

38933

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UYDU-GEZGİN İLETİŞİMDE YAYILIM MODELİNİN

BİLGİSAYAR BENZETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Erol SANCAK

Ana Bilim Dalı: ELEKTRONİK

Programı: HABERLEŞME

EYLÜL 1994

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UYDU-GEZGİN İLETİŞİMDE YAYILIM MODELİNİN

BİLGİSAYAR BENZETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Erol SANCAK

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23 Eylül 1994

Tezin Savunulduğu Tarih : 4 Ocak 1995

Tez Danışmanı
Prof.Dr. Hasan DİNÇER

(*H. Dinçer*)

Üye
Prof.Dr. Filiz GÜNEŞ

(*F. Güneş*)

Üye
Doç.Dr.Doğan DÜBEKÇİ

(*D. Döbekçi*)

EYLÜL 1994

UYDU-GEZGİN SİSTEMLERDE YAYILIM MODELİNİN BİLGİSAYAR BENZETİMİ

Anahtar Kelime : Uydu-gezgin iletişim sistemi, gezgin iletişim, uydu iletişimi, çok yollu bayılma, işaret gölgelenmesi, bayılma derinliği, bayılmalı işaret.

Özet : Uydu-gezgin iletişim sistemleri (U-GİS), geniş coğrafik alanlarda gezgin iletişimi sağlamak için uyduların kullanımına olanak verir. Gezgin birimlerle yapılan uydu iletişimi, işaret gölgelenmesi ve çok yollu bayılmadan dolayı işaret gücünde istenmeyen büyük değişimleri uğrar. Bu nedenle çok yollu taşıyıcı, uydu linkinden gönderilen toplam güçten daha az bir güç ile alınır. Bu güç kaybı ve bayılma, uydu iletim işaretinde doğrudan bir azalmaya neden olur. Diğer yandan, toplam işaret band genişliğinde zayıflamaya neden olan ağaçlar, köprüler, binalar vb. tarafından uydu işaretinin yayılımı engellenerek gölgeleme meydana gelir. Bu nedenle, sistem başarımını büyük ölçüde etkileyen uydu ve gezgin birimler arasındaki iletişim linki, bütün uydu-gezgin iletişim sistemlerinde iletim yolunun en önemli parçasıdır.

Link tasarımı için, bayılma düzeyi ve aşırı yol kaybı bilinmelidir. U-GİS yayılım modeli, gölgeleme ve çok yollu yayılımın istatistiksel dağılım işlevlerini kullanarak geliştirildi. Model parametreleri deneysel verilerden elde edildi. Bayılma dağılımı ve bayılma derinliği, farklı U-GİS yayılım ortamları için model ve benzetim kullanılarak elde edildi.

Bu çalışmada, bayılmalı kanallar için bilgisayar modeli kullanarak olasılık dağılımlarının sayısal sonuçları verildi. Bu sonuçlardan, bayılmalı işaretin zaman istatistiğinde bilgisayar modelinin iyi bir tahmin sağladığı görülmektedir.

COMPUTER SIMULATION OF PROPAGATION MODELING IN LAND MOBILE SATELLITE SYSTEMS

Keywords: Land mobile satellite system, mobile communication, satellite communication, multipath fading, signal shadowing, fading depth, faded signal.

Abstract: Land-mobile satellite systems (LMSS) carry out the use of satellites to provide mobile communications to large geographical areas. Unfortunately, satellite communications with the land-mobile terminals suffer great variations of the received signal power due to multipath fading and signal shadowing. Therefore, the multipath carrier is received with less available power than the total power transmitted from the satellite link. This power loss or fading translates directly to a degradation in processing the satellite transmission signal. On the other hand, shadowing occurs when the satellite signal propagation path is obstructed by buildings, bridges, trees, etc., which results in attenuation over the total signal bandwidth. Therefore, in all LMSS's, the communication link between the satellite and the mobile terminal is the most essential and critical part of the transmission path that will influence greatly the performance of the entire system.

For the link design, fading level or excess path loss must be known. LMSS propagation models are developed using statistical distribution functions of shadowing and multipath propagation. The model parameters are obtained from experimental data. Fading distribution and fading depth are obtained using the model and simulation for different LMSS propagation environments.

Numerical results in terms of the probability distributions of the computer models for fading channels are given in this work. These results show that the computer model can provide a good coarse estimate of the time statistic of the faded signal.

ÖNSÖZ

İletişim konusu, daha kullanışlı ve kaliteli iletişimi yakalama yönünde bilim adamlarının sürekli uğraş alanı olmuştur. Özellikle son yıllarda gelinen nokta, bu konuda ne denli başarılı olunduğunun göstergesidir. Elektronik alanındaki hızlı gelişmeler ve buluşlar, bilimin teknolojiye ve dolayısıyla insanlığın hizmetine sunulmasında en güzel örneklerdir.

Uydu iletişimi konusunda gerçekleştirilen olumlu gelişmeler, mühendis ve iletişim tasarımcılarını, geniş coğrafik alanlarda, daha ekonomik ve kaliteli bilgi iletimini sağlayacak uydu-gezgin iletişim sistemlerine yöneltmiştir.

Bu çalışmada, uydu-gezgin iletişim sistemlerindeki sorunlar üzerinde durularak ve yayılım modellenmesi yapılarak, bu modelin bilgisayar benzetimi için yazılım geliştirilecektir.

Çalışmamda yol göstericiliği ve yardımlarından dolayı Değerli Hocam Prof. Dr. Hasan DİNÇER' e teşekkürü bir borç bilirim.

Uydu iletişim teknolojisinde Türkiye' nin de yerini almaya başladığı bu süreçte, konu üzerinde çalışan tüm araştırmacılara başarılar dilerim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
ÖNSÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ	XII
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
1.1. Genel	1
1.2. Tez Çalışmasının Amacı Kapsamı	2
1.2.1. Amaç	2
1.2.2. Kapsam	3
BÖLÜM 2. UYDU-GEZGİN İLETİŞİM SİSTEMİ	4
2.1. Giriş	4
2.2. Uydu İletişim Sistemi	4
2.2.1. Eşkonumlu uydu yörüngesi	6
2.2.2. İletim kuramı	8
2.2.3. Uydu link tasarımı	11
2.3. Gezgin İletişim	16
2.3.1. Hücresel radyo	16
2.4. Gezgin Antenler	21
2.5. Uydu-Gezgin İletişim	24
2.5.1. Uydu-gezgin iletişim sisteminin yapısı	25
2.5.2. Gezgin radyo servisi grup iletişimleri	26
2.5.3. Uydu transponderi	27
2.5.4. U-GİS link tasarımı ve kullanıcı kapasitesi ...	28
BÖLÜM 3. U-GİS' DE YAYILIMIN ETKİLERİ	31
3.1. Giriş	31
3.2. İşaret Yayılımının Bileşenleri	31

3.3. Atmosferik Etkiler	32
3.3.1. Troposferik etkiler	34
3.3.2. İyonosferik etkiler	34
3.3.2.1. Faraday dönmesi	34
3.3.3. Yer etkileri	36
3.3.3.1. Bina ve arazi engellemesi	36
3.3.3.2. Ağaç gölgelemesi	37
3.4. Yerden Yansımış Bileşen	39
3.5. Yayılmış Bileşen	41
3.6. Doppler Etkisi	42
3.7. Uydu Eğriselliği	44
3.8. Bayılma	45
3.8.1. Uzun süreli bayılma	46
3.8.2. Kısa süreli bayılma	48
3.8.3. Rayleigh bayılma	49
3.8.4. Rician bayılma	52
BÖLÜM 4. U-GİS YAYILIM MODELİ	55
4.1. Giriş	55
4.2. Deneysel Modeller	55
4.3. İstatistiksel Modeller	55
4.3.1. Loo modeli	56
4.3.2. Toplam gölgelemeli model	57
4.4. Geometrik-Analitik Modeller	58
BÖLÜM 5. YAYILIM MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ	61
5.1. Giriş	61
5.2. Gölgelemesiz Açık Bölgeler	61
5.3. Ağaç Gölgelemeli Bölgeler	62
5.4. Uyduyu Göremeyen Bölgeler	62
5.5. Toplam Yayılım Modeli	63
BÖLÜM 6. MODELİN BİLGİSAYAR BENZETİMİ	67
6.1. Giriş	67
6.2. Sayısal Tümlev	67
6.2.1. Belirlenmemiş katsayılar yöntemiyle sayısal tümlev	68
6.2.2. İki boyutlu tümlevler	71

6.3. Birinci Tür Bessel İşlevi	73
6.4. U-GİS Bölge Modelleri İçin Sonuçlar	77
6.4.1. Gölgelemesiz açık bölge modeli için sonuçlar	78
6.4.2. Ağaç gölgelemeli bölge modeli için sonuçlar	78
6.4.3. Uyduyu göremeyen bölge modeli için sonuçlar	79
6.4.4. Toplam bölge modeli için sonuçlar	79
6.5. Ağaç Gölgelemeli Bölge Modelinin Bilgisayar Benzetimi İle İrdelenmesi	86
BÖLÜM 7. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER	90
KAYNAKLAR	92
EK -A	97
EK -B	100
EK -C	107
ÖZGEÇMİŞ	114

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

A	: Gölgelemesiz açık bölge katsayısı
A_a	: Anten açıklık alanı
A_e	: Antenin etkin açıklık alanı
A_z	: Azimuth açısı
α	: Grazing açısı
B	: Ağaçlıklı bölge katsayısı
B_e	: Yerin manyetik alanı
BO	: Geri çekme değeri
β	: Faz kayması
C	: Uyduyu göremeyen bölge katsayısı
C/I	: Taşıyıcı-girişim oranı
C/N₀	: Taşıyıcı-gürültü yoğunluğu oranı
C/N	: Taşıyıcı-gürültü oranı
(C/N₀)_{im}	: Taşıyıcı-intermodülasyon yoğunluğu
D	: Anten çapı
d	: Uydu yüksekliği
ΔL	: Uydu boylamı ile yer istasyonu boylamı arasındaki fark
l	: Gölge yol uzunluğu
E	: Uydu yükselme açısı
E_b/N₀	: Bit enerjisi gürültü yoğunluğu
EIRP	: Uydudan yayılan etkin izotropik güç
E₀	: Doğrudan dalga alan şiddeti
F	: Bayılma derinliği
f_d	: Doppler frekans kayması
φ	: Faraday dönmesi
φ_y	: Yer istasyonu enlemi
G	: Anten kazancı
G/T	: Alıcı kalite faktörü
G(R)	: Alınan işaretin -R (dB)' den büyük olma olasılığı
G(F)	: Bayılma derinliğinin F (dB)' i aşma olasılığı
γ	: Merkez açısı
I₀(.)	: Sıfırıncı mertebeden birinci tür Bessel işlevi

K	: Rician yayılım faktörü
K'	: Rayleigh yayılım faktörü
k	: Boltzman sabiti
L	: Serbest uzay kaybı
L_f	: Besleme kaybı
L_r	: Yağmur zayıflatması
m	: Ortalama değer
λ	: Dalga boyu
μ	: Ağaç zayıflatması ortalama değeri
N	: Transponder başına etkin taşıyıcı sayısı
N_e	: Birim yüzeydeki elektron miktarı
n	: Etkin kanal sayısı
η	: Anten verimi
P	: Polarizasyon kaybı
P_e	: Bit hata olasılığı
$P(r)$: Olasılık dağılım işlevi
P_r	: Alınan güç
P_s	: Yeryüzü engebelilik faktörü
P_t	: Çıkış gücü
$R_{\text{çyb}}$: Çok yollu bileşen
R_{db}	: Gölgenmemiş doğrudan bileşen
$R_{\text{db}'}$: Gölgenmiş doğrudan bileşen
R_s	: Yansıma katsayısı
R_{yay}	: Yayılmış bileşen
R	: İletim hızı
r	: Raslantı değişkeni
S	: Gölge yol yüzdesi
$S(f)$: Enerji spektral yoğunluğu
$S_i(t)$: Gelen işaret genliği
$S_r(t)$: Alınan işaret genliği
σ	: Ağaç zayıflatması standart sapması
T	: Alıcı gürültü sıcaklığı
θ_u	: Uydu boylamı
θ_y	: Yer istasyonu boylamı
τ	: Yayılım gecikmesi
z	: Lognormal dağılımın raslantı değişkeni

AMSS	: Aeronautical mobile satellite service
BS	: Base station
DAMA	: Demand assignment multiple access
DGY	: Düşük gürültülü yükselteç
EIRP	: Effective isotropical radiated power
GRS	: Gezgin radyo servisi
GSM	: Global system for mobile communications
GTS	: Gezgin telefon servisi
GVS	: Gezgin veri servisi
LMSS	: Land mobile satellite system
LOS	: Line-of-sight
MMSS	: Martime mobile satellite service
MSC	: Mobile Switching Center
PSTN	: Public switched telephone network
QPSK	: Quadrature phase shift keying
SCPC	: Single carrier per channel
ŞKM	: Şebeke kontrol merkezi
TDM	: Time Division Multiplexing
TWTA	: Traveling wave tube amplifier
U-GİS	: Uydu-gezgin iletişim sistemi
UKM	: Uydu kontrol merkezi
WARC	: World Administration Radio Conference
YİGY	: Yarı iletken güç yükselteci
YKA	: Yüksek kazançlı anten

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Uydu iletişim sistemi	4
Şekil 2. a) Yer istasyonu alıcısı b) Uydu yineleyicisi	5
Şekil 3. Azimuth geometrisi	7
Şekil 4. Yükselme açısı geometrisi	8
Şekil 5. İzotropik bir kaynaktan yayılan güç	9
Şekil 6. Uydu linkinin gösterimi	10
Şekil 7. Yükselme açısının gürültü sıcaklığı ile değişimi	13
Şekil 8. Yağmur zayıflatmasının geometrisi	14
Şekil 9. Hücresel radyo şebekesinin temel yapısı	17
Şekil 10. Hücresel radyo kanalı için girişim ve yeniden kullanım	18
Şekil 11. Hücresel radyo yeniden kullanım örüntüsü	19
Şekil 12. Bir hücrede üç yönde anten yerleşimi	20
Şekil 13. Çağrı yeteneğini artırmak için hücre paylaşımı	21
Şekil 14. Gezgin anten türleri	23
Şekil 15. L-Bandı için WARC-87 frekans yerleşimi	24
Şekil 16. U-GİS şebeke yapısı	25
Şekil 17. U-GİS' de kullanılan transponder yapısı	28
Şekil 18. Uydu-gezgin kanallar için yayılım modeli	32
Şekil 19. 10 m çaplı bir antende troposferik parıldamanın rms dalgalanmaya etkisi	33
Şekil 20. U-GİS' de ağaç gölgelemesi	37
Şekil 21. Yansıtma düzleminde Fresnel bölgeleri	40
Şekil 22. Bayılma derinliğinin grazing açısıyla değişimi	41
Şekil 23. Yönsemez bir antenle alınan işaretin güç spektrumu ...	43
Şekil 24. Uydu eğriselliği	45
Şekil 25. Uzun süreli ve kısa süreli bayılma	47
Şekil 26. Saçılmış işaretlerin fazörel toplamı	48
Şekil 27. Rastlantısal ortamda saçılmış işaretler	49
Şekil 28. U-GİS geometrik-analitik model için yayılım geometrisi	59

Şekil 29. Yayılım benzeticisinin blok gösterimi	66
Şekil 30. Sayısal tümlev örneği	68
Şekil 31. İki boyutlu tümlev işlemi	72
Şekil 32. Yamuk formülü ile iki boyutlu tümlev	72
Şekil 33. Sıfırinci mertebeden birinci tür Bessel işlevi	76
Şekil 34. Açık bölgelerde K faktörünün bayılma derinliğine etkisi	80
Şekil 35. Ağaç gölgelemeli modelde μ parametresinin bayılma derinliğine etkisi	81
Şekil 36. Ağaç gölgelemeli modelde standart sapmanın bayılma derinliğine etkisi	82
Şekil 37. Uyduyu göremeyen bölgelerde K' faktörünün bayılma derinliğine etkisi	83
Şekil 38. Bölge katsayılarının toplam olasılık dağılımına etkisi	84
Şekil 39. Bölge katsayılarının toplam olasılık dağılımına etkisi	85
Şekil 40. $f(r,z)$ işlevinin adım sayısı ile değişimi	87
Şekil 41. $I_0(K'rz)$ işlevinin adım sayısı ile değişimi	88
Şekil 42. $F(r,z)$ işlevinin adım sayısı ile değişimi	89

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1. Değişik ağaç türleri için $f = 869$ MHz' de ölçülen zayıflatma değerleri	38
Tablo 2. Sıfıncı mertebeden birinci tür Bessel işlevi değerleri	75
Tablo 3. U-GİS yayılım parametreleri için tipik değerler	77
Tablo 4. Açık bölge modelinde aşılma yüzdesi değerleri	78
Tablo 5. Ağaç gölgelemeli bölge modelinde aşılma yüzdesi değerleri	78
Tablo 6. Uyduyu göremeyen bölge modelinde aşılma yüzdesi değerleri	79
Tablo 7. Toplam bölge modelinde aşılma yüzdesi değerleri	79

1. GİRİŞ

1.1. Genel

Bir uydu-gezgin sistemi uydu tabanlı bir iletişim sistemi olup, geniş coğrafik alanlarda gezgin kullanıcılara ses ve veri iletişimi sağlar. Böyle bir şebekenin ekonomik gerçekleştirilebilirliği ileri teknolojilerin gelişiminde büyük bir öneme sahiptir. Uydu-gezgin sistemlerin gelişmesi ile 1990 yılı ortalarında başta Kuzey Amerika olmak üzere pek çok ülkede hızlı bir şekilde hizmet vermeye başladı [1][2].

