıllık değerlerini hesapladığımızda ölçülen değerler ile farklar görülmektedir. Yüksek yağış oranları tablo 5.9'da gösterilmiştir. $R_{0.01}$, 25 mm/h için 11 GHz'de $A_{0.01}$, 3.4490 dB, 11.120 GHz'de bu değer 3.5322 dB'dir. Şekil 5.7'de değerler -43 ile -46 dBm arasındadır. Bu değerlere LNA eklenmemiş halidir. Şekil 5.8'de yağış oranı arttıkça kayıpta artmaktadır. Yağmur miktarı belli zamanlarda 100 mm/h üzerine çıkmıştır. Bölüm dörtteki C/N_0 kayıplarını tekrar yazıp hesapladığımızda $EIRP_{SAT}$, 15 dB, G_R/T_S , 35.26 dB/K serbest uzay kaybı L_S 204.88 dB, L_O anten hiza kaybı, feed kaybı ve bulutlardan kaynaklı kayıplar 6.26 dB, 25mm/h için yağmur kaybı, L_r 3.537 dB, k_b , $1.38 \times 10^{-}$

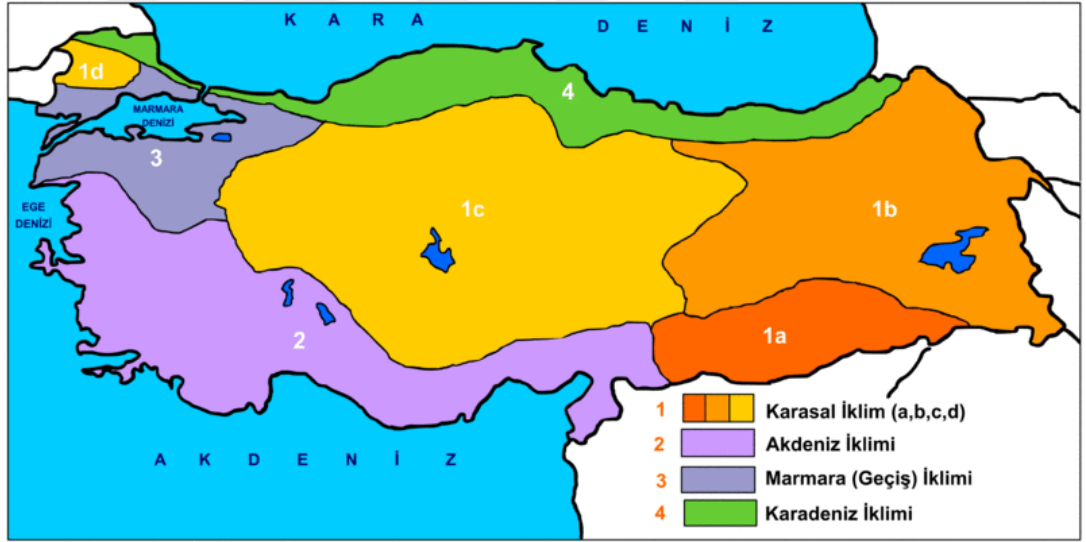
23 JK-1 = -228,6 dBW/K/Hz' dir. Buradan C/N_0 değerimizi 64.18 dB/Hz olarak bulunur. 60-80 dB/Hz aralığı ideal C/N_0 değeridir. Yağmur kaybını en aza indirmek için uydu çıkış gücü EIRP arttırmak, anten çapının artırılması, yağmur kaybını düşürmektedir. Bu değerleri matematiksel olarak hesapladığımızda $EIRP_{SAT}$ 17 dB, aldığımızda C/N_0 66.18 dB/Hz bulunur. Ve buradan 2 dB kazanç elde etmiş oluruz. Anten çapını arttırdığımızda 7.2 metreden 8 metre yaptığımızda G_R/T_S 36.18 dB/K elde ederiz. Buradan C/N_0 65.10 dB/Hz ve 0.92 dB kazanç elde etmiş oluruz. Türkiye'nin herhangi bir bölgesine kurulacak anten sisteminde bölgedeki yağış miktarına göre anten boyutunda değişiklik yapılabilir.

$$C/N_0 = EIRP_{SAT} + G_R/T_S - L_S - L_r - L_O - k_b \quad (4.10)$$

ALTINCI BÖLÜM

TÜRKİYE YAĞIŞ HARİTASININ ELDE EDİLMESİ

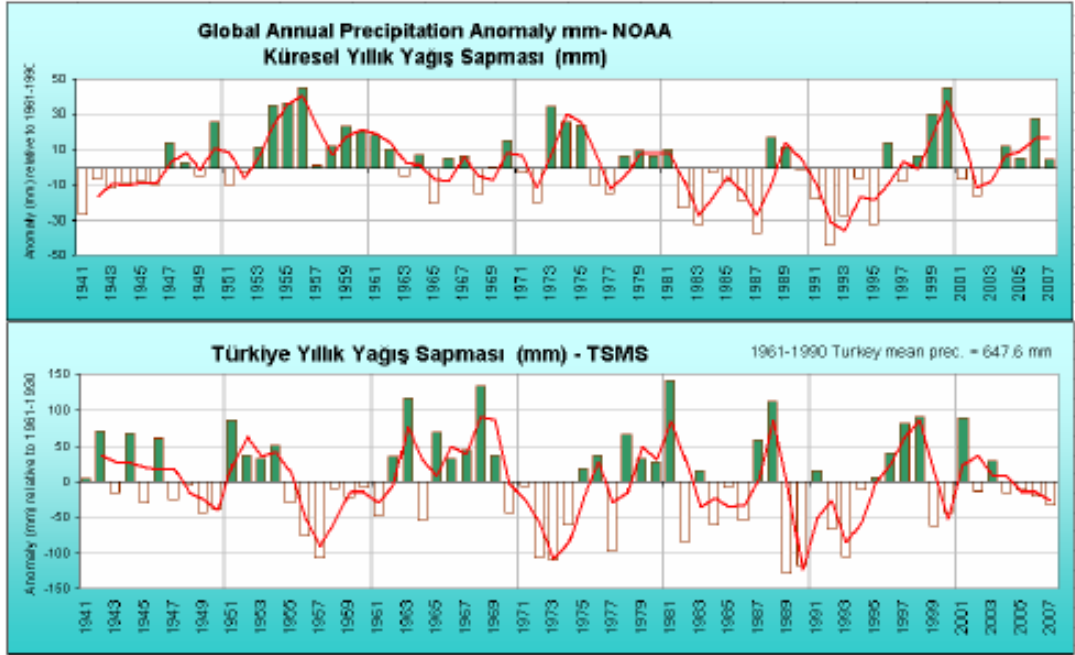
Türkiye ılıman kuşak ile alt tropikal kuşak arasında yer almaktadır. Türkiye'nin üç tarafı denizlerle çevrili olması dağların uzanış durumlarından dolayı farklı iklimler gözlenmektedir. Bundan kaynaklı olarak iç kesimlerde karasal iklim görülmektedir. Diğer bölgelerde farklı iklimler görülmektedir [19].



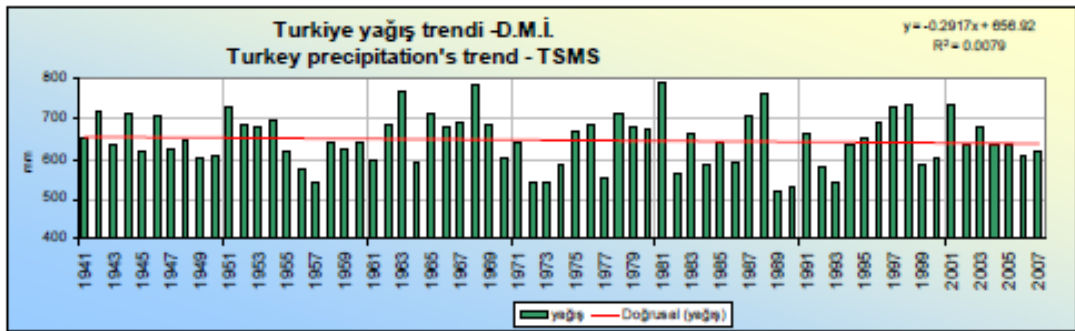
Şekil 6.1: Türkiye iklim bölgeleri [19].

Karasal iklimde yaz ile kış arasında sıcaklık farkı fazla, yağışlar genellikle ilkbahar ve kış mevsiminde olmaktadır. Yazın kuraklık egemen olmaktadır. Yağış miktarı ve sıcaklıklara göre karasal iklim çeşitlilik göstermektedir. Şekil 6.1'de karasal iklimin dört çeşidi gösterilmiştir. Akdeniz ikliminde yazlar sıcak ve kurak kışlar ılık ve yağışlıdır. Marmara bölgesi geçiş iklimidir. Akdeniz iklimi ve karasal karadeniz iklimi arasında yer almaktadır. Karadeniz ikliminde yaz ile kış arasında sıcaklık farkı çok değildir. Yazlar serin kışlar ılık geçmektedir.