Uydu-gezgin iletişim sistemi (U-GİS), uydu ve gezgin iletişim tekniklerinin birlikte kullanıldığı bir sistemdir. U-GİS, geniş alanlarda telefon ve veri iletişiminin mümkün olmasını sağlar. Diğer yandan uydu-gezgin sistemler, uçaklar ve gemiler için tek çözümdür. U-GİS tasarımı için, iletişim esnasındaki problemler çözümlenmelidir. U-GİS' de en önemli problem, değişik nedenlerle oluşan işaretteki bayılmadır. Bu nedenlerin başlıcaları, arazi etrafındaki saçıcılardan dolayı oluşan çok yollu yayılım ve ağaç gölgelenmesidir. Bir U-GİS sisteminin başarımını belirleyebilmek için bayılma derinliği (F) ve taşıyıcı-gürültü yoğunluğu oranı (C/No) bilinmelidir [5]. Uydu iletişimde en çok önem verilen iki önemli faktör güç ve band genişliğidir. Sayısal ve analog uydu iletişimde bir uydu linki boyunca güç ve band genişliği ; yer istasyonlarının alıcı ve verici gücü ile, uydu antenlerinin büyüklüğü ile, güç yükselteçlerinin sınırlanma özelliği ile, yürüyen dalgalı tüp yükselteçlerle (TWTA), aşağı ve yukarı bağlantı dönüştürücülerle, modemler ve süzgeçlerle sınırlanır. Uydu-gezgin iletişim sistemi (U-GİS), iletişim için gerekli bazı kaynakların sınırlı olması nedeniyle kayıplara uğrar. U-GİS için ayrılan L-bandinin spektrum genişliği sınırlıdır. Ayrılan frekans bandlarının bazıları, aynı bandı paylaşan diğer sistemlerin girişiminden dolayı kullanılmaz hale gelir. Bir U-GİS' inde uydu

transponder gücü her zaman önemli bir faktördür. Ayrıca U-GİS'lerde kullanılan taşıt antenlerinin kazancı çok düşüktür. Bu nedenle, U-GİS tasarımında, transponder gücü ve band genişliği verimliliğini artıran teknikler birleştirilmelidir. Bundan başka, U-GİS tarafından desteklenen farklı servislerin değişik özellikleri ve gereksinimlerinden dolayı, bu servislerin trafik özellikleri ve istekleri de gözönüne alınarak, sistemin işletiminde kaynakların verimli ve planlı kullanılması gerekmektedir [3][4].

Yersel hücreli gezgin iletişim sistemleri, etkin kullanım alanı olmasına rağmen, yalnız kentsel bölgelerde hizmet verirler. Yersel iletişimde yayın alanı ana istasyon verici gücü tarafından sınırlanır. Nüfus yoğunluğunun az olduğu kırsal ve uzak alanlarda bu sistemlerin uygulanabilirliği, gezgin iletişim için ekonomik değildir. Uydu-gezgin iletişim sistemleri (U-GİS) yersel hücreli gezgin sistemlerle desteklediği taktirde kentsel alanlarda olduğu kadar kırsal alanlarda da başarılı iletişim olanağı sağlayacaktır.

1.2. Tez Çalışmasının Amacı Kapsamı

1.2.1. Amaç

Bu çalışmanın amacı, U-GİS link tasarımında başlıca sorunu oluşturan ve çok yönlü yayılım ve ağaç gölgelemesi nedeniyle ortaya çıkan işaret gücündeki bayılma konusunu incelemektir. Bu nedenle sistemin yayılım özellikleri üzerinde durularak bir yayılım modeli geliştirilecek ve gerçekleştirilmiş L-band yayılım ölçüm parametreleri kullanılarak, yayılım modelinin bilgisayar benzetimi yapılacaktır. Bu amaçla, değişik yayılım ortamları ve parametrelerine göre sistemin bayılma istatistiğini elde etmek için, gölgeleme ve çok yönlü yayılımın istatistiksel dağılım işlevleri kullanılarak bilgisayar yazılımı gerçekleştirilecek ve elde edilen sayısal sonuçların deneysel sonuçlarla uygunluğu karşılaştırılacaktır.

1.2.1. Kapsam

Çalışmanın kapsamı aşağıdaki şekilde verilebilir :

2. Bölümde, U-GIS' nin şebeke yapısı üzerinde durulacak ve U-GİS link tasarımı yapılacaktır.

3. Bölümde, uydu-gezgin yayılımda atmosferik etkilerin neden olduğu yayılım bozulmaları incelenecek ve bayılmaya neden olan çeşitli etmenler sıralanacaktır.

4. Bölümde, değişik modeller kullanılarak birbirleriyle karşılaştırması yapılacak ve yayılım parametrelerinin bayılmaya etkileri incelenecek.

5. Bölümde, modeldeki olasılık dağılım işlevleri ve model parametreleri kullanılarak yayılım modeli geliştirilecektir.

6. Bölümde, modelin bilgisayar benzetimi ve sayısal irdelenmesi gerçekleştirilecek ve bölge modelleri için sonuçlar verilecektir.

7. Bölümde, bu çalışma ile ilgili değerlendirme ve öneriler yapılacak ve bayılma derinliğinin sistem üzerindeki etkisi değerlendirilerek sistemin başarımı ve güvenilirliğini artırmak için öneriler sıralanacaktır.

2. UYDU-GEZGİN İLETİŞİM SİSTEMİ

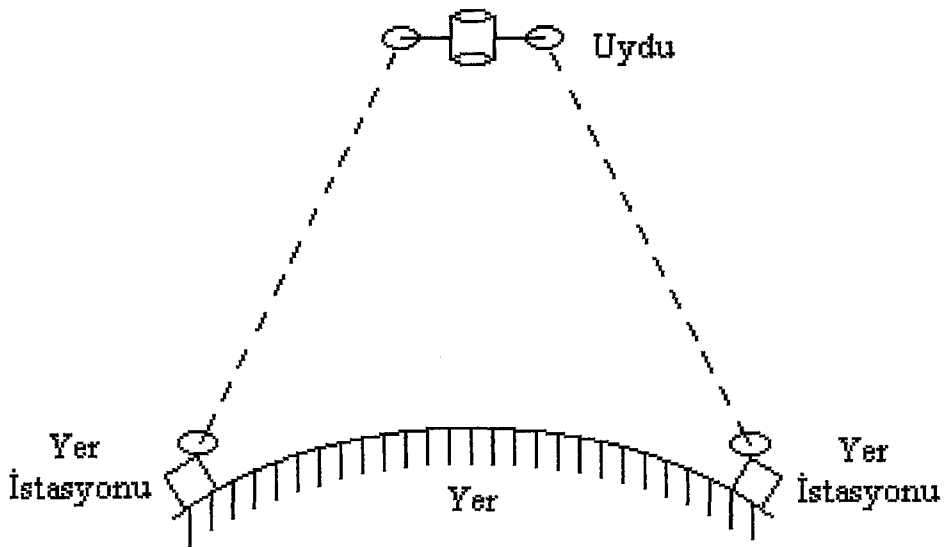
2.1. Giriş

Uydu sistemleri ve gezgin sistemler teknolojisinde sağlanan gelişmeler, geniş coğrafik alanlarda daha etkin iletişim sağlama konusunda bu iki sistemin birarada kullanımını ortaya çıkardı.

Bu bölümde uydu ve gezgin sistemlerin yapısı üzerinde durularak, uydu-gezgin iletişim sistemi ve link tasarımı anlatılacaktır.

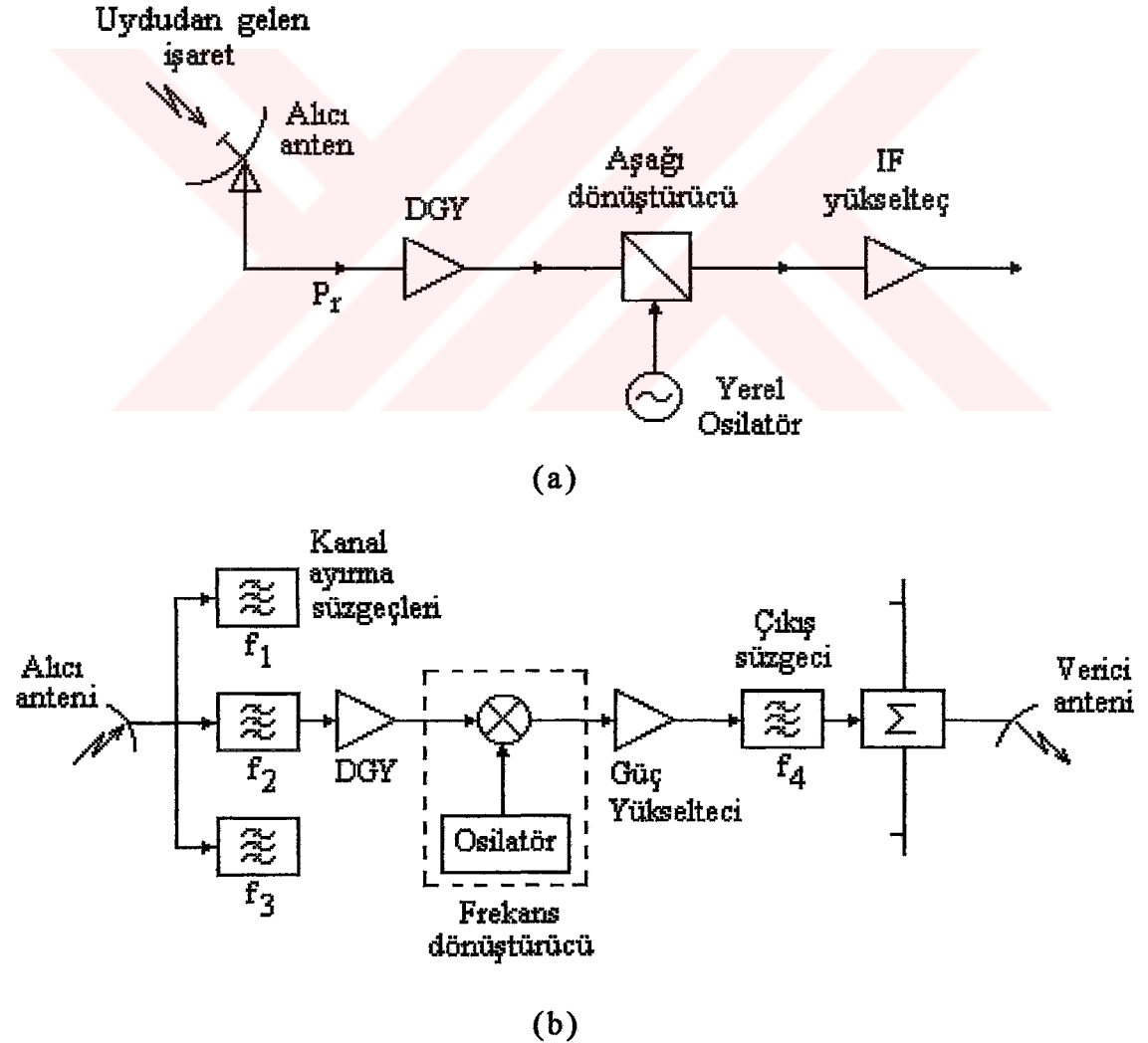
2.2. Uydu İletişim Sistemi

Uydu iletişimi iki veya daha fazla birim arasında uydu kullanılarak yapılan iletişim sistemidir. Sistemde, alıcı ve verici birimlerden oluşan sabit yer istasyonları ve yineleyici olarak kullanılan uydu bulunur. Uydu iletişimi ile geniş ve uzak coğrafik alanlar içerisine ekonomik iletişim olanağı sağlanabilmesi bu sistemin en önemli özelliğidir.



Şekil 1. Uydu iletişim sistemi [6]

Sistemde, yer istasyonu-uydu arasındaki bağlantıya yukarı bağlantı, uydu-yer istasyonu arasındaki bağlantıya da aşağı bağlantı denilmektedir. Her iki bağlantı frekansları birbirinden farklıdır. Yer istasyonu verici birimi, TV vericisi ya da ulusal telefon şebekesi gibi yersel sistemlerden alınan iletişim işaretlerini yer istasyonu anteni yardımıyla uyduya gönderir. Uydu yineleyicisinde anten yardımıyla alınan elektromanyetik enerji önce kanal süzgeçlerinden geçirilir ve yükseltilir. Frekans dönüştürücü ile başka bir frekansa dönüştürülen işaret güç yükseltecinde yükseltilir ve verici anteni ile tekrar yeryüzüne gönderilir. Uydu yineleyicisinde her bir alıcı ve verici kanalına bir transponder adı verilir [7]. Şekil 2' de tipik bir yer istasyonu alıcısı ve uydu yineleyicisi verilmiştir.



Şekil 2. a)Yer istasyonu alıcısı [8]. b) Uydu yineleyicisi [7].

2.2.1. Eşkonumlu uydu yörüngesi

Ekvator düzlemi üzerinde, yeryüzü ile aynı periyot ve doğrultudaki yörünge üzerinde bulunan bir uydu, yeryüzündeki herhangi bir gözlemciye göre sabit bir nokta olarak görülür. Bu yörünge eşzamanlı uydu yörüngesi olarak adlandırılır. Bu tip yörüngede uydu, yeryüzündeki herhangi bir noktaya göre sabit olduğundan yer istasyonunda ek bir izleme anteni gerektirmez. Eşkonumlu yörüngede, ekvator düzlemine göre uydu yüksekliği 35782 km' dir [9].

Uyduyla iletişim sağlayabilmek için sabit yer istasyonundaki antenin uyduya yönlendirilmesi gerekir. Antenin yönlendirilmesi yükselme ve azimuth açılarının bilinmesiyle olur. Her iki açı da uydu ile yer istasyonunun enlem ve boylamının işlevidir.

Dünya üzerinde herhangi bir P noktasında bir yer istasyonu olsun. P noktasının koordinatları $P(\phi_y, \theta_y)$ olarak verilir. ϕ_y yer istasyonunun enlemini, θ_y yer istasyonunun boylamını göstermektedir.