6.1 Türkiye Yağış Analizi



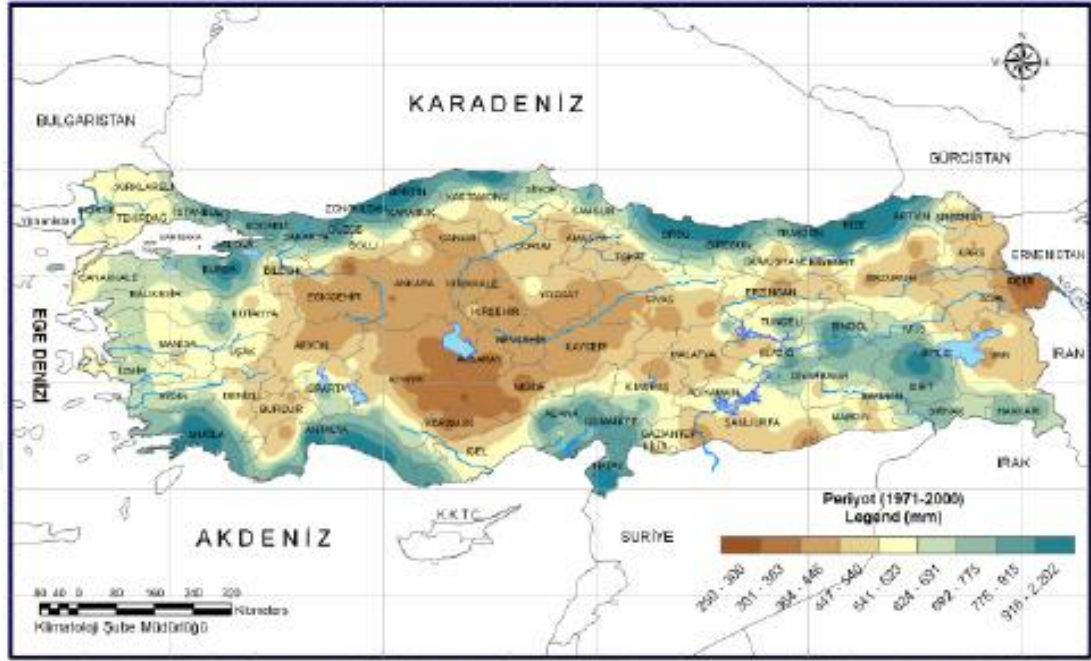
Şekil 6.2: Küresel ve Türkiye yağış sapması [19].



Şekil 6.3: Türkiye yağış ortalaması [19].

Dünya küresel ortalama yıllık toplam yağışları son dört yıl normallerin üzerinde iken Türkiye’de bu durum son dört yılda normallerin altındadır. Türkiye ortalama toplam yağışlarında yüz yıllık değerlere bakıldığında 29 mm azalış gözlenmiştir. Türkiye’nin üç tarafı denizlerle çevrili olması dağların uzanış biçiminden dolayı farklı yağış rejimleri ve iklimler gözlenmiştir. Yağışların çoğu dağların yamacına bakan yerlerde alırken iç kesimlere fazla yağış almamaktadır. Rize ve Hopa çevresinde 2200 mm yağış alırken Konya ve çevresinde bu değer 320 mm civarındadır. Türkiye’ de yağışlar alansal dağılım olduğu kadar zamansal dağılımda söz konusudur. G.Doğu Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgesinde yağışların

çoğunu ilkbaharda alırken, Akdeniz bölgesi kışın almaktadır. Karadeniz bölgesi her mevsim yağışlıdır.



Şekil 6.4: Türkiye yağış ortalaması alansal dağılımı [19].

Türkiye’de maksimum yağışlar ve tekerrür analizlerinde en az on yıl güvenilir gözlemi olan yazıcı yağış ölçer istasyonlarında yağış verileri kullanılmaktadır. Yıllık olarak standart zamanlardaki (5,10,15,30 dk,1,2,3,4,5,6,8,12,18 ve 24 saat) maksimum yağış değerleri tespit yapılır. Yağış şiddet süre analizleri yapılarak 2,5,10,25,50,100 muhtemel yağış miktarı hesaplanır. Yağış şiddetinin hesaplanabilmesi için $\sqrt{5 * t - (t/24^2)}$ formülüne göre değer eşit veya yüksek olması gerekir. Türkiye’de standart zamanlarda gerçekleşen yağışlarda kısa zamanda olan hopa bölgesi uzun zamanlı yağışlarda Marmaris bölgesidir [19].

Tablo 6.1: Türkiye'nin ölçülmüş en şiddetli yağış değerleri [19].

Süre (dk)	Miktar (mm)	Yer	Tarih
5 DK	50,5	HOPA	07.07.1988
10 DK.	60.6	HOPA	07.07.1988
15 DK.	70.7	HOPA	07.07.1988
30 DK.	90.9	HOPA	07.07.1988
1 SA.	131.0	ANTALYA	03.11.1995
2 SA.	180.5	ANTALYA	03.11.1995
3 SA.	230.9	MARMARİS	11.12.1992
4 SA.	332.3	ANTALYA	04.11.1995
5 SA.	374.3	ANTALYA	04.11.1995
6 SA.	390.3	ANTALYA	04.11.1995
8 SA.	410.4	ANTALYA	04.11.1995
12 SA.	428.1	ANTALYA	04.11.1995
18 SA.	464.8	MARMARİS	10-11.12.1992
24 SA.	466.3	MARMARİS	10-11.12.1992

Köppen iklim sınıflandırması en yaygın kullanılan iklim sınıflandırmasıdır. Bu sınıflandırma sisteminde beş ana gruba ayrılmıştır. (A,B,C,D,E) her biri çeşitli olup bu çeşitlerde bir alt tip iklimlere böler. Bu sınıflandırma ile bölgelerin ortalama ve mevsimlik yağışları göz önüne alınmıştır. Bu sayede aynı bölgedeki şehirler ve farklı bölgedeki şehirlerin yağış miktarı hakkında bize bilgi verecektir. Türkiye'nin yağış ortalaması ve bölgelerin yağış ortalamasına bakıldığında karadeniz bölgesindeki iki şehir yağış miktarı yaklaşık aynı iken sadece yağış hızında farklılık olmaktadır. Fakat bu yağış hızı çok farklı olmamaktadır. Türkiye bölgesinin yağış haritasının çıkarılmasında iklim sınıflandırılması önemli bir yer tutmaktadır. Meteoroloji genel müdürlüğü Türkiye'nin yağış haritasını çıkarmasında, iklim sınıflandırılmasından farklı değildir. Fark olarak iklim sınıflandırılırken alt iklim özellikleride eklenmiştir. Sadece yakın şehirlerin yağış miktarında daha kapsamlı bilgi vermektedir [20].



- (Bsk) Grup B Kuru iklimler (Kurak ve Yarı Kurak) Bozkır iklimi
- (Csa) Grup C Ilıman/Mezotermal iklimler Akdeniz iklimi (kuru yaz)
- (Cfa) Grup C Ilıman/Mezotermal iklimler Alt tropikal iklimi (ılıman yaz)
- (Cfb) Grup C Ilıman/Mezotermal iklimler (Denizcilik veya Okyanus)
- (Dsa) Grup D Avrupa/Mikrotermal iklimler (Sıcak yaz kıta iklimi)
- (Dsb) Grup D Avrupa/Mikrotermal iklimler hemiboreal iklim
- (Dfa) Grup D Avrupa/Mikrotermal iklimler (Sıcak yaz kıta iklimi)
- (Dfb) Grup D Avrupa/Mikrotermal iklimler hemiboreal iklim

Şekil 6.5: Köppen iklim sınıflandırması Türkiye haritası [20].

6.2 ITU-R P.837-6, Annex 3 göre Türkiye Yağmur Oranının Hesaplanması

Türkiye yağmur haritasının çıkarılması için öncelikli olarak o bölgenin yağış oranı yüzdesi bilinmesi gerekir. Yağış miktarı seçilirken yüzde olarak %99.99 seçilir. $R_{0.01}$, olarak alınır. ITU-R 837 modeline göre genel bir Türkiye haritası elde edilmiştir. Fakat bizim istediğimiz elde edilen değerler ile gerçek değerleri karşılaştırarak 11.120 GHz beacon frekansında 7.2 metre anten için Gölbaşı, Ankara dışında bir bölgedeki C/N_0 değerlerini hesaplayarak gerçek Türkiye yağış haritasını çıkarmaktır. Bu sayede başka bir ilde kurulacak aynı sistemin performansı hakkında da bilgi sahibi olunacaktır. Yağmur yağış periyotları alınırken 30,20,10,5 dakika periyotlar şeklinde alınmaktadır. Nümerik hava tahmin verilerinde o bölgedeki toplam yağıştan ziyade bir saatlik ve beş dakikalık (mm/h) yağışlar önemlidir. Bizim için bir dakikalık yağış hızı kesin sonuca varmamızda yardımcı olacaktır. ITU-R 837-5 göre yapılacak tüm formüller hem şehirler için hem de Türkiye haritasını çıkarmamızda oldukça zaman alacaktır. ITU-R 837-6 Annex 3 Matlab simülasyonu ile o şehrin bir dakikalık ve bir saatlik yağış değerlerini elde ederiz. ITU-R 837-5 formülizeden farklı olarak Matlab simülasyonu formülleri hesaplayarak bu değerleri

bize sağlamaktadır. Matlab giriş değerlerini istenilen formatta hesaplamamız gerekmektedir. Burada bizim için en önemlisi zaman dilimi, enlem, boylam açısı ve yükseklik açısıdır. Enlem ve Boylam açısının sınırları belirtilmiştir. Zaman değeri altmış dakika olarak alınmıştır. Şekil 6.8’de gösterilmiştir.

Inputs

T-minute integrated P(R): percentage values [0%..100%]

T-minute integrated P(R): rain rate values [mm/h]

Source integration time [minute] Latitude [° N] Longitude [° E] Input source

Loaded from CSV f...

Advanced setting: GA options

Population size Generation number

1000 15

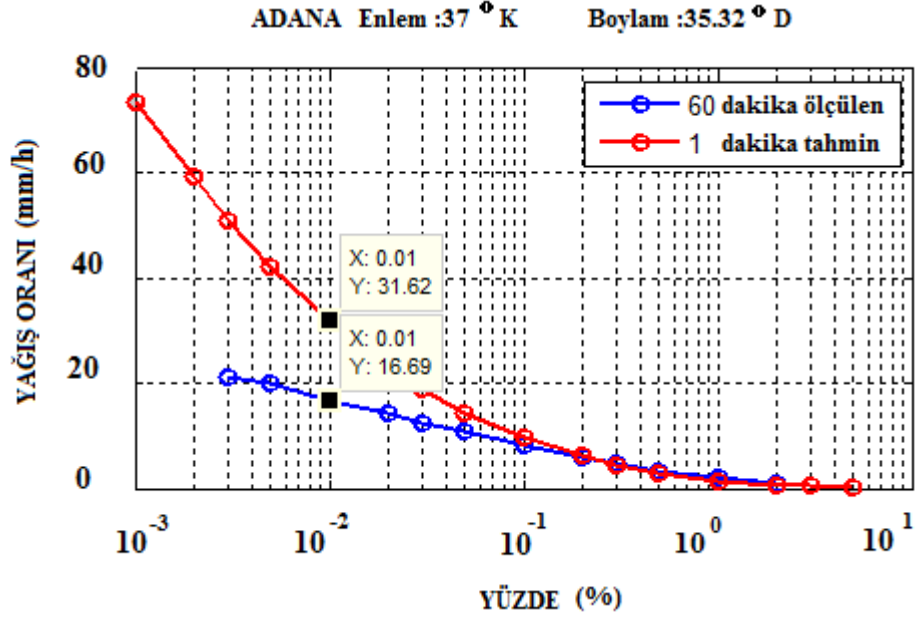
Usage

- 1) Select 'Input source': 'Provided by user' requires to fill in all the fields in this interface; 'Loaded from CSV file' prompts the user to select a CSV containing formatted input data (possible multiple inputs).
- 2) Insert the vectors relative to the T-minute integrated P(R), with values separated by blank spaces (e.g. 1 2 3...).
- 3) Insert the source integration time (between 5 and 60 minutes) and the geographical coordinates of the site (degrees in decimal format: latitude greater than -90° N and lower than 90° N and longitude between -180° E and 180° E).
- 4) Click on 'Start conversion'; results will be displayed and saved in ASCII files P1.dat, R1.dat and LogPL_coeffs.dat.
- 5) The section 'Advanced setting: GA options' allows to set the two main parameters of the Genetic Algorithm. Increasing the population size and the generation number usually enhances the optimization procedure, at the expense of the calculation time.

Şekil 6.6: Matlab simülasyonunun grafiksel arayüzü.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	1.21,103.4,60												
2	1,0.9000,0.8000,0.5000,0.3000,0.1000,0.0900,0.0800,0.0500,0.0300,0.0200,0.0100,0.0090,0.0080,0.0050,0.0030,0.0020,1.0000e-003												
3	12.5000,13.6000,17,21.1000,26.8000,40.1000,42.1000,43.8000,50,57.5000,64,73.7000,0,0,0,0,0												
4	36.3792,127.3644,60												
5	5,3,2,1,0.5000,0.3000,0.2000,0.1000,0.0500,0.0300,0.0200,0.0100,0.0050,0.0030,0.0020,1.0000e-003												
6	0.4700,1.2900,2.2200,4.3700,7.2000,9.6600,11.8100,17.3500,21.5800,27.9700,33.7500,45.2000,50.7000,55.7400,60.8700,0												

Şekil 6.7: Matlab simülasyonunun giriş değerleri örneği.



Şekil 6.8: ADANA şehrinin yağış oranı Matlab simülasyonu.

$$C/N_0 = EIRP_{SAT} + G_R/T_S - L_S - L_r - L_O - k_b \quad (4.10)$$

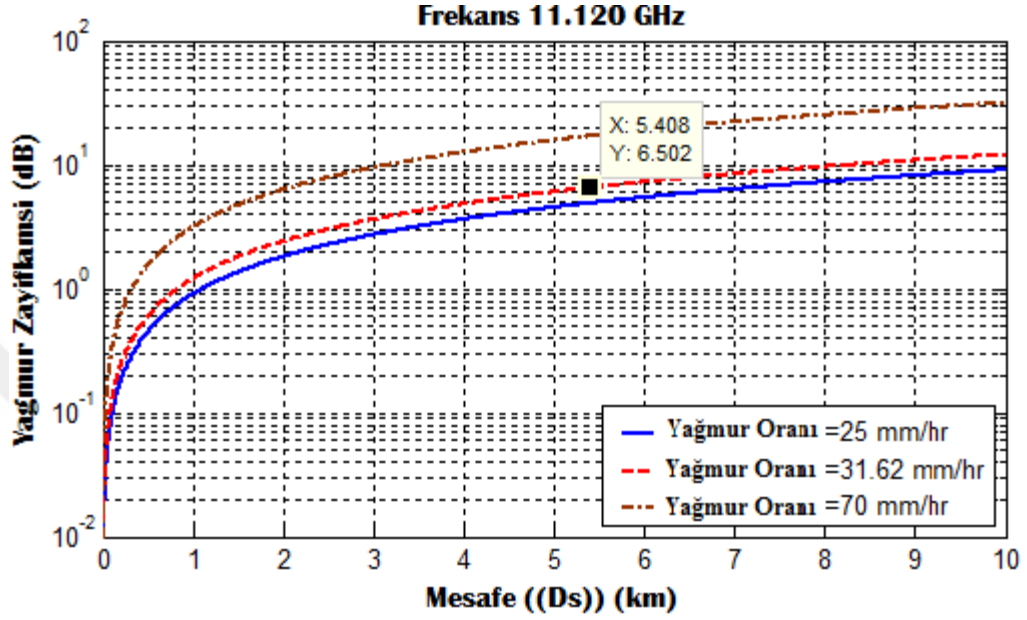
Şehrin yağmur kaybı hesaplanarak sistem performansını hesaplayabiliriz. Bu hesaplama göre buraya konulacak yer sisteminin uygun olup olmadığını elde edebiliriz.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M																						
1	37.00	35.32	60																																
2	4.8443	3.3569	2.6336	2.2035	1.8911	1.6676	1.4321	1.2904	1.127	1.0116	0.91071	0.83381	0.72809	0.65359	0.58391	0.54066	0.49981	0.46617																	
3	0.2	0.4	0.6	0.8	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.2	2.4	2.6	2.8	3.2	3.4	3.6	3.8	4.2	4.4	4.6	4.8	5.2	5.4	5.6	5.8	6.2	6.4	6.6	6.8	7.2	7.4	7.6	7.8	8.2	8.8
4																																			

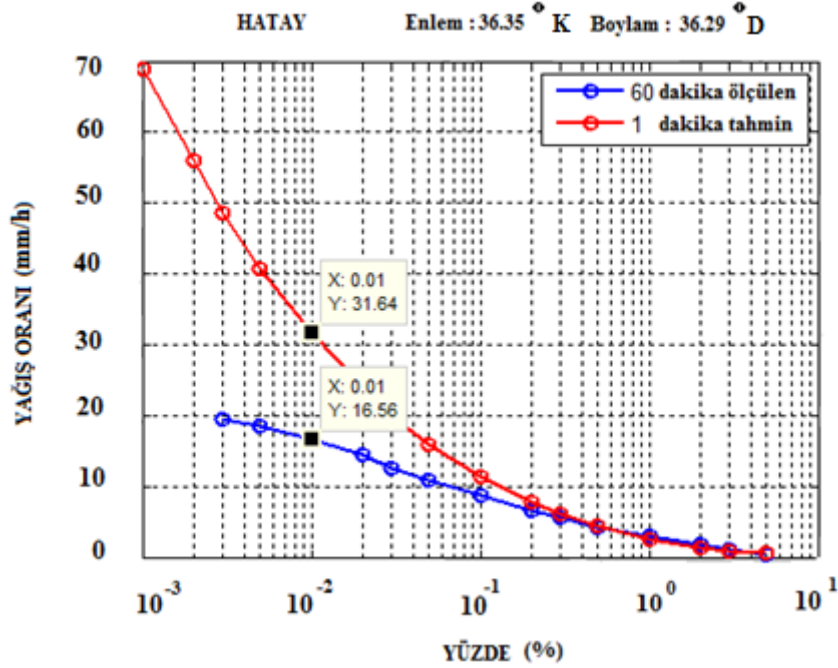
Şekil 6.9: ADANA şehrinin giriş değeri örneği.

C/N_0 kayıplarını tekrar yazıp hesapladığımızda $EIRP_{SAT}$, 15 dB, G_R/T_S , 35.26 dB/K serbest uzay kaybı hesaplarken Adana şehrinin uyduya olan mesafesi, 37307 km 'dir. Bu formül ile L_S 204.82 dB, L_O anten hiza kaybı, feed kaybı ve bulutlardan kaynaklı kayıplar 6.26 dB, bir dakikalık yağış hızı 31.62 mm/h 'dır. Adana şehrinin denizden yüksekliği 23 metredir. Yükseklik açısı 46. 56 derecedir. D_S , değerini hesapladığımızda 5.408 km bulunur. Yağmur kaybı, L_r 6.502 dB, k_b , 1.38×10^{-23} JK-1 = -228,6 dBW/K/Hz' dir. Buradan C/N_0 değerimizi 61.27 dB/Hz olarak bulunur. Sistem performansını Gölbaşı, Ankara, Türkiye bölgesine eşitlemek istediğimizde anten çapını arttırmak gerekir. 7.2 metre olan anten 8 metre yaptığımızda, 0.93 dB kazanç olur buradan, 62.20 dB elde edilir. 9 metre

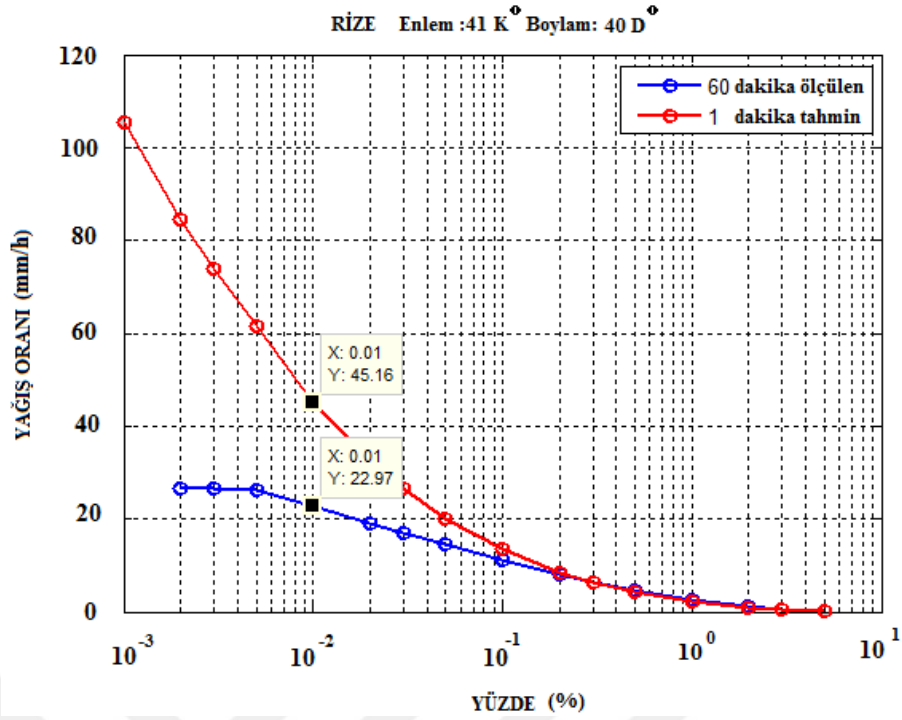
yaptığımızda 1.949 dB ve 63.21 dB elde ederiz. Her 1cm anten çapı arttırıldığında 3000 TL ve 7.2 cm olan antenimiz 9 metre olduğunda 54000 TL harcama yapılması gerekmektedir. Yer sistemlerinde anten çeşitleri yapılırken belirli standartlar vardır; bunlar 7.6 - 8.1 metre ve 7.3 - 9 metre'dir.