Azimuth açısı, yer istasyonu yerinin alt uydu noktasına göre belirlenme açısıdır. Kuzey yönü ile, yer istasyonu uydu alt noktasını birleştiren doğru arasında, saat ibresi yönünde ölçülen açıdır. Şekil 3' te azimuth geometrisi gösterilmiştir. Azimuth açısı A_z :

Kuzey yarımküre için,

$$\text{Yer istasyonu uyduya göre batıda ise : } A_z = 180^\circ - A' \quad (1)$$

$$\text{Yer istasyonu uyduya göre doğuda ise: } A_z = 180^\circ + A' \quad (2)$$

Güney yarımküre için,

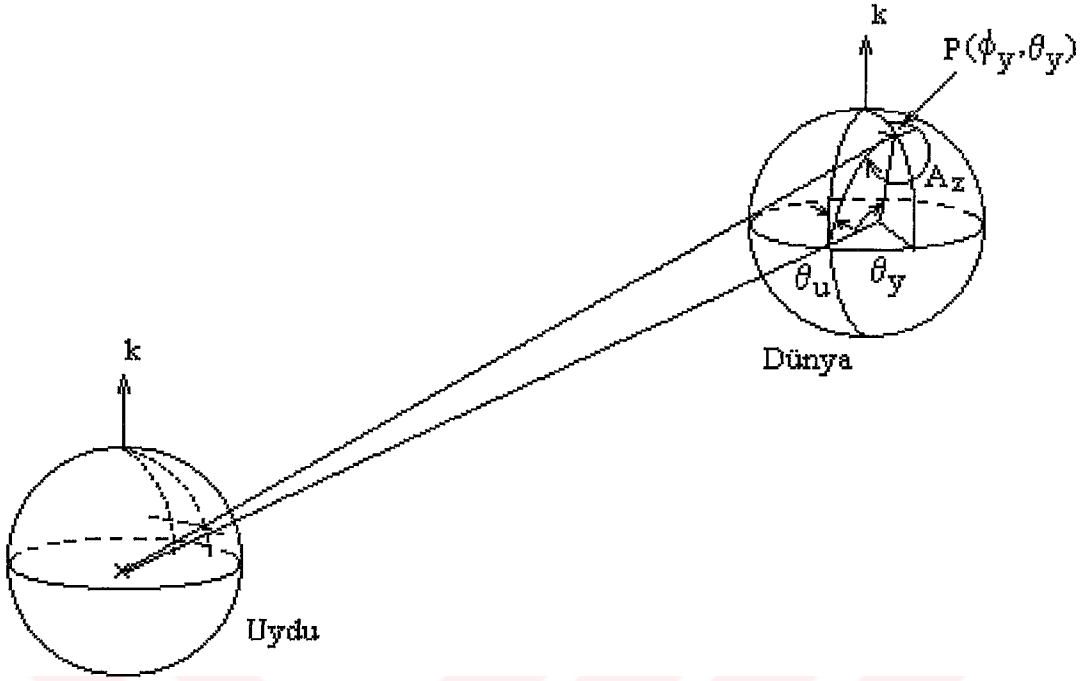
$$\text{Yer istasyonu uyduya göre batıda ise : } A_z = A' \quad (3)$$

$$\text{Yer istasyonu uyduya göre doğuda ise: } A_z = 360^\circ - A' \quad (4)$$

$$A' = \tan^{-1}(\tan \Delta L / \sin \phi_y) \quad (5)$$

$$\Delta L = |\theta_u - \theta_y| \quad (6)$$

olarak verilir. Burada θ_u uydunun yerleştirildiği boylamdır [10].



Şekil 3. Azimuth geometrisi [9]

Yükselme açısı E , yer istasyonu noktası P' yi yer merkezine birleştiren doğruya dik ve P noktasından geçen teğet ile uydu görüş doğrultusu arasındaki açıdır. Uydu yükselme açısı şekil.4' te gösterilmiştir.

Burada r_s yer merkezini uyduya birleştiren doğru, r_e yer merkezini yer istasyonuna birleştiren doğru ve d yer istasyonunu uyduya birleştiren doğruyu gösterir. r_e ve r_s arasında ölçülen γ açısı, uydu ve yer istasyonu arasındaki merkezi açıdır. Ψ , r_e' den d' ye ölçülen açıdır. γ , uydu alt noktası kuzey enlemi L_s ve batı boylamı l_s ile yer istasyonu kuzey enlemi L_e ve batı boylamı l_e ile ilişkilidir. γ , negatif olmayacak şekilde tanımlanır ve aşağıdaki gibi verilir.

$$\cos(\gamma) = \cos(L_e) \cos(L_s) \cos(l_s - l_e) + \sin(L_e) \sin(L_s) \quad (7)$$

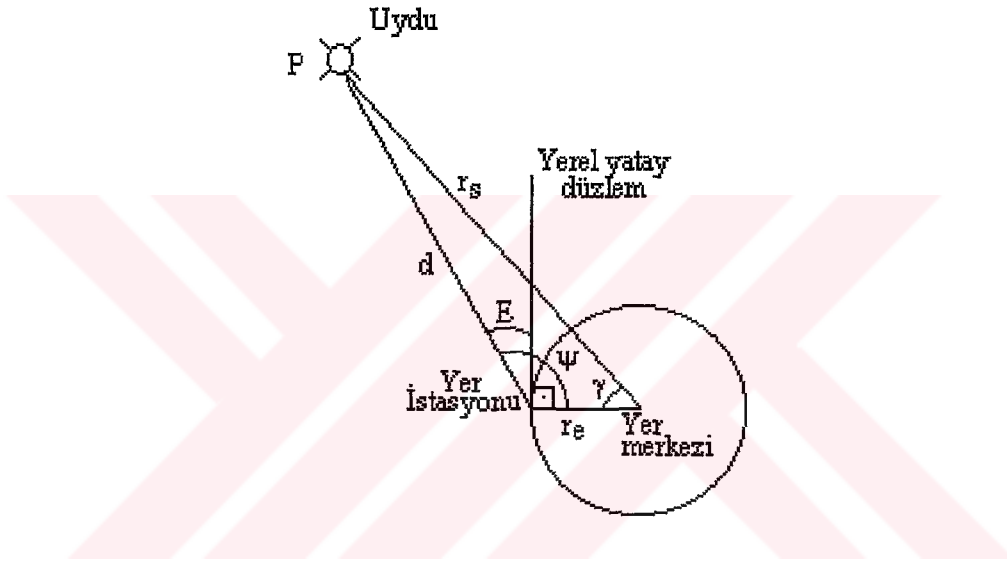
Uydu, yer istasyonu ve yer merkezinin vektör bileşimlerinin büyüklükleri cosinüs kuramı ile verilir. Böylece,

$$d = r_s [1 + (r_e/r_s)^2 - 2(r_e/r_s) \cos(\gamma)]^{1/2} \quad (8)$$

Yer istasyonundaki yerel yatay düzlem r_e' ye diktir. Yükselme açısı E , merkez açısı Ψ' ya bağlıdır.

$$E = \Psi - 90^\circ \quad (9)$$

$r_e = 6370997$ m., $r_s = 42157197$ m.' dir. Şekil 4' de kağıt düzlemi yer merkezi, uydu ve yer istasyonu ile tanımlanır. Yükselme açısı E , yerel yatay düzlem ile uydu yolu arasında ölçülür [8][9].



Şekil 4. Yükselme açısı geometrisi [8]

2.2.2. İletim kuramı

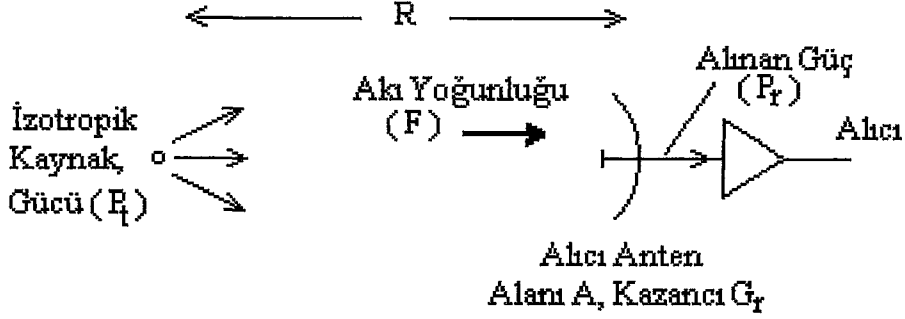
Kayıpsız anten kazancı G_t ve çıkış gücü P_t (W) olan bir verici için R (m) kadar uzaklıkta oluşan akı yoğunluğu F ,

$$F \text{ (W/m}^2\text{)} = P_t G_t / 4 \pi R^2 \quad (10)$$

olarak verilir. $P_t G_t$ (dBW) çarpımı, vericiden yayılan etkin izotropik ışınma gücünü verir ve EIRP ile gösterilir.

Eğer açıklık alanı A (m^2) olan ideal bir alıcı antene sahipsek, alınan güç P_r eşitlik (11) ile verilir. Şekil 5 izotropik bir kaynaktan yayılan gücü göstermektedir [8].

$$P_r (W) = F A \quad (11)$$



Şekil 5. İzotropik bir kaynaktan yayılan güç [8].

Fiziksel açıklık alanı A_r (m^2) olan bir antende, verilen güç gerçekte eşitlik (11)'deki gibi dağılmaz. Açıklığa gelen enerjinin bir kısmı antenden uzağa yansır, bir kısmı da kayıplı elemanlar tarafından soğurulur. Verimdeki bu azalma etkisi, etkin açıklık alanı A_e (m^2) ile aşağıdaki biçimde tanımlanır.

$$A_e (m^2) = \eta A_r \quad (12)$$

Burada η , anten verimidir. Tipik olarak Parabolit yansıtıcı antenler için verim %50 - %75, horn antenler için %90'dır. Böylece fiziksel alanı A_r ve etkin açıklık alanı A_e olan bir anten tarafından alınan güç P_r ,

$$P_r (W) = P_t G_t A_e / 4 \pi R^2 \quad (13)$$

Buradan bir yer istasyonunda alınan gücün, yer istasyonu anteninin etkin alanına, uydudan yayılan etkin izotropik güce ve uydu ile yer istasyonu arasındaki uzaklığa (R) bağlı olduğu söylenebilir.

Anten kuramında temel bağıntı,

$$G_r = 4 \pi A_e / \lambda^2 \quad (14)$$

dir. Bu bağıntıyı eşitlik (13)' te yerine yazarsak

$$P_r (W) = P_t G_t G_r (\lambda / 4 \pi R)^2 \quad (15)$$

Burada $(4 \pi R / \lambda)^2$ terimi, yol kaybı (L_p) olarak bilinir.

$$\text{Alınan Güç} = \text{EIRP} \cdot \text{Alıcı Anten Kazancı} / \text{Yol Kaybı} \quad (16)$$

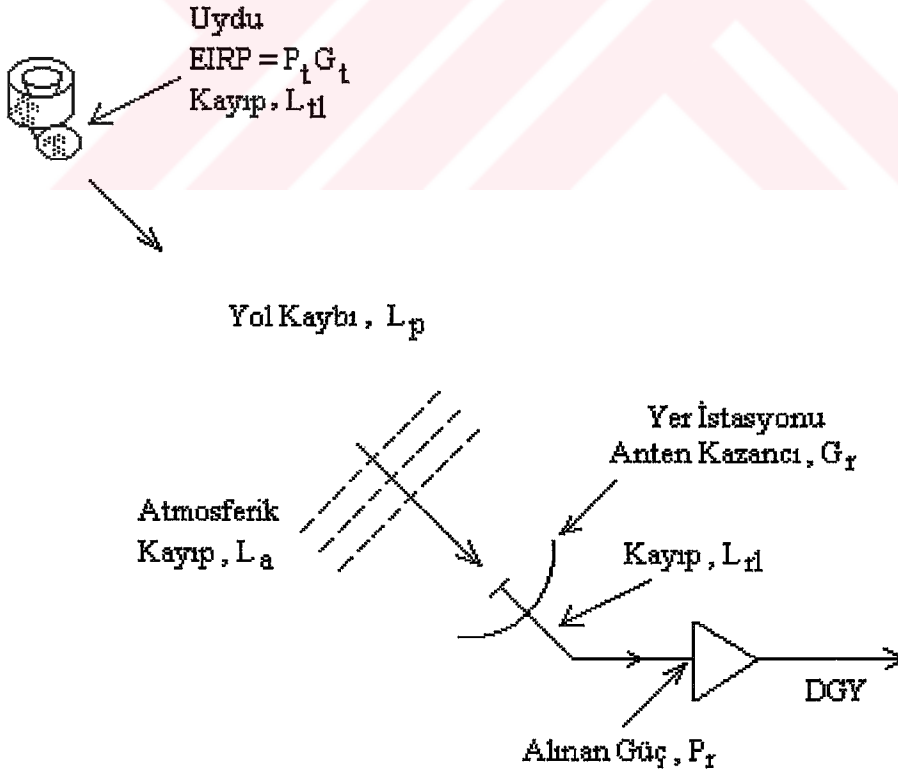
İletişim sisteminde bu bağıntı desibel (dB) olarak şöyle ifade edilir.

$$P_r (dBW) = (\text{EIRP} + G_r - L_p) \quad (17)$$

$$\text{Burada, } \text{EIRP} (dBW) = 10 \log (P_t G_t) \quad (17.1)$$

$$G_r (dB) = 10 \log (4 \pi A_e / \lambda^2) \quad (17.2)$$

$$L_p (dB) = 20 \log (4 \pi R / \lambda) \quad (17.3)$$



Şekil 6. Uydu linkinin gösterimi [8].

Eşitlik (17) ideal durumu gösterir. Pratikte, yağmurdan dolayı atmosferik kayıplar ve linklerdeki her bir antenin kaybı etkili olur. Buradan,

$$P_r \text{ (dBW)} = \text{EIRP} + G_r - L_p - L_a - L_{t1} - L_{r1} \quad (18)$$

Burada L_a atmosferik zayıflamayı, L_{t1} verici antendeki kaybı, L_{r1} ise alıcı antendeki kaybı göstermektedir. Bu durum, şekil 6' da görülmektedir [8].

2.2.3. Uydu link tasarımı

Uydu link tasarımında, sistem başarımını belirleyebilmek için taşıyıcı-gürültü yoğunluğu oranını (C/N_o) bilmek gerekir. C/N_o , desibel-hertz (dB-Hz) olarak verilir ve sonsuz band genişliği için kanal kapasitesinin bir ölçüsüdür. C/N_o oranı uzay linkinin yapısına, gürültüye, girişim kaynaklarına ve alıcı kalitesine bağlıdır [7]. Uydu link tasarımı, aşağı bağlantı ve yukarı bağlantı için ayrı ayrı yapılır.

Yukarı bağlantı için,

$$(C/N_o)_y = \text{EIRP}_{y_i} - L_{p,y} + (G/T)_u - (k) - L_{r,y} \quad (19)$$

Aşağı bağlantı için,

$$(C/N_o)_a = \text{EIRP}_u - BO - L_{p,a} + (G/T)_{y_i} - (k) - L_{r,a} \quad (20)$$

Burada y , y_i , u , a , alt indisleri sırasıyla yukarı bağlantı, yer istasyonu, uydu ve aşağı bağlantıyı simgelemektedir. L_p serbest uzay kaybını (dB), G/T alıcı kalite faktörünü (dB/K), k Boltzman sabitini (dBW/K-Hz), L_r yağmur zayıflatmasını (dB) göstermektedir.

BO , güç yükseltecinin çıkış geri çekme değeridir. Uydu verici çıkış güç yükselteç katında kullanılan, yürüyen dalgalı tüp yükselteçlerin (TWTA, Traveling Wave Tube Amplifier) karakteristiğinin eğrisel olması nedeniyle güç transfer işlevi de eğriseldir.

Paraboloid antenin kazancı G (dB),

$$G = 10 \log (\eta \pi^2 D^2 / \lambda^2) \quad (21)$$

k : Boltzman sabiti, $k = -228,6$ dBW/K-Hz

Alıcı kalite faktörü G/T (dB/K),

$$G/T = G - 10 \log T \quad (22)$$

Burada T , alıcı gürültü sıcaklığı olup aşağıdaki eşitlik (23) ile verilir.

$$T = T_r + (1 - 1 / l) T_w + T_g / l + T_{gök} / a.l + (a - 1 / a.l) . T_{yağmur} \quad (23)$$

eşitliği ile bulunur. Burada,

- T_r : Alıcı ve izleyen katların gürültü sıcaklığı (K),
- l : Dalga kılavuzu kayıp faktörü,
- T_w : Dalga kılavuzu sıcaklığı (K),
- $T_{gök}$: Uzayın katkısı (K),
- a : Yağmur soğurma faktörü,
- $T_{yağmur}$: Yağmurun etkin sıcaklığı (K).

$$T_r = T_{DGY} + \sum_{m=2}^N T_m / g_{m-1} \quad (K) \quad (24)$$

Burada, T_{DGY} düşük gürültülü yükseltecin gürültü sıcaklığı (K), T_m m. katı izleyen katın gürültü sıcaklığı (K), g_{m-1} m. kattan önceki kazançtır.