Şekil 6.10: ADANA şehrinin yağmur kaybının Matlab simülasyonu.

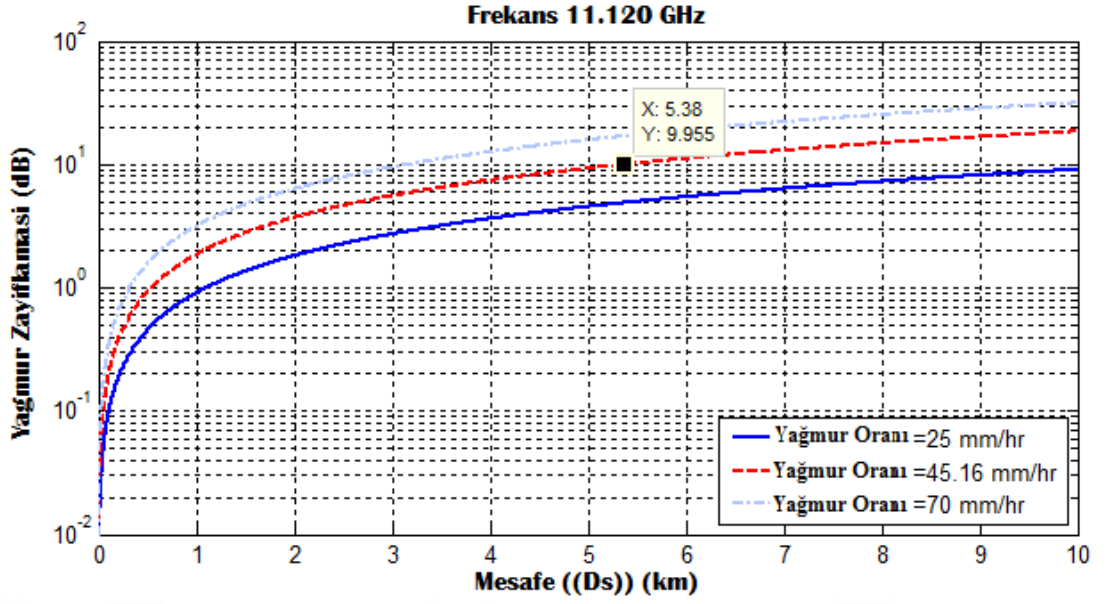


Şekil 6.11: HATAY şehrinin yağış oranı Matlab simülasyonu.



Şekil 6.12: RİZE şehrinin yağış oranı Matlab simülasyonu.

Rize şehrinin uyduya olan mesafesi, 37587 km'dir. $EIRP_{SAT}$, 15 dB, G_R/T_S , 35.26 dB/K, serbest uzay kaybı hesaplararken formül ile L_S 204.88 dB, L_O anten hiza kaybı, feed kaybı ve bulutlardan kaynaklı kayıplar 6.26 dB, bir dakikalık yağış hızı 45.16 mm/h'dır. Rize şehrinin denizden yüksekliği 6 metredir. Yükseklik açısı 42.61 derecedir. D_S , değerini hesapladığımızda 5.380 km bulunur. Yağmur kaybı, L_r 9.955 dB, k_b , 1.38×10^{-23} JK⁻¹ = -228,6 dBW/K/Hz' dir. Buradan C/N_0 değerimizi 57.76 dB/Hz olarak bulunur. Sistem performansı Gölbaşı bölgesindeki değerden oldukça küçüktür. Bunun sebebi Rize şehrinin yağış oranı en fazla olan şehirlerimizden biridir. Köppen iklim sınıflandırılmasına göre aynı bölgede yer alan şehirlerin yağış miktarı çok farklı olmamaktadır. Adana ve Hatay şehirleri ılıman iklim kuşağından akdeniz ikliminin içinde yer almaktadır. Adana şehrinin yağış oranı 31.62 mm/h, Hatay şehrinin yağış oranı 31.64 mm/h'dır. Türkiye'nin yağmur oranı haritası [EK E] gösterilmiştir.



Şekil 6.13: RİZE şehrinin yağmur kaybının Matlab simülasyonu.

Tablo 6.2: Türkiye'nin ölçülmüş yağış oranları değerleri.

Şehir	Yağmur oranı 0.01% (mm/hr) 1/60 dk	E°	D _s (km)	Hesaplanan L _{RAIN} (dB)	C/N ₀ (dB/Hz)
ADANA	31.62/16.69	46.56°	5.408	6.502	61.27
ADIYAMAN	25.93/17.76	46.09°	4.470	4.228	63.56
AFYON	21.16/13.38	44.66°	3,960	2.92	64.83
AĞRI	15.03/8.56	44.43°	3.770	1.493	66.25
AMASYA	17.46/12.16	42.86°	4.820	2.825	64.89
ANKARA	16.38/8.73	42.89°	4.100	2.220	65.50
ANTALYA	41.99/20.03	43.36°	5.480	9.280	58.49
AYDIN	34.51/18.53	44.07°	5.587	7.407	60.25
BALIKESİR	34.01/18.53	41.97°	5.450	7.156	62.26
BİLECİK	21.83/14.43	42.88°	4.290	3.290	64.43
BİNGÖL	21/14.13	45.39°	3.760	2.760	64.96
BİTLİS	22/13.7	45.74°	3.260	3.260	64.51
BOLU	20.34/14.06	42.01°	4.480	3.159	64.55
BURSA	22.52/14.13	41.66°	5.360	4.270	63.43
ÇORUM	21.29/15.31	42.79°	4.250	3.167	64.55
DİYARBAKIR	20.15/12.56	46.48°	4.480	3.123	64.65
EDİRNE	24/18.56	39.59°	5.450	5.390	62.28

Tablo 6.2 (Devam): Türkiye'nin ölçülmüş yağış oranları değerleri.

Şehir	Yağmur oranı 0.01% (mm/hr) 1/60 dk	E°	D _s (km)	Hesaplanan L _{RAIN} (dB)	C/N ₀ (dB/Hz)
ELAZIĞ	24.12/17.05	45.45°	3.890	3.370	64.40
ERZİNCAN	24.82/17.20	44.30°	3.690	3.310	64.44
GAZİANTEP	26.38/17.76	46.81°	3.100	2.994	64.79
GÜMÜŞHANE	20.44/10.70	43.39°	3.710	2.630	65.09
HATAY	31.64/16.56	47.43°	5.314	6.320	61.48
İSTANBUL	26.05/16.58	40.68°	5.440	5.170	62.52
İZMİR	27.66/16.73	43.05°	5.640	5.760	61.97
KARS	23.96/14.48	43.35°	2.810	2.420	65.31
KAYSERİ	25.38/17.32	44.65°	3.950	3.640	64.14
KIRŞEHİR	19.77/12.56	44.06°	4.030	2.745	64.99
KONYA	17.95/8.45	45.37°	4.060	2.460	65.31
MANİSA	24.79/18.56	43.00°	5.530	5.440	62.29
MARAŞ	19.93/12.56	46.17°	4.630	3.188	64.59
MARDİN	24.73/14.48	46.90°	3.900	3.480	64.31
MUĞLA	48.01/22.63	44.60°	4.650	9.280	58.47
RİZE	45.16/22.97	42.61°	5.380	9.800	57.92
SAMSUN	33.79/21.30	42.10°	5.410	7.040	60.67
SİİRT	20.01/14.68	46.09°	4.140	2.862	64.92
TRABZON	45.33/22.97	42.52°	5.370	9.980	57.74
VAN	17.44/8.45	45.67°	2.970	1.738	66.63
YOZGAT	20.57/12.57	43.37°	3.550	2.530	65.20
ZONGULDAK	38.57/21.65	41.15°	5.500	8.400	59.29
AKSARAY	14.54/6.36	44.98°	4.070	1.912	65.84
BAYBURT	13.82/9.96	43.56°	3.156	1.394	66.32
BATMAN	19.51/11.74	46.09°	4.620	3.097	64.62
BARTIN	34.11/21.30	40.95°	5.450	7.480	60.50
ARDAHAN	24.61/16.55	42.59°	2.720	2.420	65.30
YALOVA	25.49/16.51	42.04°	5.470	5.060	62.65
KİLİS	25.69/17.32	47.15°	4.540	4.240	63.55

YEDİNCİ BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Uydu haberleşme sistemlerinde kayıplar incelenirken marjın hesaplanması önemli bir yer tutmaktadır. Bu uydu tasarımında bize yardımcı olacaktır. TÜRKİSAT *Ku* bant beacon sinyalinin iki yıllık, bu ölçümlerinde gerçek kayıplar elde edilmiştir. Türkiye, Ankara, Gölbaşı bölgesinin iklim koşulları ve yağmur yağış değerleri ITU-R belirlediği K bölgesinden farklıdır. Güney Asya ve Kuzey Irak bölgeleriyle aynı yağmur bölgesi saymak çok doğru sonuç vermemektedir. Tropik bölgelerdeki yağmur yağış oranı karasal iklimden farklıdır. Meteorolojiden alınan verilere göre 10 mm/h-30 mm/h yağış oranına sahip ve 30 mm/h üzerine nadir olarak çıkmıştır. İki yıllık veriler ITU-R modeline göre hesaplanmıştır. Buradan çıkarılan sonuçlar tablo 5.9'da gösterilmiştir. 15 mm/h bir yağışta ITU-R hesaplanan değer 1.908 dB iken TÜRKİSAT 'da ölçülen bu değer 0.71 dB'dir. Aynı şekilde 136.4 mm/h yağışta hesaplanan değer 27.43 dB iken TÜRKİSAT' da ölçülen bu değer 9.34 dB 'dir. ITU-R 838 modeline göre yağış oranı arttıkça kayıp oranı da artmaktadır. Fakat bu kayıp miktarı *Ku*-bant değerlerini yansıtmamaktadır. Lineer olarak aldığımızda bu fark fazladır. *Ku* bantlarında yağmur kayıpları 5-15 dB arasında değişmektedir. 15dB ve üzeri kayıplar ancak *Ka* bant frekanslarında görülmektedir. Bir bölgedeki gerçek kayıplar o bölgedeki yağış miktarına bağlıdır. İç Anadolu bölgesi ile Karadeniz bölgesi arasında farklar vardır. Böyle bir bölgedeki yağmur miktarı 25-30 mm/h fazla olmaktadır. Anten seçimi yapılırken bu bölgedeki yıllık yağış miktarını göz önünde tutmak zorundayız. Gerçek kayıp miktarını hesaplayarak diğer frekanstaki taşıyıcıların ne kadar etkilendiğini, verimliliğini net bir şekilde hesaplayabiliriz. Yağmur kaybını en aza indirmek için uydu çıkış gücü EIRP arttırmak, LNB gürültü değerini düşürmek, anten çapının artırılması, antendeki yağmur sensörünün

debisinin arttırılması yağmur kaybını düşürmektedir. Türkiye’de yağış haritasını çıkardığımızda Gölbaşı, Ankara’da kullanılan 7.2 metre antenin aynı değerler ile başka illerde sistem performansına baktığımızda yağış oranı yüksek olan illerimizde sistem performansı olan C/N_0 değeri oldukça düşük olmaktadır. Özellikle karadeniz bölgesinde Rize, Trabzon çevresinde oldukça düşmektedir. Bu sayede buraya kurulacak yedek istasyonumuzda bize ne kadar bir maliyet artışı sağladığı ayrıca bu maliyet artışına göre aynı harcamaya bakıldığında birden çok istasyonun başka illere yapılabileceğini göstermiş bulunmaktadır. İklim sınıflandırması bize bölgelerdeki yağış oranları hakkında da bilgi vermektedir. ITU-R 837-6 göre Türkiye yağış haritası çıkarılmıştır. Fakat uzun dönemli yağış değerleri bize göstermektedir ki ITU-R 837-6 yağış oranı değerleri ile gerçek değerler arasında farklar vardır. Yağış oranı en yüksek yerlerden biride kıyı bölgeleridir. İç kesimlerde yağış oranları düşük bölgelerimizdir. Ve sistem performansı yüksek olmaktadır. Yedek istasyon kurmak istediğimizde iç kesimleri göz önünde bulundurmalıyız. Düşük yağmur oranları bize o şehirde düşük bir çapta ya da aynı çapta kullanılan bir anten için maliyette ne kadar kazanç elde ettiğimizi göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Akgöl O. Yrd. Doç. Dr., (2007) Horn Antenler...Erişim tarihi: 21.Nisan. 2016, www.mku.edu.tr/getblogfile.php7ppt.
- [2] Alansal yağış değerlendirilmesi 2014 (2014) Meteoroloji Genel Müdürlüğü pp: 5-10
- [3] Ameen H.J.J., (2015, May) Rain effect on Ku Band satellite system: *Electrical and Electronics Engineering: An International Journal (ELELIJ) Vol 4, No 2.*
- [4] Anten ve RF eğitimi (2006-2015) TÜRKSAT Uydu Haberleşme Kablo TV ve İşletme A.Ş. / Yer İstasyonları Direktörlüğü.
- [5] Cakaj S. Malaric K., (2007, November, December), Rigorous analysis on performance of LEO satellite ground station in urban environment: *International Journal of Satellite Communications and Networking, Vol. 25, No. 6, pp. 619–643, UK*
- [6] Cakaj S. Malaric K.,(2008,February), Downlink Performance comparison for Low Earth Orbiting Satellite Ground Station at S-bant in Europe: *IASTED, in Proceedings of 27th International Conference on Modeling, Identification and Control, Innsbruck, Austria, pp. 11– 13*
- [7] Capela, R.J.C. (2012,April),*Protocol of Communications For Vorsat Satellite Link Budget, Master degree in Electrical Engineering, Universidade do Porto Faculdade de Engenharia, Porto*
- [8] Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems (2015, Ağustos, 11) E70000, (206/3): RECOMMENDATION ITU-R P.618-12
- [9] Elektrik - Elektronik Teknolojisi (2013) Uydu Haberleşmesi Ankara: T.C. Milli Eğitim Bakanlığı.

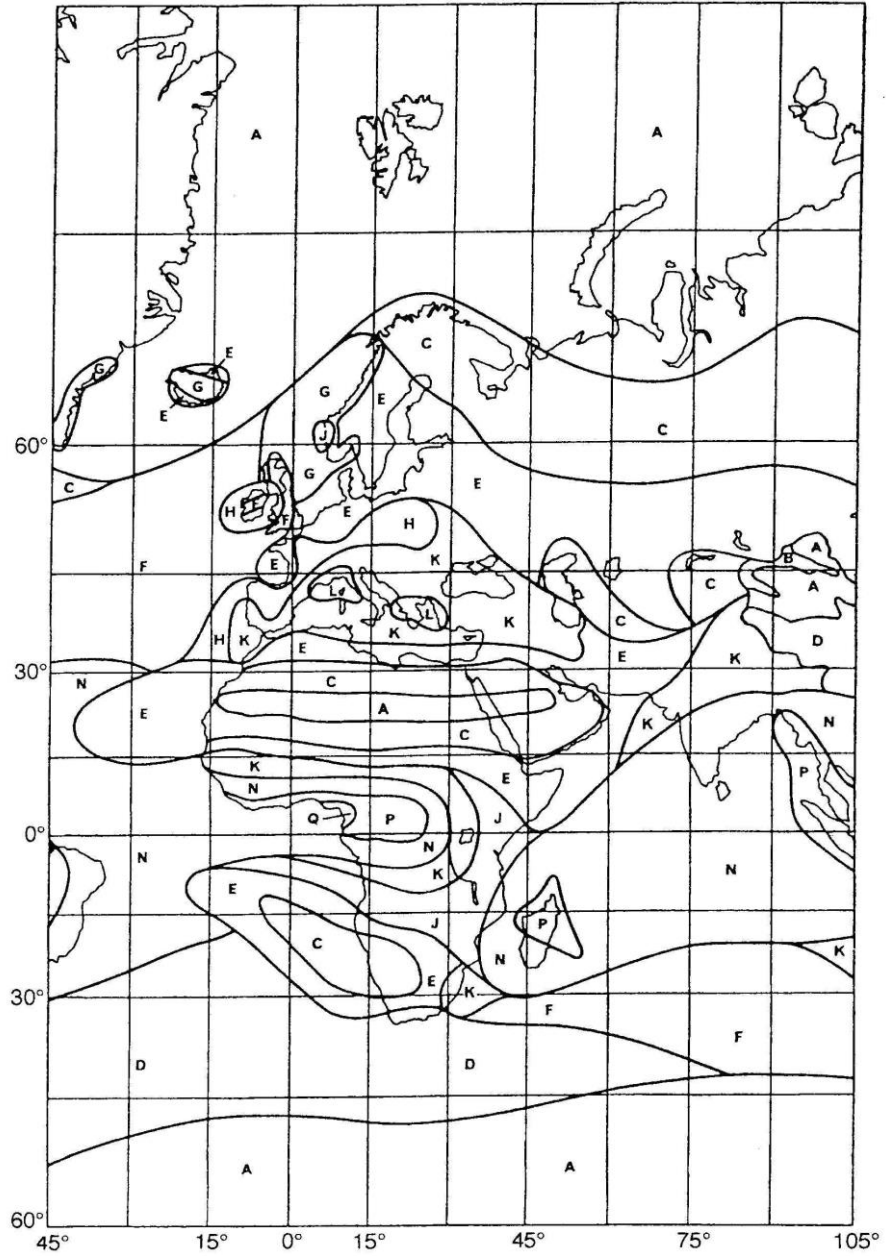
- [10] Hui Y.L. Dr., Sain W. K., Sin Y.L., *Overcoming Rain Fade Obstacle- Understanding Singapore's Rain Dynamics and Feasible Countermeasures Against Rain Fading-DSTA Horizons (6-15)*
- [11] Kestwal. C.M. , Joshi S., and Garia S.L.(2014,June,11) *Prediction of Rain Attenuation and Impact of Rain in Wave Propagation at Microwave Frequency for Tropical Region (Uttarakhand, India): International Journal of Microwave Science and Technology Volume 2014, ID 958498, pp.6*
- [12] *Specific attenuation model for rain for use in prediction methods* (2013) 201309-I, (201/3) RECOMMENDATION ITU-R P.839-4
- [13] *Specific attenuation model for rain for use in prediction methods* (2005, September, 29), E27367 (03-05): RECOMMENDATION ITU-R P.838-3
- [14] Tanrikulu H., Kaplan A., *Radyo Elemanları ve Frekans Tayfları...* Erişim tarihi:06.Mayıs.2016,http://networktechnology.weebly.com/uploads/7/6/0/7/7607783/wireless_tr_haluk.pdf
- [15] TÜRKSAT Uydu Haberleşme Kablo TV ve İşletme A.Ş./Yer İstasyonları Direktörlüğü / Arşiv: 2012-2014 11.120 GHz Ku bant beacon telemetry bilgisi.
- [16] Yıllık, Günlük, Saatlik yağış miktarı (2012-2014): Meteoroloji Genel Müdürlüğü Gölbaşı İstasyonu: 17134
- [17] www.philsrockets.org.uk/Rain%20Fades.pdf
- [18] <http://about.keysight.com/en/newsroom/backgrounders/FieldFoxsatellite/>
- [19] Şensoy S., Demircan M., Ulupınar Y., Balta İ., (2008) Türkiye İklimi: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü,P.O.Box:401,Ankara,Türkiye
- [20] https://en.wikipedia.org/wiki/Köppen_climate_classification
- [21] *Characteristics of precipitaton for propagation modeling/ P series* (2012,02,201/3): RECOMMENDATION ITU-R P series radiowave propagation .837-5-6