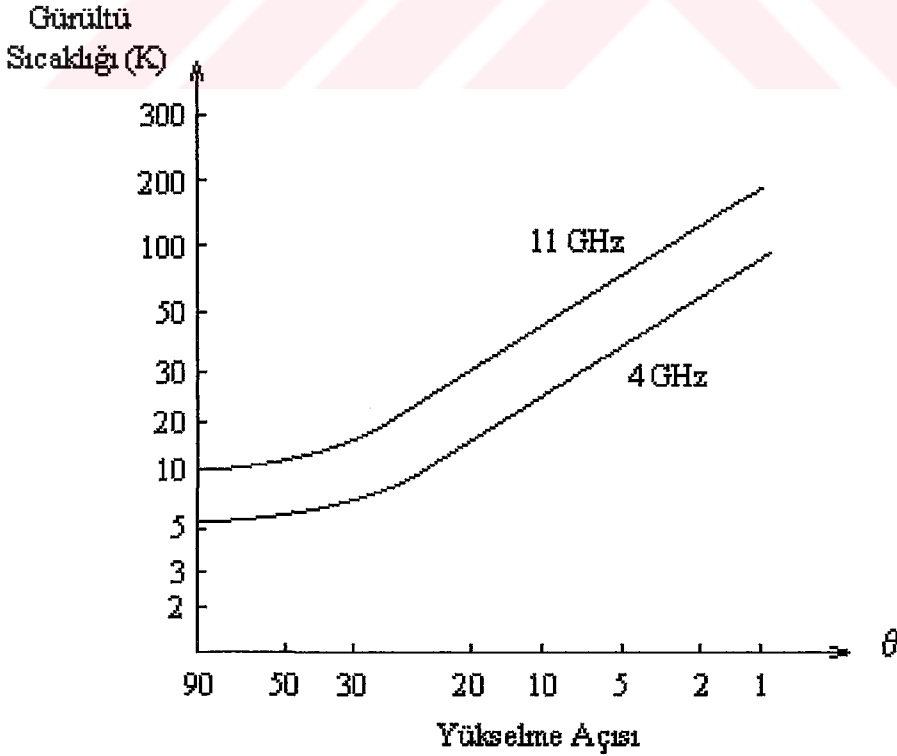
Uydu iletişim sisteminin başarımı depolarizasyon ve zayıflatmaya ek olarak, yer istasyonu gürültü sıcaklığının artmasıyla azalır. Yağmur damlaları nedeniyle oluşan ve alıcıya ulaşan termal ışıma sayesinde, yağmur da bu azalmada etkili olur.

Yağmurdan dolayı anten gürültü sıcaklığındaki artış (T_y), aşağıdaki şekilde verilir.

$$T_y = 280 (1 - e^{-L_r/4,34}) \quad (K) \quad (25)$$

Burada, L_r (dB) yağmur zayıflatmasıdır ve yağmurda C/N_0 hesaplanırken, açık hava anten gürültü sıcaklığına eklenmelidir. Eşitlikteki 280 sayısı, yağmurun etkin sıcaklığı olarak verilir. Anten etkileri ve saçılmadan dolayı gerçek sıcaklıktan farklıdır. Genelde, 270 K ile 290 K arasında değişir.

Değişik koşullar altında anten gürültü sıcaklığındaki artış, bir uydu linki için diğer zayıflatmalardan daha etkili olabilir. Örnek olarak; 1 dB' lik yağmur zayıflatması, anten sıcaklığını 58 K artırır. Eğer açık hava anten gürültü sıcaklığı 232 K ise, bu artış, gürültü gücünü 1 dB yükseltecektir. Yağmurdan dolayı, 1 dB' lik gürültü düzeyi artışı ve 1 dB' lik bayılma etkisi, C/N_0 ' de 2 dB' lik azalmaya eşdeğerdir. Açık hava koşullarında 4 GHz ve 11 GHz frekanslarında, yükselme açısının gökyüzü gürültü sıcaklığı ile değişimi şekil 7' de verilmiştir.



Şekil 7. Yükselme açısının gürültü sıcaklığı ile değişimi [8].

Yağmur oranı R , l (km) uzunluğundaki bir yol üzerinde sabittir. Yağmur tarafından oluşan L_r (dB) zayıflatması,

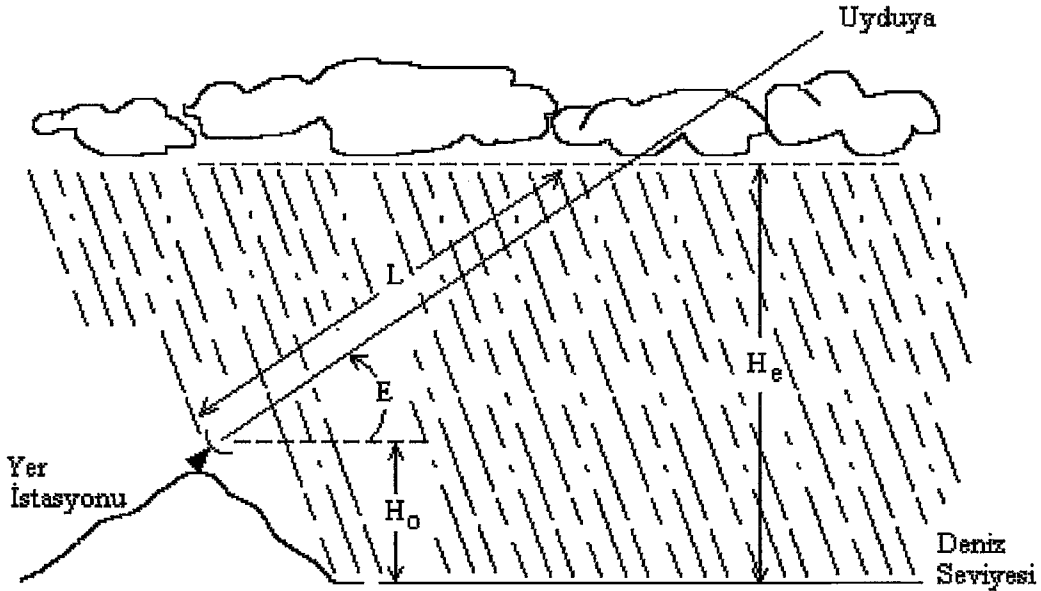
$$L_r \text{ (dB)} = a R^b l \quad (26)$$

$a.R^b$ (dB/km) çarpımı özel zayıflama olarak adlandırılır. a ve b katsayıları polarizasyon, yağmur damlası sıcaklığı ve diğer faktörlere az derecede, frekansa ise büyük ölçüde bağlıdır. a ve b değerleri için aşağıdaki yaklaşımlar yapılmıştır.

$$a = \begin{cases} 4,21 \cdot 10^{-5} f^{2,42} & ; \quad 2,9 < f < 54 \text{ GHz} \\ 4,09 \cdot 10^{-2} f^{0,699} & ; \quad 54 < f < 180 \text{ GHz} \end{cases}$$

$$b = \begin{cases} 1,41 f^{-0,0779} & ; \quad 8,5 < f < 25 \text{ GHz} \\ 2,63 f^{-0,272} & ; \quad 25 < f < 164 \text{ GHz} \end{cases}$$

a ve b katsayıları bu bağıntılara göre hesaplanırken f , GHz olarak alınmalıdır.



Şekil 8. Yağmur zayıflatmasının geometrisi [8].

H_o (km) yer istasyonunun, H_e (km) yağmurun deniz seviyesinden yüksekliğidir. Yükselme açısı (E) için yağmurda alınan yol uzunluğu l (km), eşitlik (27)' de ve şekil 8' de gösterilmiştir [8].

$$l \text{ (km)} = (H_o - H_e) / \sin E \quad (27)$$

Bir uydu linki üzerinde toplam $(C/N_o)_t$,

$$(C/N_o)_t = [(C/N_o)_y^{-1} + (C/N_o)_a^{-1} + (C/N_o)_i^{-1}]^{-1} \quad (28)$$

Burada, $(C/N_o)_y^{-1}$, $(C/N_o)_a^{-1}$, $(C/N_o)_i^{-1}$ sırasıyla yukarı bağlantı, aşağı bağlantı ve ara modülasyon işlemi taşıyıcı gürültü yoğunluğu oranıdır.

Taşıyıcı gürültü oranı C/N ,

$$C/N \text{ (dB)} = (C/N_o) - B \quad (29)$$

Burada, B (dB-Hz) gürültü band genişliğidir [11]. Sayısal modülasyonlarda iletişim sisteminin başarımını gösteren bit hata olasılığı P_e , bit enerjisi gürültü yoğunluğu (E_b/N_o) ' nun bir işlevidir. E_b/N_o , eşitlik (30) ile verilir.

$$E_b/N_o \text{ (dB)} = (C/N_o)_t - (1/r) R \quad (30)$$

r : Kod Oranı (kodlama yoksa, $r=1$)

R : İletim hızı (dB-bit/s = dB-Hz)

Sayısal iletişimin analog iletişime olan üstünlüklerinden biri, iletimde hata düzeltmesinin kolay yapılabilmesidir. Eğer uygun bir kodlama seçilir ve kod çözme teknikleri verimli bir şekilde uygulanabilirse, iletim kanalının kalitesinde önemli bir gelişme sağlanır.

Uydu sistemlerinde görülen yol gecikmesi, girişim, eğrisellik ve çok yönlü erişim gibi özellikler hata düzeltimini güçleştirir. Özel uygulamalara bağlı olarak, kodlama ve kod çözme

algoritmasının seçimi de önemli bir konudur ve sistemin tasarım parametreleri bu seçimde etkili olur. Hata düzeltme tasarımının özel bir uygulama için uygun olup olmadığı, aşağıdaki faktörler gözönüne alınarak incelenir.

- İletim kanalının özellikleri
- Kod çözme başarımı ve hızı
- Mesaj biçiminin doğası
- Kodlama verimliliği
- Geri beslemeli kanalın kullanılabilirliği
- Sistemin gecikmesi

2.3. Gezgin İletişim

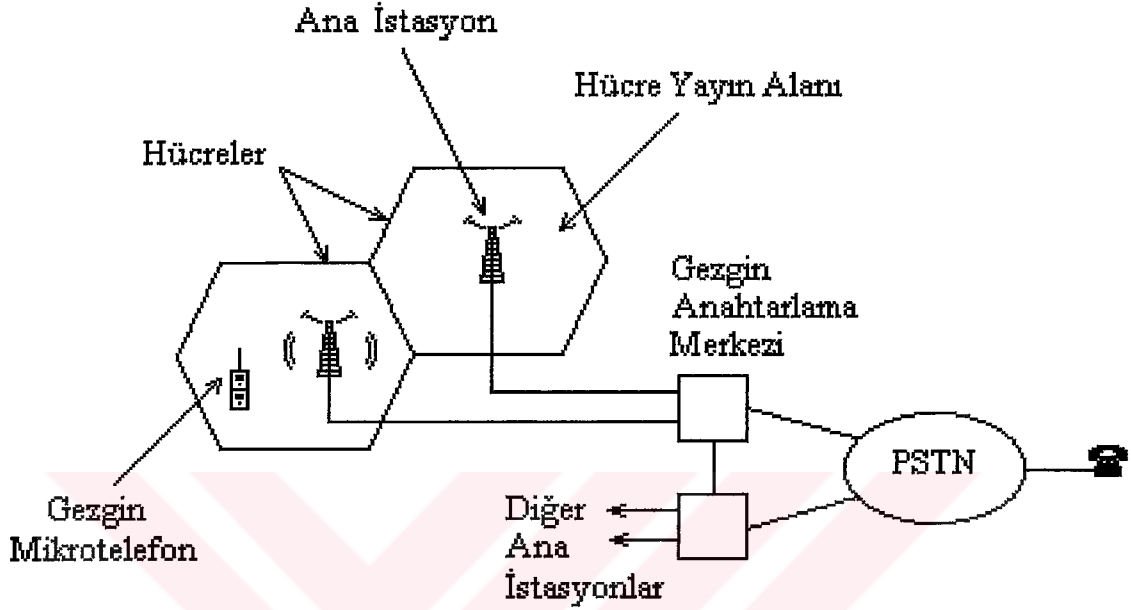
Gezgin iletişim, iki gezgin birim ya da bir gezgin bir sabit birim arasında yapılan radyo iletişimidir. Gezgin birim olarak kara, deniz, hava taşıtlarının tümü sayılabilir. Sabit birim ise, sabit yer istasyonlarıdır. Gezgin iletişim sistemleri son yıllarda çok geniş kullanım alanına ulaşmışlardır. Bunlara örnek olarak radyo çağrı sistemleri, radyo telefon sistemleri, telsiz iletişimi sayılabilir. Bunlar resmi ve özel taşıtlarda, askeri ve güvenlik sistemlerinde, sağlık ve kurtarma ekiplerinde yoğun şekilde kullanılmaktadır.

2.3.1. Hücresel radyo

İlk kullanılan radyo sistemlerinin bir eksikliği, küçük kapasiteli kullanıcı sayısına sahip olmasıdır. İlk sistemler çok geniş bir alana yayın yapmak için tasarlandıklarından her bir bölgede sınırlı sayıda radyo kanalı vardı. Bundan başka aynı kanalların diğer bölgelerde de kullanılması, ana istasyonların geniş mesafelerle birbirinden ayrılmasına rağmen girişim riskini azaltmaz.

1970' li yıllarda radyo telefon talebinin canlanması, radyo kanallarının sınırlı kullanım özelliğinden dolayı bu konudaki çalışmalara hız kattı ve mevcut kullanıcı kapasitesini artırma yönünde radyo band genişliğini daha verimli kullanma zorunluğu getirdi. Bu amaçla geliştirilen sisteme 'hücresel radyo' adı verildi.

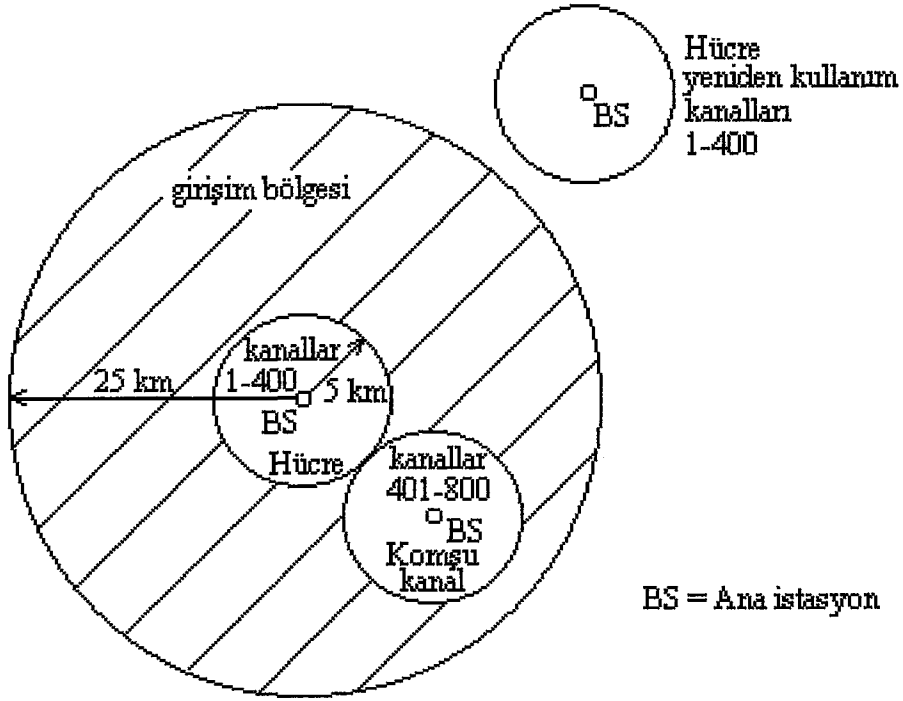
Hücresel radyo şebekesinin temel öğeleri; Gezgin Anahtarlama Merkezleri (MSC), Ana İstasyonlar (BS) ve gezgin birimlerdir. Şekil 9' de hücresel radyo şebekesinin temel yapısı gösterilmiştir.



Şekil 9. Hücresel radyo şebekesinin temel yapısı [6].

Hücresel radyo şebekesinde, hücreler veya ana istasyonlarda aynı radyo kanal frekanslarının yeniden kullanılmasıyla radyo spektrumunun verimli paylaşımı sağlanır. Bir petek gösterimde ana istasyon vericisinde gerekli radyo verici gücünü küçültebilmek için, her bir hücre küçük tutulur. Bu da, radyo işaretinin alan üzerindeki etkisini sınırlar ve alan üzerinde oluşan radyo işareti girişimini azaltır. Vericinin 'girişim bölgesi' dışında, ilkinden yeterince uzak bir mesafede komşu olmayan bir hücrede, aynı radyo kanalı frekansları yeniden kullanılabilir.

Şekil 10, bir hücrede ana istasyonun girişim bölgesini ve aynı radyo kanal frekanslarını kullanan bir başka hücreyi gösterir. Önceden yapılan bir planlamayla, değişik hücrelerde aynı radyo kanallarının yeniden kullanımını için, kanallar petek içerisindeki hücrelere yerleştirilir.