EKLER

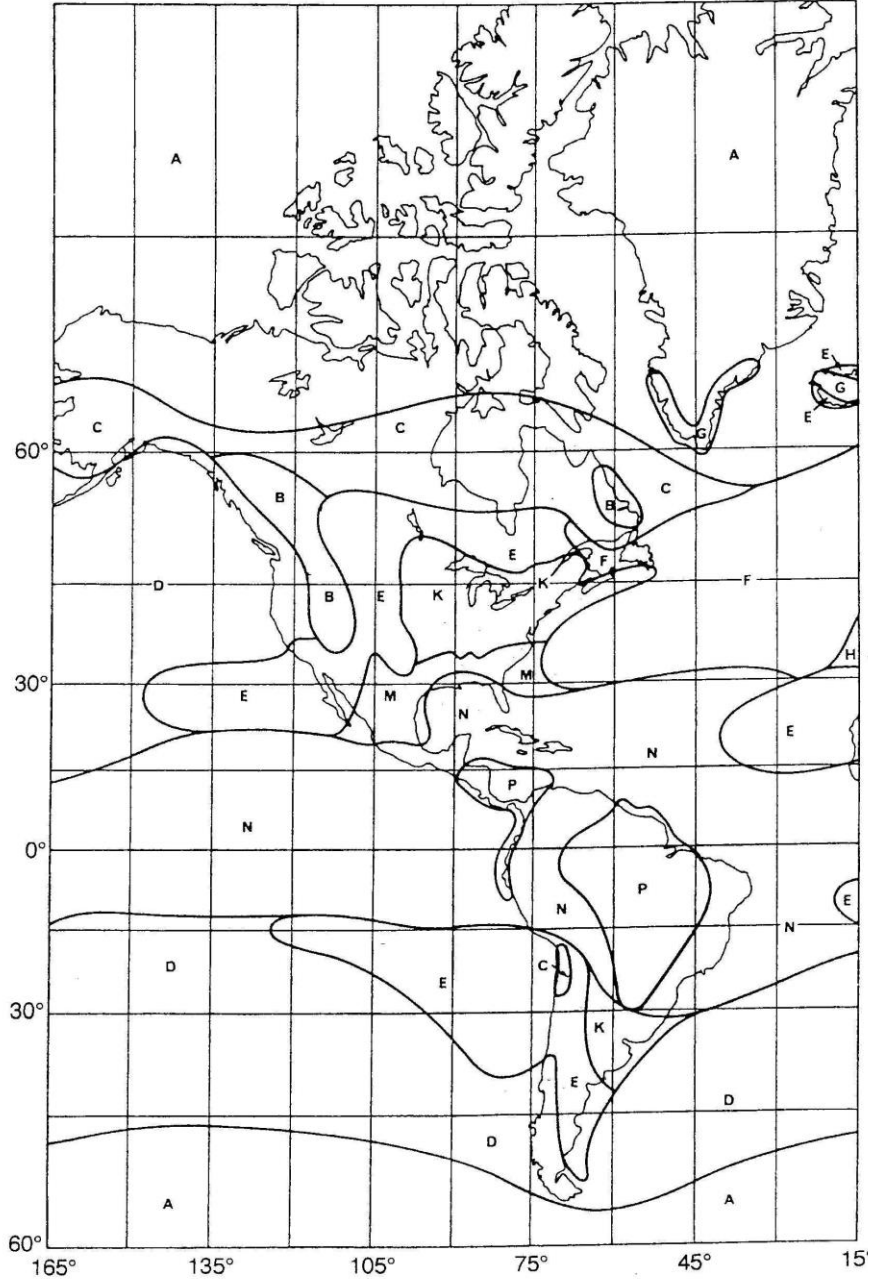
Ek-A : Yağış Oranı Haritaları	59
Ek-B : Frekansları belli olan Katsayıların Nümerik Değerleri	62
Ek-C : Yağmur Zayıflamasının Matlab Kodu.....	66
Ek-D : Nomogram.....	68
Ek-E : $R_{0.01}$ %0.01 yağmur oranı.....	69



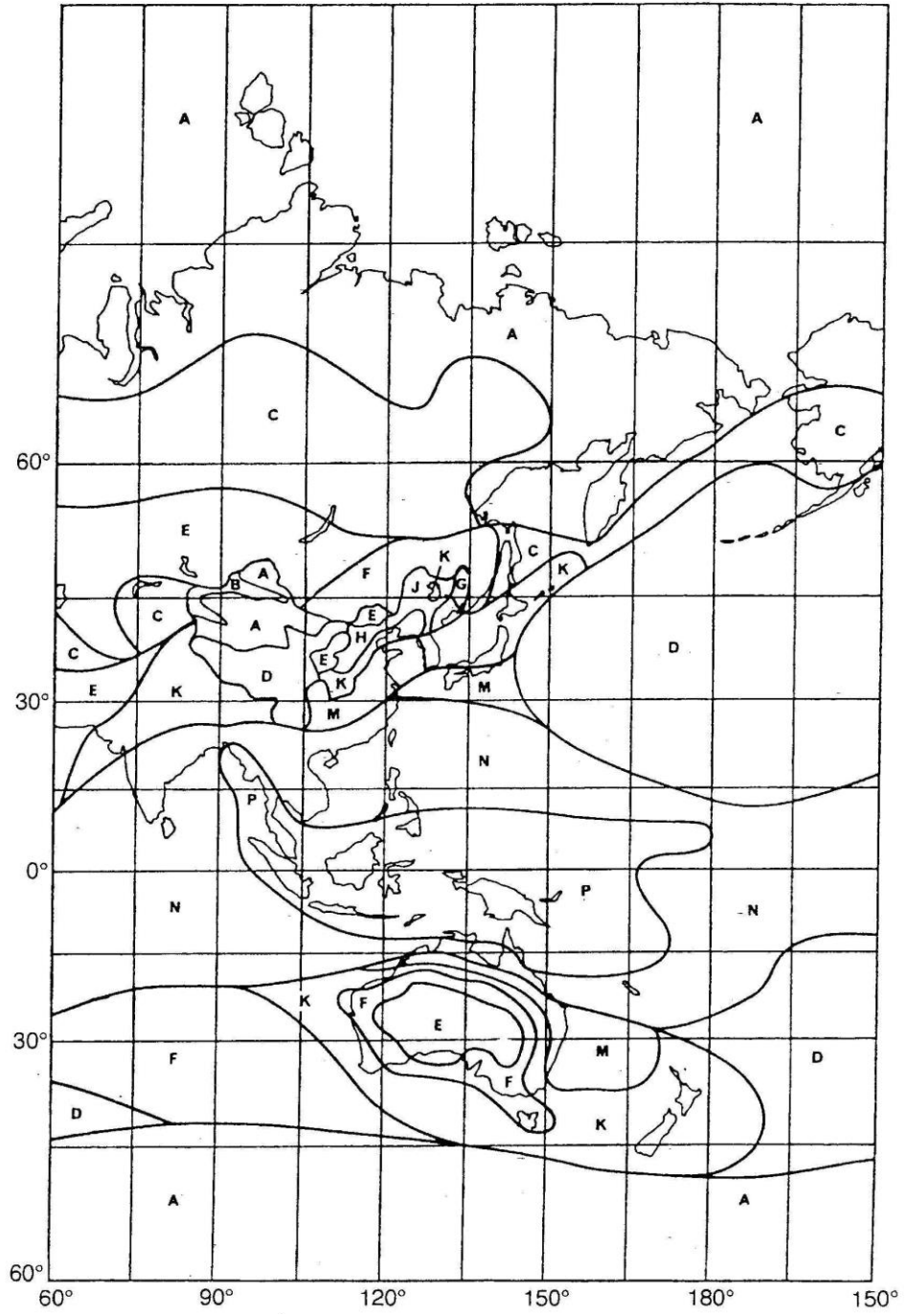
Ek-A: Yağış Oranı Haritaları



Şekil A-1: ITU-R göre kıtalara göre ayrılan bölgelerin yağış oranlarının bölgesel tanımı.



Şekil A-1 (Devam): ITU-R göre kıtalara göre ayrılan bölgelerin yağış oranlarının bölgesel tanımı.



Şekil A-1 (Devam): ITU-R göre kıtalara göre ayrılan bölgelerin yağış oranlarının bölgesel tanımı.

Ek-B: Frekansları Belli Olan Katsayıların Nümerik Değerleri

Tablo B.1: 1-1000 GHz arasındaki frekansların horizontal (yatay) ve vertical (dikey) katsayı değerlerinin gösterilmesi.

Frequency (GHz)	k_H	α_H	k_V	α_V
1	0.0000259	0.9691	0.0000308	0.8592
1.5	0.0000443	1.0185	0.0000574	0.8957
2	0.0000847	1.0664	0.0000998	0.9490
2.5	0.0001321	1.1209	0.0001464	1.0085
3	0.0001390	1.2322	0.0001942	1.0688
3.5	0.0001155	1.4189	0.0002346	1.1387
4	0.0001071	1.6009	0.0002461	1.2476
4.5	0.0001340	1.6948	0.0002347	1.3987
5	0.0002162	1.6969	0.0002428	1.5317
5.5	0.0003909	1.6499	0.0003115	1.5882
6	0.0007056	1.5900	0.0004878	1.5728
7	0.001915	1.4810	0.001425	1.4745
8	0.004115	1.3905	0.003450	1.3797
9	0.007535	1.3155	0.006691	1.2895
10	0.01217	1.2571	0.01129	1.2156
11	0.01772	1.2140	0.01731	1.1617
12	0.02386	1.1825	0.02455	1.1216
13	0.03041	1.1586	0.03266	1.0901
14	0.03738	1.1396	0.04126	1.0646
15	0.04481	1.1233	0.05008	1.0440

Tablo B.1 (Devam): 1-1000 GHz arasındaki frekansların horizontal (yatay) ve vertical (dikey) katsayı değerlerinin gösterilmesi.