Şekil 10. Hücresel radyo kanalı için girişim ve yeniden kullanım [6].

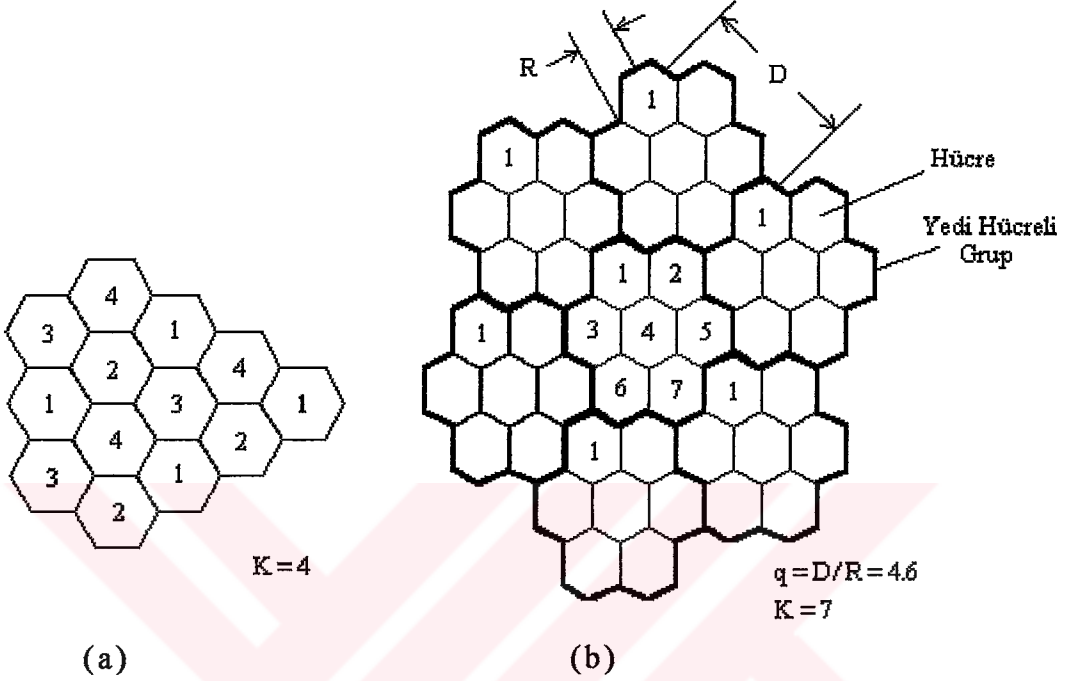
R yarıçaplı bir alan içerisinde yayın yapan özel bir radyo kanalı, D kadar uzaktaki bir mesafede, aynı yarıçaplı alana sahip bir başka hücrede kullanılabilir.

Frekans yeniden kullanım kavramı zaman ve uzay domeninde açıklanabilir. Zaman domenindeki frekans yeniden kullanımı, farklı zaman dilimlerinde aynı frekansın kullanımında ortaya çıkar. Bu, Zaman Bölüşümlü Çoğullama (TDM) olarak adlandırılır. Uzay domeninde kullanım iki aşamada incelenir.

1) Aynı frekansın iki farklı coğrafik alana atanması. Örneğin, farklı şehirlerde aynı frekansı kullanan AM ve FM radyo istasyonları gibi.

2) Bir sistemde aynı genel alanda, aynı frekansın yinelemeli olarak kullanılması. Örneğin, hücresel sistemler gibi sistemde bir çok eş-kanal vardır. Toplam frekans spektrumu yerleşimi, frekans yeniden kullanım örüntüsü K' ya bölünür. Dört ve yedi hücreli bir yeniden kullanım örneği şekil 11.a ve b' de gösterilmiştir. Şekil 11.b' de yedi farklı radyo kanalı frekansı, her biri farklı bir frekans kümesi kullanan yedi adet altıgen hücre demeti üzerinde

yenelenir. Aynı radyo frekansındaki böyle bir tasarımı, iki veya üç hücre uzaktaki farklı konuşmalar için kullanılabilir. Yoğun kentsel bölgelerde ağır trafik isteklerini karşılamak için, bu tür yineleme örnekleri zorunlu olmaktadır.



Şekil 11. Hüresel radyo yeniden kullanım örüntüsü [6][12].

Minimum uzaklık; merkez hücre çevresinde eş-kanal hücrelerinin sayısı, arazinin coğrafik özelliği, anten yüksekliği ve her bir hücre mevkiinde alınan güç gibi bir çok faktöre bağlı olarak, aynı frekansın yeniden kullanımına olanak verir. Frekansın yeniden kullanım uzaklığı D , eşitlik (31) ile verilir.

$$D = \sqrt{3K} R \quad (31)$$

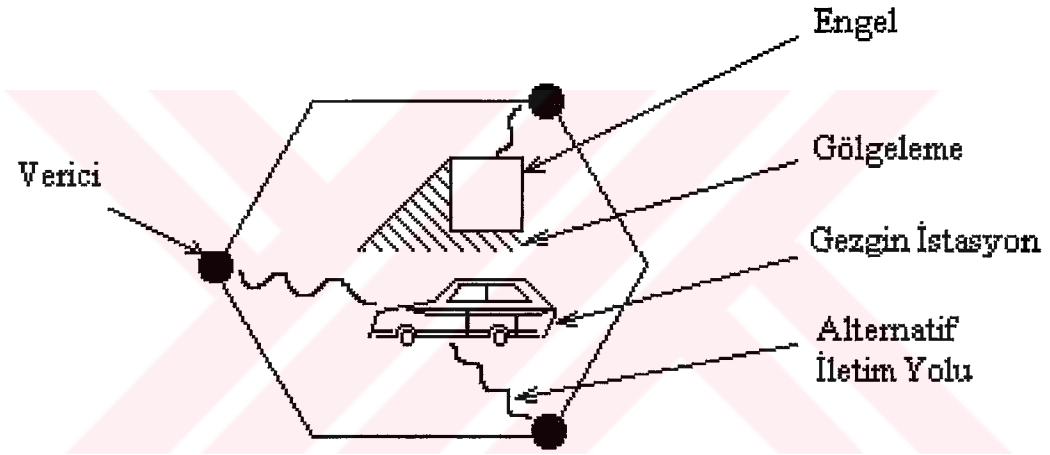
$$\text{Buna göre, } D = \begin{cases} 3,46.R & , K = 4 \\ 4,6.R & , K = 7 \end{cases}$$

Eğer bütün hücre mevkileri aynı gücü alırsa, K ve D artar. D 'nin artışı, meydana gelebilecek eş-kanal girişiminin değişimini azaltır. Kuramsal olarak, K 'nin büyük olması istenir. Bununla beraber, yerleştirilen toplam kanal sayısı sabittir. K çok büyük olursa, K hücrenin her birine atanan kanal sayısı küçülür.

q parametresi, eş-kanal girişim azaltma faktörüdür. q oranı artarken, eş-kanal girişimi azalır.

$$q = D / R \quad (32)$$

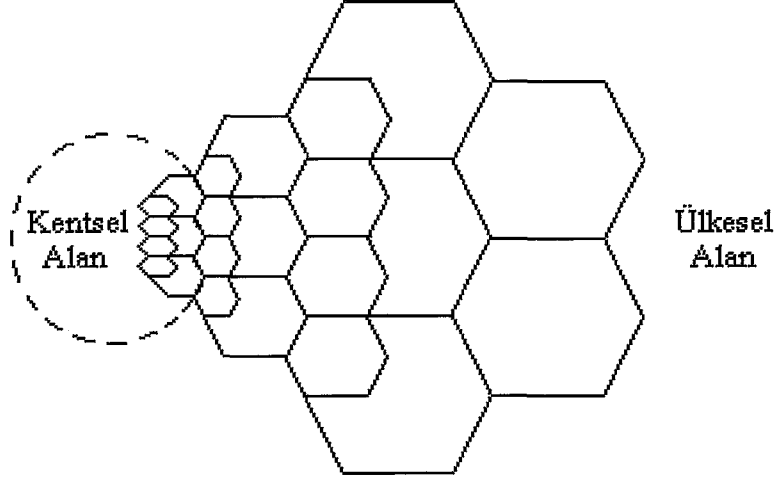
Yönlü anten kullanmak radyo dalgası gölgelemelerinin üstesinden gelmeye yardım eder. Örnek olarak, üç yönlü anten yerleşimi hücrenin her bir dönüşümlü kenarında, yüksek binaların yakınında bulunulması durumunda, alternatif bir iletim yolu oluşturarak gölgeleme etkilerinin üstesinden gelmeye yardım eder. Şekil 12' de bu durum gösterilmiştir.



Şekil 12. Bir hücrede üç yönde anten yerleşimi [6].

Hücresel radyo şebekelerinin özelliği, hücre içinde daha fazla radyo kanalı veya anten kullanarak, ileri düzeyde istekleri karşılayabilme yeteneğine sahip olmasıdır. Yalnız radyo kanallarının sınırlı sayıda olması, hücrede yapılabilecek eş zamanlı telefon konuşmalarının sayısını azaltır. Hücre sayısını artırarak toplam çağrı kapasitesi artırılabilir. Hücre boyutunu azaltma, gezgin istasyonların boyutunu azaltmayla ilintilidir. Trafik yığılmasını azaltmak için, bu durum herhangi bir zamanda gerçekleşebilir. Şekil 13, çok büyük yerleşim yerlerinin çevresindeki yüksek trafik bölgesi ve düşük bir trafik alanı arasındaki geçiş bölgesinde, hücre büyüklüğündeki aşamalı azalmayı ve basit bir hücre paylaşımını gösterir. Hücreler bu biçimde bölünürken ve yeni hücrelere radyo

frekansları atanırken, hücreler arası girişimi engellemek için yeniden frekans kullanım planı gerekebilir.



Şekil 13. Çağrı yeteneğini artırmak için hücre paylaşımı [6].

2.4. Gezgin Antenler

Uydu-gezgin antenlerin tasarımı, sistemin çalışmasında büyük öneme sahiptir. Düşük kazançlı bir anten, uydu gücünün ve kabul edilebilir bayılma sınırı değerinin büyümesini gerektirir. Bayılma etkisi, gölgeleme ve çokyolluluk nedeniyle ortaya çıkar. Dairesel polarizasyon kullanan yönlü antenlerin tasarımı, uydu gücüne eklenmesi gereken ek kazancı ve çok yönlü etkileri azaltır. Bayılma etkisi, önemli ölçüde yükselme açısına bağlıdır ve büyük yükselme açılarında etkisi azaltılabilir. Yine, düşük yükselme açılarında çalışmadan dolayı ortaya çıkan yüksek bayılma etkisi, yönlü antenlerin yüksek kazancı sayesinde azaltılır [14].

Uydu-gezgin iletişimde çok çeşitli gezgin anten türleri vardır. Gezgin antenlerin 4 dBi' den daha fazla kazançla sahip olması istenir. Dairesel polarizasyon kullanan yönsüz antenler 4-8 dBi arasında, yönlü antenler 8 dBi' den daha büyük bir kazançla sahiptirler.

Gezgin antenler, 360 derece azimuth boyunca yayın alanı sağlarlar ve 5 ile 60 derece arasındaki yükselme açılarında çalışmayı gerektirirler. Azimuth yönü, uydunun azimuth değişimleri

ve taşıtın yönüne göre belirlenir. Bir uydunun yükselme açısı taşıtın coğrafik pozisyonuna bağlıdır. Örnek olarak, yüksek enlemlerde, düşük yükselme açılarında çalışma yeteneğine sahip antenler gereklidir. Frekans yeniden-kullanımını kolaylaştırmada kros-polarizasyon yalıtımı uygulandığı için ve dairesel polarizasyon kullanıldığı için düşük eksenlerde yüksek açılar avantajlı olur. Ucuz değere sahip yönsüz antenler, azimuth açısıyla yönsüz, fakat yükselme açısıyla yönlü karakteristiğe sahiptir.

Gezgin uydu sisteminde kullanılan bükülmüş dipol (drooping dipole) 0,6-4 dB' lik eksenel oranlarda 4 dBi' lik kazanç sağlar. 20-60 derece arasındaki yükselme açılarında, anteni ayarlamaksızın başarılı bir yayın sağlanabilir.

Diğer bir anten, dört yüzeyle heliks' tir. Dört helis aynı silindirik yüzeyde dolandırılmıştır. Bu anten 1,5 dB' lik kusursuz eksenel orana sahip olup 20-60 derece arasındaki yükselme açılarında yayın sağlayabilir.

Üçüncü bir yönsüz anten, dairesel polarize edilmiş ışıma elemanlarından oluşan bir düşey dizidir. Her bir eleman, yataya göre eğik dört dipolün dairesel diziliminden oluşur. Eksenel oran, eğilme açısı ve dipol uzaklığının ayarlanmasıyla değişebilir. Ana hüzmelin yüksekliği; dipol aralığının ayarlanmasıyla, eğilme açısı, elemanlar arasındaki düşey uzaklık ve faz ilişkisiyle değişebilir. Bu anten tasarımı, düşük yükselme açıları gerektiren yüksek enlemlerde iyi sonuçlar verir.

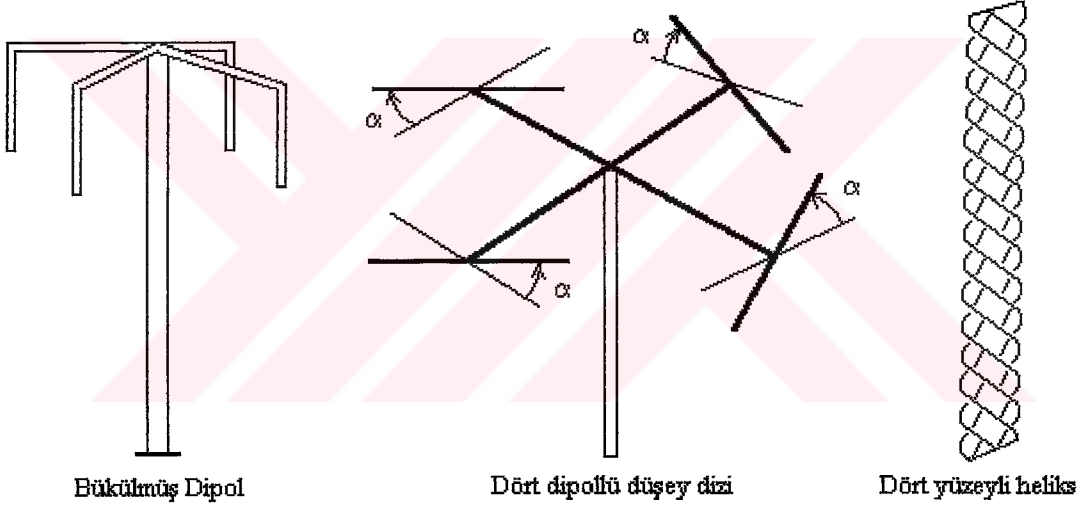
Yönsüz antenler, gezgin uydu servisleri için yeterli kazancı sağlarlar. Ancak yönlü antenler, azimuth' a bağlı olarak daha fazla kazanç sağlar. Bu antenler, aynı frekans bandında fakat zıt polarizasyonlu, iki uyduya aynı coğrafik alan üzerinde müsaade ederler.

Yönlü antenler, elektronik veya mekanik yönlendirmeli olabilirler. Elektronik yönlendirmeliye örnek olarak, çapraz-dilim ışıma elemanlı bir faz dizisi verilebilir. Ana hüzmelin yükseltmesi

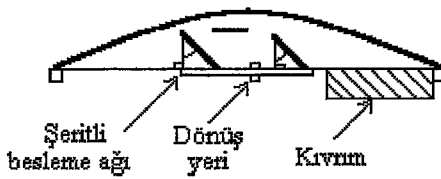
ve azimuth' u, 19 ışımada elemanı arasındaki faz ilişkisinin elektronik ayarlanmasıyla kontrol edilir. Bu tasarımın, 20-60 derece arasındaki yükselme açılarındaki 3-5 dB' lik aksel oran ve 10 dBi' lik bir kazanç sağlaması beklenir. Mekanik yönlendirmeli antenler, eğilmiş mikroşerit ışımada elemanları kullanarak yapılır ve 12 dBi' lik kazanç verebilir.

Taşınabilir antenlere örnek olarak, çapraz-dipol yagi ve yansıtıcı heliks verilebilir. Yagi' nin 90 derece faz farklı ikili sürücü elemanlardan oluşması ve heliks' in de şekli nedeniyle dolayı, her ikisi de dairesel polarizasyon sağlar. Şekil 14' te gezgin anten örnekleri gösterilmiştir.

Yönsüz Antenler

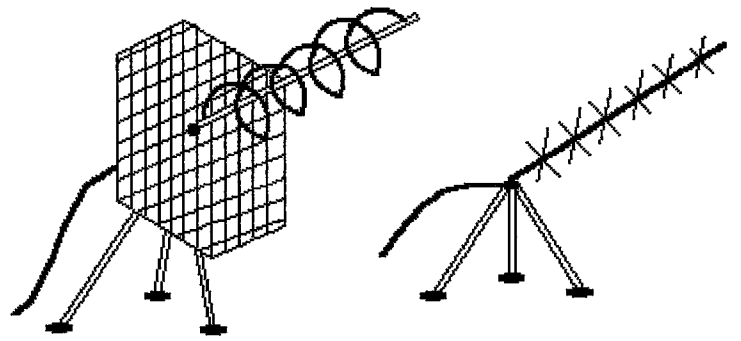


Yönlü Anten



Mekanik Yönlendirmeli
Mikroşerit Anten

Taşınabilir Antenler



Yansıtıcı Heliks

Çapraz-dipollü Yagi

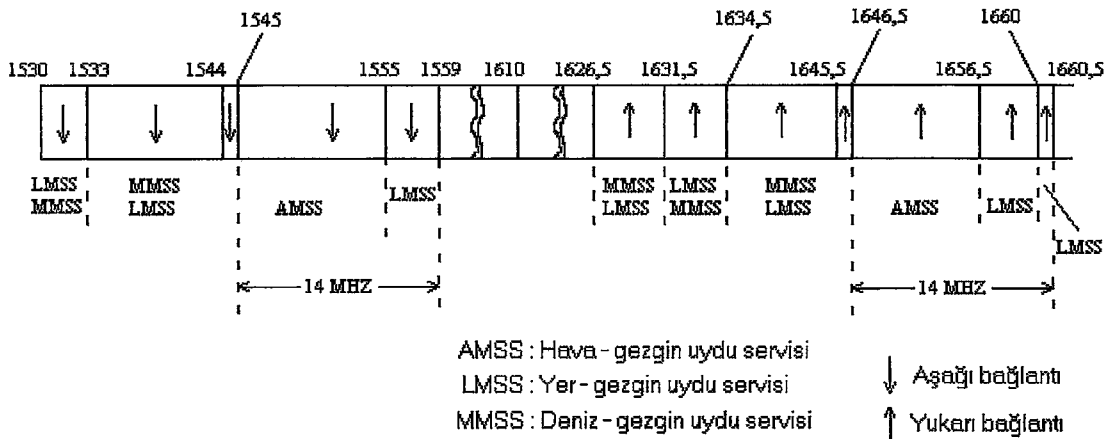
Şekil 14. Gezgin anten türleri [13].

2.5. Uydu-Gezgin İletişim

Hücre sel sistemlerle sağlanan başarılar, bu konuda tek başına yeterli olmamıştır. Özellikle, yersel sistemlerle erişilemeyen coğrafik alanlarda ve nüfus yoğunluğunun az olduğu uzak bölgelerde talebi karşılamamakla birlikte, ekonomik maliyeti de oldukça fazladır. Bu nedenle, yersel radyo sistemlerinin çözüm sunmadığı ve fazla ekonomik maliyet getirdiği alanlarda iletişim sağlayacak uydu-gezgin iletişim sistemleri üzerinde çalışmalara başlandı.

Uydularla yapılan iletişim, yersel radyolarla gerçekleştirilen ses, veri, pozisyon belirleme ve çağrı gibi tüm servis hizmetlerini sağlayabilmektedir. Ayrıca uydu sistemleri meteoroloji, sismoloji, doğal afetler gibi durumlarda uzaktan izleme olanağı sunmaktadır.

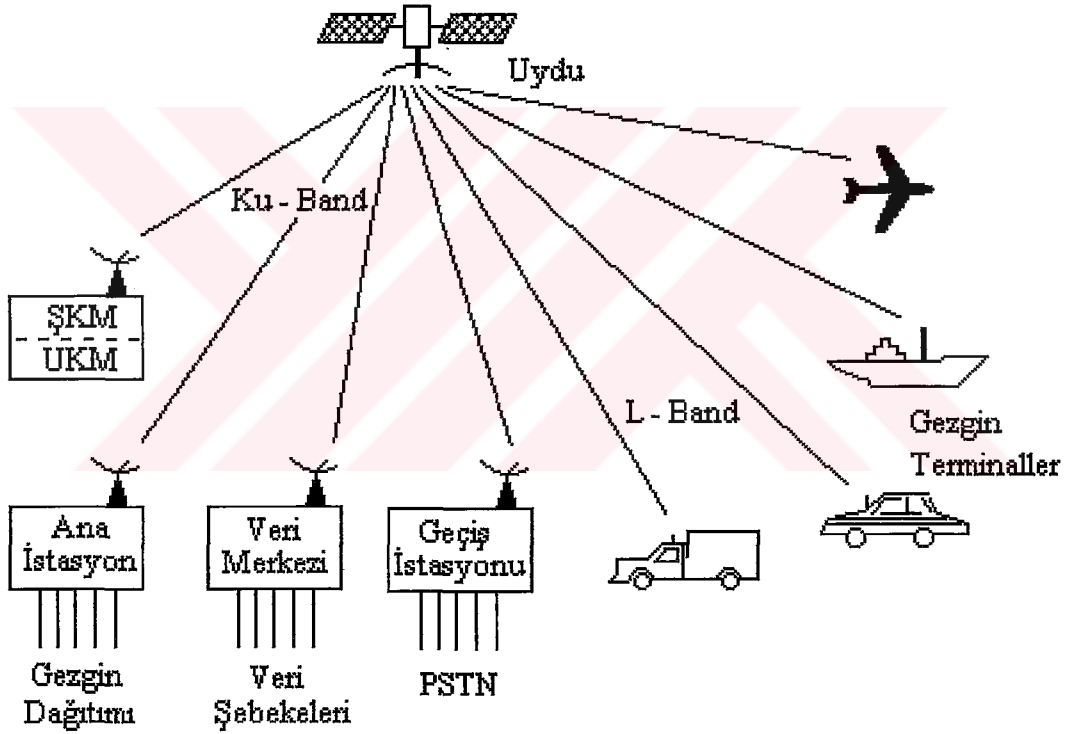
1987 yılında Geneva' da yapılan WARC (Dünya Yönetimsel Radyo Toplantısı) toplantısında, uydu-gezgin iletişim servisleri L-bandda (1,5-1,6 GHz) uygun band genişliklerine (14 MHz) yerleştirildi. Şekil 15' te bu frekans bandının uluslararası gösterimi verilmiştir.



Şekil 15. L-Bandı için WARC-87 frekans yerleşimi

2.5.1. Uydu-gezin iletişim sisteminin yapısı

Tipik bir uydu-gezin iletişim sistemi, yerle eşkonumlu bir uydu ve uydu vasıtasıyla iletişim sağlayan sabit yer istasyonları ve gezgin birimlerden oluşur. Şekil 16' da U-GİS şebeke yapısı gösterilmiştir. Gezin radyo servisi (GRS) aboneleri tarafından kullanılan gezgin terminaller, ' gezgin radyo terminalleri ' olarak bilinirler. Uydu ile iletim sağlamak için, sabit yer istasyonları Ku-band bağlantısı, gezgin terminaller ise L-band bağlantısı kurarlar. Uydunun L-band bölgesinde, frekans yeniden kullanımını kolaylaştırmak ve alma-verme işaret gücünü artırmak için çoklu spot demetleri kullanılır.



Şekil 16. U-GİS şebeke yapısı [2][4].

Sabit yer istasyonları sırasıyla, ulusal anahtarlama telefon şebekesi, özel gezgin iletişim şebekeleri ve veri şebekeleri ile uydu arasında arabağlantı sağlayan geçiş istasyonları, ana istasyonlar ve veri merkezleridir. Ana istasyonlar, grup iletişimi için atanan uydu kanalları döngüsünü kolaylaştırmayı ve ses dağıtımını için dağıtıcılara (dispatcher) ulaşmayı sağlar. Şebeke

Kontrol Merkezi (ŞKM), şebekenin çalışmasını kontrol eden ve şebeke yönetim yetenekleri sağlayan sabit bir yer istasyonudur. Ayrıca, konuşma protokolu olan İstek Atama Çoklu-Erişim (DAMA, Demand Assignment Multiple Access) kontrol sistemini birleştirir, ve Gezgin Radyo Servisi (GRS) ve Gezgin Telefon Servisi (GTS) için DAMA protokolleri ile belirtilen kanal atama ve çağrı işlevlerini yerine getirir. ŞKM, çağrı kontrolü ve şebeke yönetimi için, L-/Ku-band işaretleme linkleri üzerindeki gezgin terminaller ve Ku-band işaretleme linkleri üzerindeki sabit yer istasyonları ile iletişim sağlar [2].

DAMA çağrı yerleştirme ve düşürme işlemi için ŞKM vasıtası ile Geçiş İstasyonları ve Ana İstasyonlar, sırasıyla, Ulusal Anahtarlamalı Telefon Şebekesine (PSTN, Public Switched Telephone Network) erişim için GRS ve GTS kullanıcılarına ve özel radyo şebeke dağıtım merkezlerine olanak sağlar. Veri Merkezleri, ulusal veya özel veri şebeke servislerine erişim için, Gezgin Veri Servisleri (GVS) abonelerini yetkili kılar. Diğer bir sabit yer istasyonu, Ku-bandda çalışması zorunlu olmayan Uydu Kontrol Merkezi (UKM)' dir. UKM, ŞKM ile eş-yerleşim sağlanarak uydunun çalışması için gerekli olan izleme, uzaktan ölçüm ve kontrol işlevlerini sağlar. UKM, uzay aracının durumuna bakarak ŞKM' ye bilgi verir. UKM, uydu transponder/spot-demet arabağlantılarının yeniden düzenlenmesi gerektiğinde, ŞKM' den komutlar alarak ve bunları uygulayarak transponder kaynak yönetiminde görev alır.

U-GİS için paylaştırılan L-band spektrumunun dar olması nedeniyle, U-GİS tasarımında bu spektrumun verimli kullanılması önemli bir zorunluluktur. Bu da, transponder kaynaklarının uygun yönetilmesiyle sağlanır.

2.5.2. Gezgin radyo servisi grup iletişimleri

İki tip ses servisi vardır. Gezgin radyo servisi (GRS) ve gezgin telefon servisi (GTS). GTS, Ulusal Anahtarlamalı Telefon Şebekesi (PSTN)' ne bağlantı için gezgin kullanıcılara izin verir. GRS ise, ses dağıtımını ve grup iletişimi için, özel gezgin iletişim

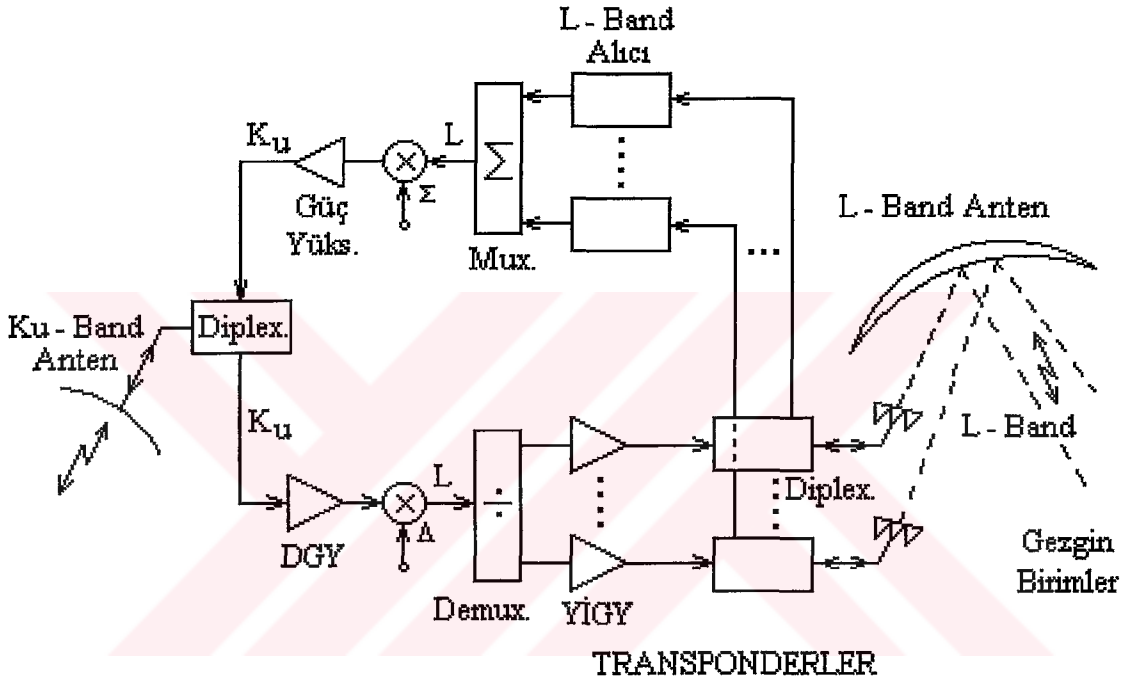
şebekesine hizmet verir. Her bir özel şebeke, kullanıcılar için kapalı bir grup oluşturur ve, grup iletişimler için kendi aralarında veya ses dağıtımını için merkezi olarak yer bildiren dağıtıcılarla iletişim sağlar. Özellikle uzun mesafe yük taşımacılığı gibi yönetim uygulamaları filolarında, ses dağıtımını çok önemlidir. Grup iletişimleri için, herhangi bir kullanıcıdan gönderilen bilgi diğer bütün kullanıcılar tarafından alınmalıdır. Bir noktadan çoklu noktaya yapılan iletişimler yarı-çift yönlüdür. GRS grup iletişimi için iki tip protokol vardır. Biri, kullanıcı gruplarını aktif konuşmada tutarak uydu kanallarına atamak için İstek Atama Çoklu-Erişim (DAMA) protokolu, diğeri seçilen bir kanalda kullanıcı gruplarının üyeleri arasında gelişigüzel tesbit yapan işaretleşme protokolu.

U-GİS sistemi, GRS kullanıcılarının kapalı bir grubundan oluşan bir çok özel ses şebekesine servis verir. Grup iletişiminin her bir L-band spot demetleri içine yerleştirildiği varsayılır. Abone grupları, spot demetleri şeklinde pek çok alt gruba bölünür ve alt grubun üyeleri arasında iletişim sağlanır. Her bir özel şebeke, grup iletişimleri için işlemsel olarak bağlanılan dağıtıcılar ve ses dağıtımını için bağlanılan dağıtım merkezleri arasında, bir ana istasyona erişime sahiptir. Grup iletişimler için, özel bir şebekenin her bir alt grubuna ait ana istasyon donatımını, atanan uydu kanalına erişmek için frekans kanal biriminden oluşur. Temel band birimi; erişim karar mantığı, ses bandı geri çevrim bağlantısı ve seçmeli dağıtım erişimi sağlar.

2.5.3. Uydu transponderi

Gezgin terminaller, L-bandında uyduya işaret gönderirler veya alırlar. Sabit yer istasyonları ise, uydu ile Ku-bandında işaretlerler. Bu nedenle transponderde hem L-band hem de Ku-band alıcı-vericileri bulunur. Yukarı-aşağı bağlantıda spektrum yalıtımı için diplexer kullanılır. Gezgin birimden uyduya L-bandda gönderilen işaretler L-band anteni ile alınarak L-band alıcısına ulaşır ve çoğullama işlemi ile Ku-banda dönüştürülür. Daha sonra Ku-band anteni ile yer istasyonlarına gönderilir. Yer istasyonlarından Ku-bandda gönderilen işaretler, transponderde

düşük gürültülü yükselteçle yükseltilir. L-band kanalları demultiplexer' da ayrılarak güç yükseltecinden geçirildikten sonra L-band anteni ile gezgin terminallere gönderilir. Genelde, transponder sayısı demet sayısına eşittir. Demetler arasındaki girişimi azaltmak için, antenler ofset tasarımı olmalıdır. Uydu-gezin sistemde kullanılan bir transponder yapısı Şekil 17' de gösterilmiştir.



Şekil 17. U-GİS' de kullanılan transponder yapısı [14].