Frequency (GHz)	k_H	α_H	k_V	α_V
16	0.05282	1.1086	0.05899	1.0273
17	0.06146	1.0949	0.06797	1.0137
18	0.07078	1.0818	0.07708	1.0025
19	0.08084	1.0691	0.08642	0.9930
20	0.09164	1.0568	0.09611	0.9847
21	0.1032	1.0447	0.1063	0.9771
22	0.1155	1.0329	0.1170	0.9700
23	0.1286	1.0214	0.1284	0.9630
24	0.1425	1.0101	0.1404	0.9561
25	0.1571	0.9991	0.1533	0.9491
26	0.1724	0.9884	0.1669	0.9421
27	0.1884	0.9780	0.1813	0.9349
28	0.2051	0.9679	0.1964	0.9277
29	0.2224	0.9580	0.2124	0.9203
30	0.2403	0.9485	0.2291	0.9129
31	0.2588	0.9392	0.2465	0.9055
32	0.2778	0.9302	0.2646	0.8981
33	0.2972	0.9214	0.2833	0.8907
34	0.3171	0.9129	0.3026	0.8834
35	0.3374	0.9047	0.3224	0.8761
36	0.3580	0.8967	0.3427	0.8690
37	0.3789	0.8890	0.3633	0.8621
38	0.4001	0.8816	0.3844	0.8552
39	0.4215	0.8743	0.4058	0.8486
40	0.4431	0.8673	0.4274	0.8421
41	0.4647	0.8605	0.4492	0.8357
42	0.4865	0.8539	0.4712	0.8296
43	0.5084	0.8476	0.4932	0.8236
44	0.5302	0.8414	0.5153	0.8179
45	0.5521	0.8355	0.5375	0.8123
46	0.5738	0.8297	0.5596	0.8069
47	0.5956	0.8241	0.5817	0.8017

Tablo B.1 (Devam): 1-1000 GHz arasındaki frekansların horizontal (yatay) ve vertical (dikey) katsayı değerlerinin gösterilmesi.

Frequency (GHz)	k_H	α_H	k_V	α_V
48	0.6172	0.8187	0.6037	0.7967
49	0.6386	0.8134	0.6255	0.7918
50	0.6600	0.8084	0.6472	0.7871
51	0.6811	0.8034	0.6687	0.7826
52	0.7020	0.7987	0.6901	0.7783
53	0.7228	0.7941	0.7112	0.7741
54	0.7433	0.7896	0.7321	0.7700
55	0.7635	0.7853	0.7527	0.7661
56	0.7835	0.7811	0.7730	0.7623
57	0.8032	0.7771	0.7931	0.7587
58	0.8226	0.7731	0.8129	0.7552
59	0.8418	0.7693	0.8324	0.7518
60	0.8606	0.7656	0.8515	0.7486
61	0.8791	0.7621	0.8704	0.7454
62	0.8974	0.7586	0.8889	0.7424
63	0.9153	0.7552	0.9071	0.7395
64	0.9328	0.7520	0.9250	0.7366
65	0.9501	0.7488	0.9425	0.7339
66	0.9670	0.7458	0.9598	0.7313
67	0.9836	0.7428	0.9767	0.7287
68	0.9999	0.7400	0.9932	0.7262
69	1.0159	0.7372	1.0094	0.7238
70	1.0315	0.7345	1.0253	0.7215
71	1.0468	0.7318	1.0409	0.7193
72	1.0618	0.7293	1.0561	0.7171
73	1.0764	0.7268	1.0711	0.7150
74	1.0908	0.7244	1.0857	0.7130
75	1.1048	0.7221	1.1000	0.7110
76	1.1185	0.7199	1.1139	0.7091
77	1.1320	0.7177	1.1276	0.7073
78	1.1451	0.7156	1.1410	0.7055
79	1.1579	0.7135	1.1541	0.7038

Tablo B.1 (Devam): 1-1000 GHz arasındaki frekansların horizontal (yatay) ve vertical (dikey) katsayı değerlerinin gösterilmesi.

Frequency (GHz)	kH	αH	kV	αV
80	1.1704	0.7115	1.1668	0.7021
81	1.1827	0.7096	1.1793	0.7004
82	1.1946	0.7077	1.1915	0.6988
83	1.2063	0.7058	1.2034	0.6973
84	1.2177	0.7040	1.2151	0.6958
85	1.2289	0.7023	1.2265	0.6943
86	1.2398	0.7006	1.2376	0.6929
87	1.2504	0.6990	1.2484	0.6915
88	1.2607	0.6974	1.2590	0.6902
89	1.2708	0.6959	1.2694	0.6889
90	1.2807	0.6944	1.2795	0.6876
91	1.2903	0.6929	1.2893	0.6864
92	1.2997	0.6915	1.2989	0.6852
93	1.3089	0.6901	1.3083	0.6840
94	1.3179	0.6888	1.3175	0.6828
95	1.3266	0.6875	1.3265	0.6817
96	1.3351	0.6862	1.3352	0.6806
97	1.3434	0.6850	1.3437	0.6796
98	1.3515	0.6838	1.3520	0.6785
99	1.3594	0.6826	1.3601	0.6775
100	1.3671	0.6815	1.3680	0.6765
120	1.4866	0.6640	1.4911	0.6609
150	1.5823	0.6494	1.5896	0.6466
200	1.6378	0.6382	1.6443	0.6343
300	1.6286	0.6296	1.6286	0.6262
400	1.5860	0.6262	1.5820	0.6256
500	1.5418	0.6253	1.5366	0.6272
600	1.5013	0.6262	1.4967	0.6293
700	1.4654	0.6284	1.4622	0.6315
800	1.4335	0.6315	1.4321	0.6334
900	1.4050	0.6353	1.4056	0.6351
1000	1.3795	0.6396	1.3822	0.6365