2.5.4. U-GİS link tasarımı ve kullanıcı kapasitesi

Etkin kanal sayısı n olan ve kanal başına tek taşıyıcı (SCPC) modunda çalışan bir sistemi gözönüne alalım. (C/N_0) (dB) yukarı bağlantı için şöyle verilir.

$$(C/N_0)_y = EIRP_{y_i} - L_{p,y} - L_s + (G/T)_u - (k) - N - P \quad (33)$$

Burada, $EIRP_{y_i}$ (Ku-bandda) yer istasyonundan yayılan etkin izotropik gücü, $L_{p,y}$ serbest uzay kaybını, L_s yukarı bağlantı sınırını, $(G/T)_u$ yer istasyonu kalite faktörünü, G uydu

doğrultusunda anten kazancını, T sistem gürültü sıcaklığını, N transponder başına aktif taşıyıcı sayısını (dB), P yer istasyonu ve/veya uydu antenlerinin aksenal oranlarından dolayı polarizasyon kaybıdır. Aşağı bağlantı için (C/N_o) (dB),

$$(C/N_o)_a = EIRP_{u,d} - BO - L_{p,a} - L_s + (G/T)_y - (k) - N - P \quad (34)$$

Burada, $EIRP_{u,d}$ transponderin EIRP doyması, L_s aşağı bağlantı sınırı, $(G/T)_y$ yer gezgin alıcısının G/T değeridir.

SCPC çalışmada, en büyük yükleme koşulu altında kanal başına EIRP/kanal (dBW),

$$EIRP/kanal = (EIRP_{u,d} - BO) - 10 \log n \quad (35)$$

n transponder gücü ve band genişliği ile belirlenen aktif kanal sayısıdır. Buradan,

$$(C/N_o)_a = EIRP/kanal - L_{p,a} - L_s + (G/T)_y - (k) \quad (36)$$

Transponderin doğrusal çalışması için, geri-çekme (back-off) olayından dolayı modlar arası girişim küçüktür. Buradan birleşik $(C/N_o)_T$,

$$(C/N_o)_T = 1 / [(N_o/C)_a + (N_o/C)_y]^{-1} \quad (37)$$

Tasarımda $(C/N_o)_y$ ' nin $(C/N_o)_a$ 'dan 10 dB daha büyük olması makul sayılır.

Örnek olarak, 4 demetli bir sistemi gözönüne alalım. Her bir transponderin güç yükselteci olarak, doğrusallığı sağlamak için geri-çekme işleminde % 25 verime sahip bir yarı iletken güç yükselteci (YİGY) kullanılır. Nominal olarak kullanılabilen dc güç 2200 W olsun. U-GİS için bu gücün % 90' ı paylaşılır (1980 W). Her bir YİGY' ndeki doğrusal güç: $1980/4 * 1/4 = 120W$ olur. YİGY ve anten arasındaki bağlantı kaybını 1 dB alarak, buradan çıkış gücü 100W olur. Anten kazancı 29 dB olan transponderin çıkış EIRP' ı,

$$EIRP_{u,d} = G_t + P_t - L_{t1} = 29 + 21 - 1 = 49 \text{ dBW}$$

Bayılma sınırı (F), U-GİS' nde kritik faktördür. Bayılma sınırı (F), yer alıcı antenin yükselme açısına, ağaç gölgesine ve çok yollu yayılım etkilerine bağlıdır. Yer alıcısında sistemin gürültü sıcaklığını $400 \text{ }^0\text{K}$, anten kazancı 12 dB olsun. Buradan $(G/T)_{yi} = -14 \text{ dB/K}$ bulunur. Transponder başına (veya demet başına) istenen aktif kanal sayısını $n = 100$ seçelim. Böylece,

$$EIRP/\text{kanal} = 49 - 10 \log 100 = 29 \text{ dBW/ kanal}$$

29 dB' lik bir anten kazancı ve 29 dBW istenen EIRP/kanal için, kanal başına kesin güç 1 W' tır. 100 W' lık bir çıkış gücü ile, transponder başına 100 kanal desteklenebilir. Aşağı bağlantıda, link tasarımı böylece yapılabilir :

$EIRP_{u,d}$	+ 49 dB
Etkin kanal sayısı(100)	- 20
$L_{p,a}$	- 188 (Eşitlik (17.3) ile)
L_s	- 10
$(G/T)_{yi}$	- 14
-(k)	+ 228.6
Polarizasyon kaybı	- 1

	+ 44.6 dB-Hz

Bu değer, istenen 48 dB' den 3 dB civarında az olduğu görülür.

Ses iletişimde, bir konuşmacı genellikle ayrılan kanalda zamanın tamamını işgal edemez. Bir abonenin ortalama 0.01 Erlang trafik yoğunluğu ürettiğini varsayarsak (1 Erlang, bir saatte 60 çağırma dakikasdır), bir saatin 0.6 dakikas veya bir kanalın 0.01' i, bir aboneye servis vermek için yeterli olur. Konuşma istatistiklerine göre bir görüşmede, %40 konuşma %50 dinleme ve %10 ara olur. Buradan 2.5 etkinlik faktörüne sahip 100 kanallı bir transponder için abone sayısı $(100*(2.5)/0.01) = 25 \text{ 000}$ olur. 4 demetli bir sistem için abone sayısı 100 000 bulunur. Sistem kapasitesi, kullanıcıların durumuna bağlı olarak değişebilir.

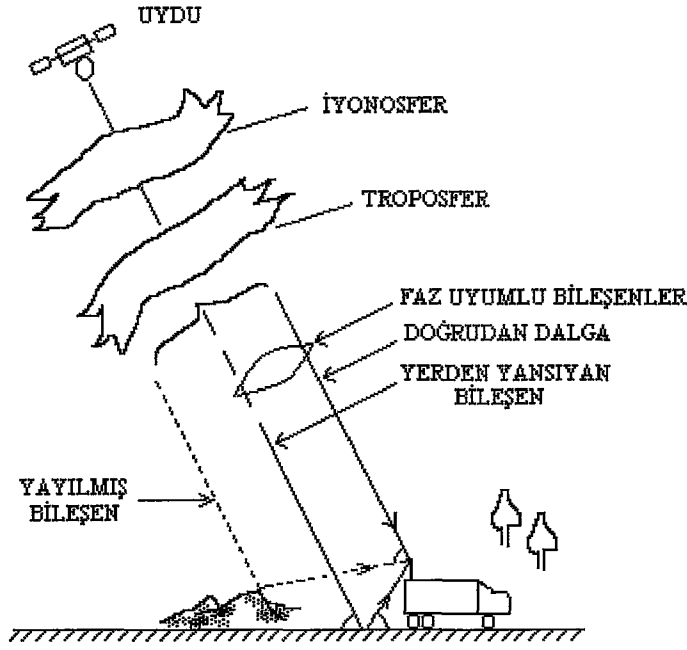
3. U-GİS' DE YAYILIMIN ETKİLERİ

3.1. Giriş

U-GİS' de, alıcı antene ulaşan doğrudan dalga, uydu ve gezgin birim arasında görüş doğrultusundaki (LOS, line-of-sight) işarettir. Görüş doğrultusu, iyonosfer ve troposferden etkilenir. Bu etkiler Faraday dönmesi, soğurma, kırılma ve parıldama şeklinde ortaya çıkar. Fakat bu etkiler, genel olarak L-bandda ihmal edilebilirler. U-GİS işaretinin yayılımında ana sorun, ağaç gölgelemesi ve yapıların engellemesidir. Doğrudan dalga bu etkiler nedeniyle zayıflamaya uğrar. Bu nedenle alınan işarete genliğin sabit kalmayıp sürekli değişmesi, bayılma adı verilen ve sistemin başarımını olumsuz yönde etkileyen istenmeyen bir olaya neden olur. İşaret yayılımında yalnız bayılma ve depolarizasyon etkileri değerlendirilmekle birlikte, saçılma da sayısal modülasyonlu uydu linklerinde önemli bir faktördür.

3.2. İşaret Yayılımının Bileşenleri

Uydu-gezgin antene ulaşan alıcı işaret üç bileşenden oluşur. Bunlar doğrudan dalga, yerden aynasal yansıyan bileşen ve yayılmış bileşendir. Gezgin alıcı anteni genelde düşük kazançlıdır ve bu üç bileşenden önemli ölçüde etkilenir. Ancak yüksek kazançlı antenlerle donatılmış sabit yer istasyonlarında, antenler yalnız doğrudan dalgayı toplayarak yayılmış ve yerden yansıyan bileşenleri geri çevirir. Yerden aynasal yansıyan bileşen, alıcı antene negatif geliş açısıyla varır. Bu durum, uygun anten seçimiyle önemli ölçüde azaltılır. Yayılmış bileşen ise gezgin birim etrafındaki arazilerden saçılan dalgaların toplamıdır. Şekil.18' de işaret bileşenlerinin yayılım modeli verilmiştir.



Şekil 18. Uydu-gezgin kanallar için yayılım modeli [15].

3.3. Atmosferik Etkiler

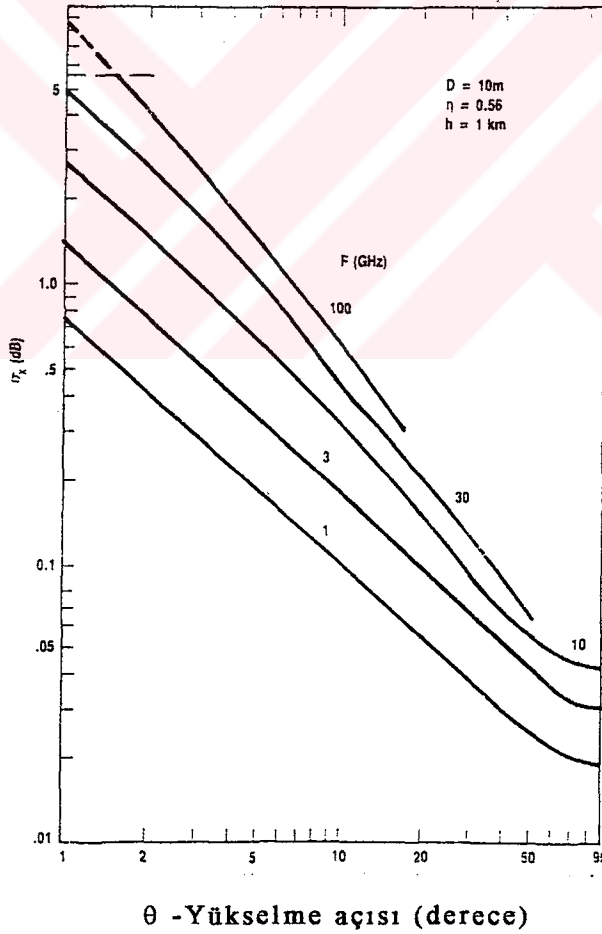
10 GHz' in üzerinde çalışan yer-uzay linkleri, yeryüzü atmosferi ve hidrometeorları ve özellikle yağmur tarafından olumsuz yönde etkilenirler. Uydu-gezgin iletişim linklerinde spektrum birikmesi olayı, 10 GHz' in üzerindeki frekanslarda azalır. Fakat bu frekanslarda da, başlıca yağmur olmak üzere atmosferik gazlar ve diğer hidrometeorların etkisiyle zayıflama ve depolarizasyon gibi olumsuz yayılım koşulları ortaya çıkar. Yayılma olayı, genellikle bayılma ve depolarizasyon etkileri içinde değerlendirilir. Bununla birlikte saçılma da, sayısal modülasyonlu uydu linklerinde önemli bir faktördür.

Atmosferik saçılmanın başlıca üç nedeni vardır: 1) açık hava uzaysal homojensizlikleri, 2) açık hava soğurma etkisi ve 3) hidro meteor soğurma. Açık hava homojensizlikleri çok yollu yayılım, varış açısı dalgalanmaları ve parıldamaya neden olurlar. İşaretteki saçılmanın başlıca nedeni çok yollu yayılım etkisidir. Yer-uzay linklerinde yapılan deneyler, özellikle çok düşük yükselme açılarında çok yollu yayılımın etkili olduğunu göstermiştir. Varış açısı dalgalanmaları, 10-30 GHz bandında frekanstan bağımsızdır.

Böylece, açık hava uzaysal homojensizlikleri bir kaç GHz' in üzerinde frekans band genişlikleri için etkisini yitirir. Diğer yandan, açık hava ve hidrometeorların yığınsal yayılım etkileri, karışık yollarda frekansa bağlıdır. Özellikle yağmur ve buzlanma nedeniyle depolarizasyon ve saçılım, subuharı ve atmosferik gazlar nedeniyle soğurma olayı meydana gelir.

Atmosferik saçılma, 10-30 GHz bandında çalışan uydu linklerinde 120 MHz band genişlikli QPSK işaretleri için, çift polarizasyonlu sistemlerde 0,2 dB, tek polarizasyonlu sistemlerde 0,1 dB azalmaya neden olur. Ancak pratikte, atmosferik saçılımın etkileri sistem tasarımında pek dikkate alınmaz [16].

Troposferik parıldama modeli



Şekil 19. 10 m çaplı bir antende troposferik parıldamanın rms dalgalanmaya etkisi [17].

3.3.1. Troposferik etkiler

Troposfer, atmosferin yeryüzünden başlayıp 13 km yükseğe kadar uzanan en alt bölümüdür. Su buharı ve oksijen molekülleri gibi atmosferin kırılma indisini belirleyen atmosferik gazları içerir. Bu gazlar elektromanyetik enerjide soğurma nedeniyle zayıflatmaya neden olurlar. Troposferik etkiler, 10 GHz' in üzerinde kendisini gösterir. Değişik frekanslarda yükselme açısının bir işlevi olarak, $\eta=0,56$ verime sahip 10 m çapında bir anten için rms dalgalanmasının model öngörümü Şekil. 19' da gösterilmiştir. Burada σ_x , dB olarak rms güç dalgalanmasını, h ise az gürültülü tabakayı ifade eder [17].

3.3.2. İyonosferik etkiler

Atmosferin, yerden 50 km yükseklikten başlayarak 2000 km' ye kadar uzanan bölümüdür. İyonosfer üç ayrı tabakadan oluşur : D tabakası (50-90 km arası), E tabakası (90-130 km), F tabakası (130 km' den yukarı). İyonosferin yapısı, yerin manyetik alanı ve geomanyetik enlemin etkisiyle değişim gösterir. [18].

İyonosfer, eletromanyetik dalga yayılımında Faraday dönmesi, parıldama, yayılım gecikmesi, soğurma, dağılma ve kırılmaya neden olur.

3.3.2.1 Faraday dönmesi

İyonosfer, durgun bir manyetik alan içerisinde serbest elektronlar içerir. Bu bileşim düzgün polarize edilmiş dalgada polarizasyon dönmesine sebep olur. Bu dönme $f > 100$ MHz için eşitlik (38) ile verilir.

$$\phi = 1.35 \cdot 10^6 (B_e N_e) / f^2 \quad (\text{derece}) \quad (38)$$

Burada, f Hz olarak frekansı, B_e ise Weber/m² olarak yerin manyetik alanını göstermekte olup, eşitlik (39) ile verilir .

$$B_e = (1 / N_e) \int N B \cos \theta_B dl \quad (39)$$

Burada θ_B , yayılım yönü ile yerin manyetik akı yoğunluğu vektörü arasındaki açıdır. N_e toplam birim yüzeydeki elektron miktarı (#elektron/m²) olup eşitlik (40) ile hesaplanır .

$$N_e = \int N \, dl \quad (\# \text{ elektron/m}^2) \quad (40)$$

Burada l iyonosfer içerisindeki yol uzunluğu , N (# /m³) yol boyunca elektron yoğunluğudur . N_e ve B_e nin en büyük değeri ,

$$N_e = 1.86 \cdot 10^{18} \quad (\#/m^2)$$

$$B_e = 0.43 \cdot 10^{-4} \quad (\text{weber/m}^2)$$

olarak alınır [19]. Bu durumda $f = 870$ MHz için $\phi = 142.7^\circ$, $f = 1.5$ GHz için $\phi = 48^\circ$ olmaktadır. UHF frekanslarında polarizasyon uyumsuzluğunun önemli kayıplara neden olacağı söylenebilir. Dairesel polarizasyon kullanılarak bu etki en aza indirilir.

İyonosferik parıldama , iyonosferde özellikle F tabakasındaki elektron yoğunluğu düzensizliklerinden ötürü genlik, faz ve yayılım açısında değişimlerin olmasıdır. Parıldama yoğunluğu güneş aktivitesi ile artar. Parıldama etkisi 10 GHz' in üzerinde azalmaktadır .