Ek-C: Yağmur Zayıflamasının Matlab Kodu

11.120 GHz frekanstaki 25, 42, 70 mm/h için yağmur kaybının hesaplanması

```
clc
close all;
clear all;
%Parameters
f=[11.120];%GHz
Distance_vec=[0:0.001:10];%km
R_vec=[25 42 70];%mm/hr
alphah_vec=zeros(1,length(Distance_vec));
alphav_vec=zeros(1,length(Distance_vec));
kh_vec=zeros(1,length(Distance_vec));
kv_vec=zeros(1,length(Distance_vec));

for kk=1:length(Distance_vec)
    Distance=Distance_vec(kk);
    ah=[-5.33980 -0.35351 -0.23789 -0.94158];
    bh=[-0.10008 1.26970 0.86036 0.64552];
    ch=[1.13098 0.45400 0.15354 0.168179];
    mkh=-0.18961;
    ckh=0.71147;

    av=[3.80595 -3.44965 -0.39902 0.50167 ];
    bv=[0.56934 -0.22911 0.73042 1.07319 ];
    cv=[0.81061 0.51059 0.11899 0.27195 ];
    mkv=-0.16398;
    ckv=0.63297;

    logkv=0;
    logkh=0;
    for jj=1:4
        logkh=logkh+(ah(jj))*exp(-((log10(f)-bh(jj))/ch(jj))^2));
        logkv=logkv+(av(jj))*exp(-((log10(f)-bv(jj))/cv(jj))^2));
    end

    kh=10^(logkh+mkh*log10(f)+ckh);
    kv=10^(logkv+mkv*log10(f)+ckv);

    ah=[-0.14318 0.29591 0.32177 -5.37610 16.1721];
    bh=[1.82442 0.77564 0.63773 -0.96230 -3.29980];
    ch=[-0.55187 0.19822 0.13164 1.47828 3.43990 ];
    malpah=0.67849;
    calpah=-1.95537;
```

```

av=[-0.07771 0.56727 -0.20238 -48.2991 48.5833 ];
bv=[2.33840 0.95545 1.14520 0.791669 0.791459 ];
cv=[-0.76284 0.54039 0.26809 0.116226 0.116479 ];
malphav=-0.053739;
calphav=0.83433;
alphav=0;
alphah=0;
for jj=1:5
    alphav=alphav+av(jj)*exp(-((log10(f)-bv(jj))/cv(jj))^2);
    alphah=alphah+ah(jj)*exp(-((log10(f)-bh(jj))/ch(jj))^2);
end

alphah_vec(kk)=alphah+malphah*log10(f)+calphah;
alphav_vec(kk)=alphav+malphav*log10(f)+calphav;
kh_vec(kk)=kh;
kv_vec(kk)=kv;

end

attn=zeros(length(R_vec),length(kh_vec));
for jj=1:length(R_vec)
    attn(jj,:)=kh_vec.*R_vec(jj).^alphah_vec;%dB/km
end

% figure
% semilogy(f_vec,attn(1,:),'-k','Linewidth',2)
% hold on;
% semilogy(f_vec,attn(2,:),'--k','Linewidth',2)
% semilogy(f_vec,attn(3,:),'-.k','Linewidth',2)
% xlabel('Frequency (GHz)')
% ylabel('Rain Attenuation (dB)')
%
% legend(['Rain Rate=' num2str(R_vec(1)) ' mm/hr'],['Rain Rate='
num2str(R_vec(2)) ' mm/hr'],['Rain Rate=' num2str(R_vec(3)) '
mm/hr'],'Location','SouthEast')
% title('Rain Attenuation (dB/km)')

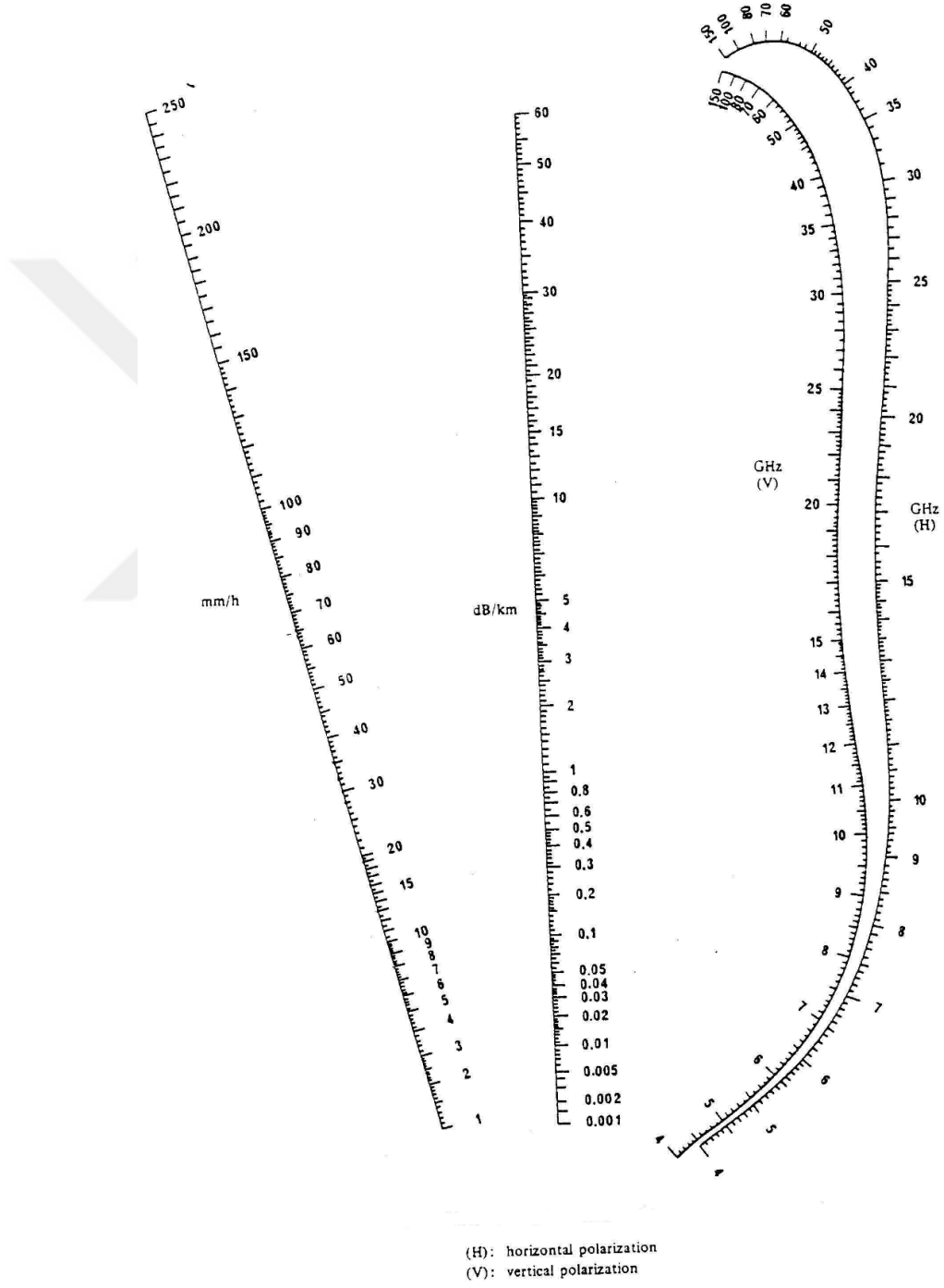
figure
semilogy(Distance_vec,attn(1,:).*Distance_vec,'-k','Linewidth',2)
hold on;
semilogy(Distance_vec,attn(2,:).*Distance_vec,'--k','Linewidth',2)
semilogy(Distance_vec,attn(3,:).*Distance_vec,'-.k','Linewidth',2)
xlabel('Mesafe ((Ds)) (km)')

ylabel('Yağmur zayıflaması (dB)')

legend(['Rain Rate=' num2str(R_vec(1)) ' mm/hr'],['Rain Rate='
num2str(R_vec(2)) ' mm/hr'],['Rain Rate=' num2str(R_vec(3)) '
mm/hr'],'Location','SouthEast')
title(['Frekans (dB)@' num2str(f) '11.120 GHz'])
ylim([10^-2 100])
grid;

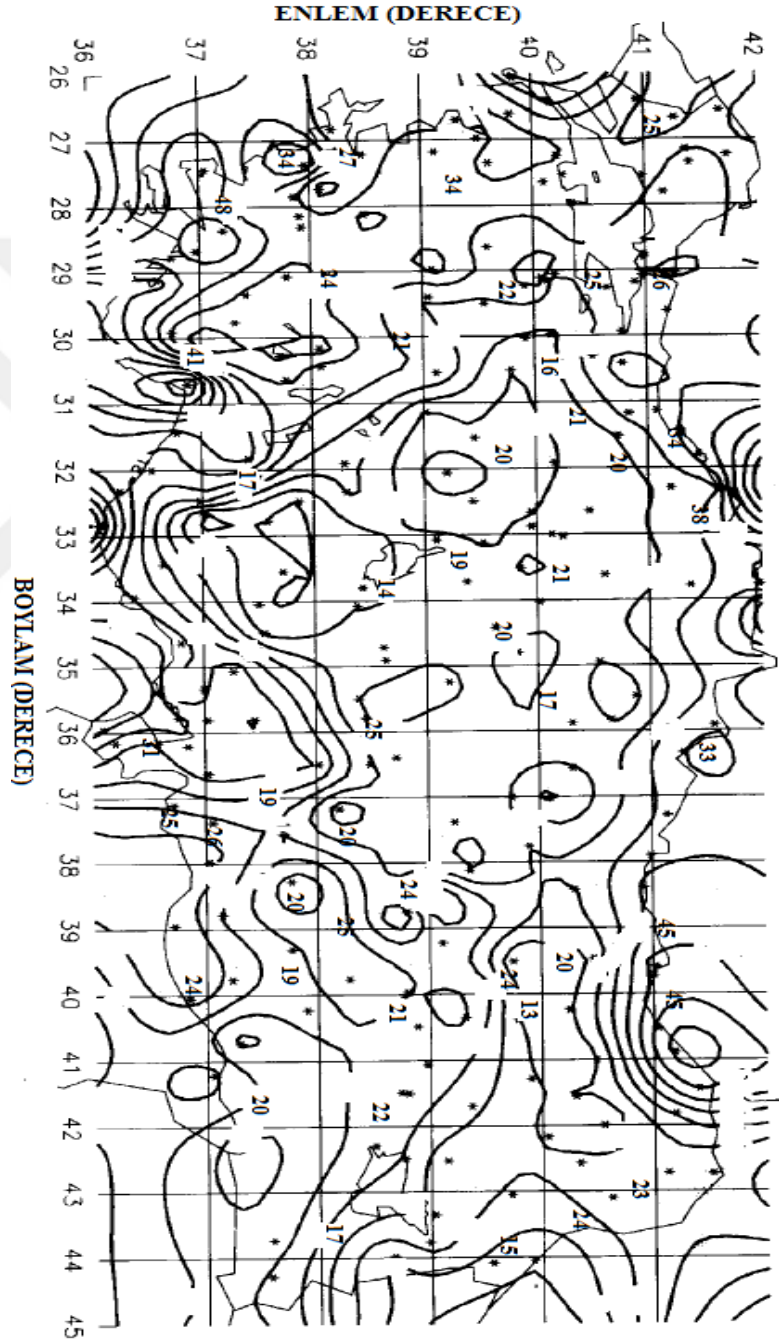
```


Ek-D: Nomogram



Şekil D.1: Her bir frekans için yağış oranına göre özel zayıflama kaybının gösterilmesi.

Ek-E: $R_{0.01}$ %0.01 yağmur oranı



Şekil E.1: Türkiye'nin %0.01 için yağmur oranı haritası.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Yasin Burak KAYA
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : ELAZIĞ/12.02.1986
Medeni Hali : Bekar
Adres : Eryaman Mahallesi Köy içi 312.sokak Gül Apartmanı no:7
Daire:13 Etimesgut/ANKARA
E-Posta Adresi : yasinburakkaya@gmail.com

EĞİTİM

Lise : Çiğli Milli Piyango Anadolu Lisesi (Çiğli-İZMİR) 2005
Ön Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi /Burdur Meslek Yüksek Okulu/Endüstriyel Elektronik (Burdur) -2007
Lisans : İstanbul Kültür Üniversitesi / Elektronik Mühendisliği (Haberleşme) (İstanbul) - 2012
Yüksek Lisans : Türk Hava Kurumu Üniversitesi/Elektrik-Elektronik Mühendisliği (Ankara)-Devam Ediyor. (2013 -)

TEZ VE PROJELER

2007 LCD Ekranda Ton Kontrol Devresi, Ön lisans Bitirme Tezi
PIC 16877 programlama, PIC C+
2012 LTE 4G Mobil Haberleşme Sistemlerin Analizi/Alcatel Lucent FEMTOcell Bölümü, Lisans Bitirme Tezi
MIMU sistemleri, Kablosuz Haberleşme, Long Term Evaluation

İŞ DENEYİMİ

2007 Yaz Stajı Kontrolsis Elektronik Otomasyon San. Tic. Ltd. Şti. RFID sistemleri
İzmir

2010 Yaz Stajı/Mikroişlemciler, PIC C++ , Gömülü Sistem, ASELSAN A.Ş. Radar
Elektronik Haberleşme İstihbarat Servisi

(2011) Yaz Stajı Fiber Sistemleri, Kablosuz Haberleşme, TÜRK
TELEKOMÜNİKASYON A.Ş. Ulus Bölge Müdürlüğü

2011 Yaz Stajı TV yayınları, Frekans planlama TÜRK SAT UYDU HABERLEŞME
KABLO TV VE İŞLETME A.Ş. Uydu Frekans Gözlem Direktörlüğü

(2012- İş Devam Ediyor) Uydu Kontrol Direktörlüğü/Uzman Yardımcısı
TÜRK SAT UYDU HABERLEŞME KABLO TV VE İŞLETME A.Ş.