İyonosferde serbest uzay gecikmesine ek olarak yayılım gecikmesi oluşmaktadır. Yayılım gecikmesi, elektron yoğunluğuna ve frekansa bağlı değişmekte olup aşağıdaki eşitlik (41) ile verilir [18].

$$\tau = 1.33 \cdot 10^{-19} \, N_e / f^2 \quad (41)$$

Soğurma, elektromanyetik enerjinin ısı enerjisi gibi başka bir biçime dönüşmesi olayıdır. Frekans arttıkça soğurma azalır. Oksijen molekülleri, su buharı molekülleri, yağmur damlaları gibi yapılar soğurmaya neden olur. Bu yapılar genellikle troposferde bulunduğundan esas soğurma etkisi troposferde önem kazanır .

3.3.3. Yer etkileri

Yeryüzündeki dağ, tepe gibi arazi düzensizlikleri ile bina ve ağaç gibi yapılar işarette saçılma, yansımaya ve engelleme zayıflamalarına neden olurlar. Saçılım ve yansıma sonucunda, U-GİS yayılımında yerden yansımış bileşen ve çok yollu saçılmış dalgaların toplamı olan yayılmış bileşen oluşur.

İşaretler, yer yüzeyinden yansdıktan sonra alıcı antene ulaşırlar ve yansıyan dalganın fazına bağlı olarak, doğrudan dalgaya karışarak olumlu veya olumsuz yönde etki ederler. Yansıyan dalganın faz ve genlik ilişkisi, yüzeyin yansıma katsayısı ve yol uzunluğuna göre farklıdır. Yüzey düzgün iken, geliş açısı yansıma açısına eşit olan aynasal yansımalar ortaya çıkar. Çoğu gezgin sistemlerde, yansımaların küçük Grazing açılarında ortaya çıktığı görülmektedir. Yolun eğriliği yol uzunluğu için gözönüne alındığında, yansıyan ışınların uzaklaşması, aynasal yansıyan işaretin azaltılmasının bir sonucudur.

Yüzey pürüzsüzlüğü bir dalga boyu için incelendiğinde, yansıyan işaret, doğrudan bileşen ve yayılı bileşenlerin toplamından oluşan aynasal bir bileşendir. Yansıyan işaret, yol boyunca yapılar veya arazi tarafından kısmen veya tamamen engellenir. Doğrudan bileşende en önemli yer etkileri, bina ve ağaç gölgelemesidir [20].

3.3.3.1. Bina ve arazi engellemesi

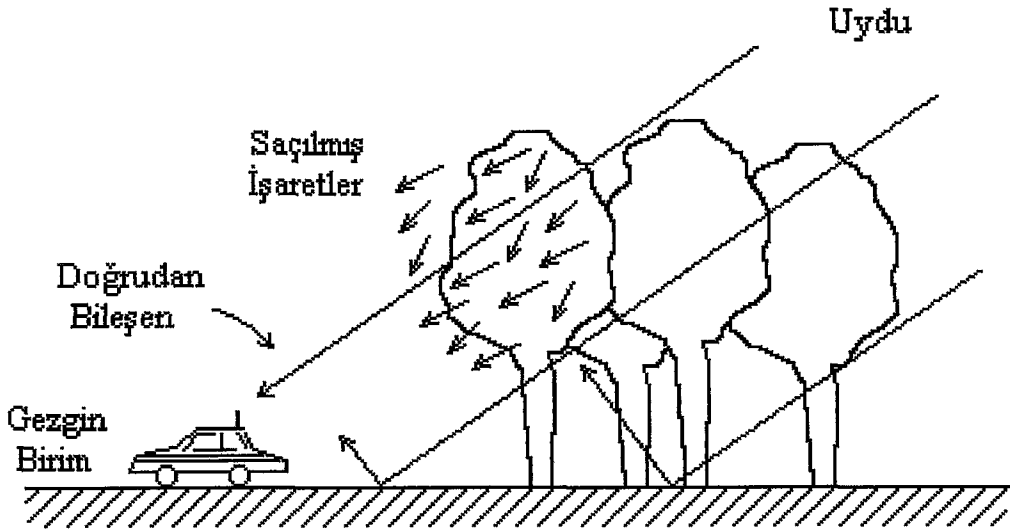
U-GİS' de, doğrudan bileşen bina, dağ, tepe gibi fiziksel engeller tarafından engellenir. Özellikle düşük uydu yükselme açılarında, kentsel ve engebeli dağlık arazilerde doğrudan bileşen U-GİS gezgin birim alıcı anteni tarafından alınamaz. Bu durumlarda alıcı antenine sadece çok yollu saçılmış bileşenler ulaşır. Doğrudan bileşenin alınamadığı ve sadece düzeyi çok düşük yayılmış bileşenin alındığı durumda, U-GİS yeterli güç düzeyi sağlayamadığından, bu bölgelerde tanımlı olmamaktadır. U-GİS kent dışı kırsal alanlar için uygun olmaktadır. Bu tür bölgelerde

yersel sistemler kullanılarak, U-GİS sistemi ile bütünleşen bir gezgin iletişim servisi kurmak gerekmektedir .

3.3.3.2. Ağaç gölgelemesi

U-GİS' de doğrudan bileşenin ağaçlar tarafından engellenmesi ağaç zayıflatmasına neden olmaktadır. Gezgin birim alıcısı yol kenarı ağaçlıklı yollarda ve orman içi yollarda sürekli bu bozucu yayılım etkisi altında kalmaktadır. Ağaç zayıflatması, U-GİS yayılımında en önemli bozucu etkiyi yaratmaktadır. Şekil 20' de ağaç gölgeleme etkisi gösterilmiştir.

Dalga yayılımında bitki örtüsü veya ağaç farklı dielektrik katsayılarına sahip yaprak, sap, meyva gibi yapıların karışımından oluşur. Bu yapılar homojen olmayan bir ortam olarak kabul edilebilir. Böyle bir ortamın içerisinde dalga yayılımında soğurma ve saçılım oluşur. İşaretteki zayıflama miktarı bu soğurma ve saçılım katsayılarına bağlı olarak değişir. Her iki büyüklük de örtü ya da ağacın dielektrik katsayısına, nem miktarına, fiziki yapısına, ağacın cinsine ve yaprak yoğunluğuna bağlıdır. Böyle bir yapının dalga yayılımı açısından fiziksel büyüklüklerini, analitik ve kuramsal olarak belirlemek için başarılı bir model



Şekil 20. U-GİS' de ağaç gölgelemesi

yoktur. Ağaçlar üzerinde zayıflatma miktarlarını belirlemek amacıyla yapılmış, özellikle L-bandda, çok az sayıda deneysel ölçme vardır.

Ağaçlar, özellikle yapraklı dönemlerde ve nem miktarının fazla olduğu dönemlerde en büyük zayıflatmaya neden olurlar. Aynı tip ağacın zayıflatma miktarı mevsime göre değişiklik göstermektedir. Ağaçların zayıflatma katsayıları türlerine göre değişir. Öte yandan düşük yükselme açılarında zayıflatma büyümektedir .

Vogel and Goldhirsh (1986,1987), değişik ağaçlar için 869 MHz' de ortalama ağaç zayıflatma miktarlarını Tablo 1' deki gibi tespit etmişlerdir.

Tablo 1. Değişik ağaç türleri için $f = 869$ MHz' de ölçülen zayıflatma değerleri [21][22].

Ağaç türü	Ort. Zayıflatma (dB)	Zayıflatma katsayısı (dB/m)
Beyaz çam	10.6	1.2
İskoç çamı	6.6	0.7
Norveç akçaağacı	10.0	3.2
Armut	10.6	1.0
Çam	15.4	1.1
Meşe	11.1	0.8
İğne meşe	6.3	0.6
Holly	12.1	1.2
Sassafras	9.8	1.9

Ulaby (1990), çam ağacı için 1.6 GHz frekansında 9.3 dB' lik bir ortalama zayıflatma ölçmüştür [23]. Butterworth 800 MHz' de 24 m ağaç gölgelemesi altında 7 dB' lik bir zayıflatma belirlemiştir [24]. Campbell and Estus (1988), 1.3 GHz' de karışık ağaç topluluğu için 10-20 dB' lik bir toplam zayıflatma ölçmüşlerdir [25].

Ağacın U-GİS yayılımında etkisini belirlemek için yapılan bu çalışmalarda, ölçüm düzeneği ve yöntemlerden kaynaklanan sonuç farklılığı olmasına rağmen, sistem tasarımcılarına bir fikir sunmaktadır.

3.4. Yerden yansımış bileşen

Gezgin birim yakınında yerden yansiyarak alıcı antene ulaşan faz uyumlu dalgadır. Aynasal yansıyan bileşen olarak da adlandırılır. Bu bileşen birinci Fresnel bölgesinde yansımış dalgayı içerir. Fresnel bölgesinin boyutları grazing açısı ve frekansın artmasıyla azalır. Düşük kazançlı antenler kullanılan sistemlerde bu bileşen antenin ışıma alanı içerisine düşeceğinden, doğrudan dalga ile yerden yansıyan bileşenin girişimi bir bayılma derinliğine neden olur. Şekil 21.' de, yansıtma düzlemi ve Fresnel bölgeleri gösterilmiştir. U-GİS' de yer yansıtma düzlemine göre, verici çok yüksek, gezgin birim alıcı anten yüksekliği ise çok düşüktür. Bu nedenle sadece, ilk birkaç Fresnel bölgesinden yansımış dalga alıcı anteninde etkili olur [26].

Aynasal yansıyan bileşenin genliği birinci Fresnel bölge alanı içerisindeki yüzeyi için yansıtma katsayısı yardımıyla tanımlanır. Aynasal yansıtma katsayısı R_s eşitlik (42) yardımı ile verilir [27].

$$R_s = P_s D R_0 \quad (42)$$

P_s : yeryüzü engebellelik faktörü

D : yerin eğri olması nedeniyle ıraksama faktörü

R_0 : engebesiz bir yer düzlemi için karmaşık genlik yansıtma katsayısı

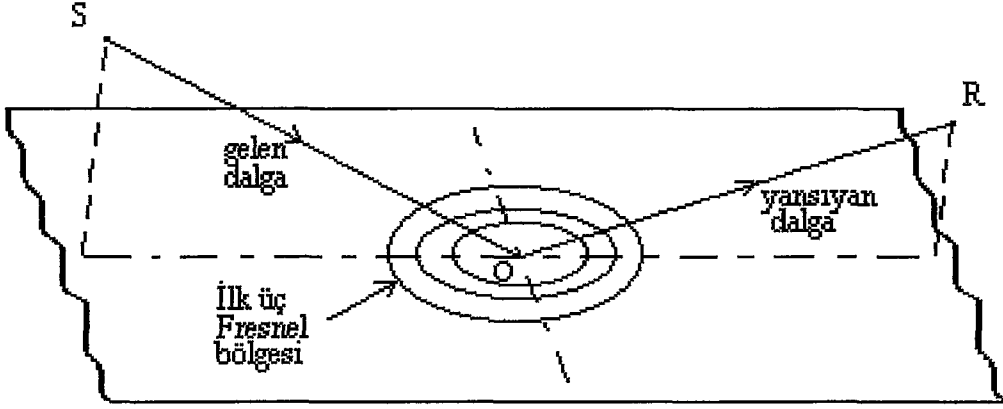
Yeryüzü engebellelik faktörü P_s , engebesiz yüzeyler için 1' e yaklaşır, yüzey düzensizliğinin ve grazing açısının artmasıyla azalır.

$$P_s = \exp -[1/2 (4\pi \sin \alpha) \sigma_i/\lambda] \quad (43)$$

σ_i : yüzey düzensizliği yüksekliğinin standart sapması

α : grazing açısı

λ : dalga boyu (m)

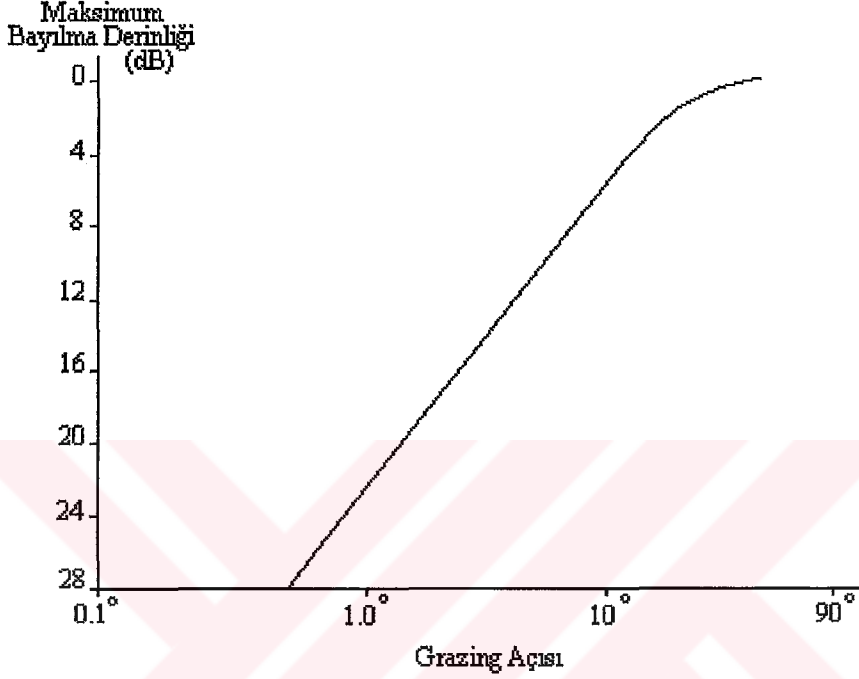


Şekil 21. Yansıtma düzleminde Fresnel bölgeleri [28].

İraksama faktörü D , yeryüzünün düz olmaması nedeniyle yansıyan enerjinin ayrılmasının bir ölçüsüdür. Bu faktör gezgin birim antenin yeryüzünden çok yüksekte olduğu durumlarda önem kazanır. Yer-uydu gezgin iletişim sistemlerinde uygulanabilir yükselme açıları için bu faktörün değeri 1' dir. Karmaşık genlik yansıma katsayısı R_0 , toprağın iletkenliğine ve bağıl geçirgenliğine, grazing açısına ve dalga polarizasyonuna bağlıdır.

Büyük uydu yükselme açılarında yerden yansımış bileşen gezgin birim antenine, uydu yükselme açısına eşit fakat ters yönde gelir. U-GİS için antenler genellikle yönsüz ve düşük kazançlıdır. Fakat yatayın altında bir açıda ulaşan bu işaret, anten ışınma karakteristiğinin arka ve yan-kulak bölgesine düşeceğinden doğrudan bileşene göre çok düşük kazançla alınır. Ayrıca Brewster açısından büyük yükselme açıları için, yansıyan dalganın polarizasyonu doğrudan dalgaya göre terslenir. Gezgin anten karakteristiğine bağlı olarak bu dalga için polarizasyon terslenmez, dolayısıyla anten herhangi bir polarizasyon kuplaj kaybı sağlamaz. Yerden yansımış bileşen sadece düşük yükselme açılarında önemli olmaktadır. U-GİS için Brewster açısının 15° olduğu tesbit edilmiştir [27]. U-GİS uygulamalarında yükselme açısı genellikle Brewster açısından büyük olmaktadır. Diğer taraftan engebeli yüzeylerden yansımış dalganın genliği yükselme açısının büyümesiyle azalır. Şekil 22' de yönsemez bir anten için

grazing açısına göre yerden yansımış bileşenin alınan işarette neden olduğu bayılma değişimi verilmiştir. Büyük yükselme açılarında bu bileşenin U-GİS için bayılma etkisi gözardı edilebilecek bir değerdedir.



Şekil 22. Bayılma derinliğinin grazing açısıyla değişimi [27]

3.5. Yayılmış Bileşen

Yayılmış bileşen, birinci Fresnel bölgesi dışından gezgin birim etrafındaki araziden (dağ, tepe, ev) saçılma uğramış işaretlerin toplamıdır. Çok yollu bileşen olarak da adlandırılan bu bileşen toplam alınan işaretin faz uyumlu olmayan kısmıdır. Çok yollu işaretin her birisi raslantılı genlik, faz ve polarizasyona bağlıdır. Bu nedenle doğrudan bileşenle yayılmış bileşenin girişimi alınan toplam işarete hızlı değişen bayılmaya neden olur. Her biri A_i genliği ve ϕ_i fazına sahip birden çok raslantısal fazörün toplamı yayılmış bileşen olarak tanımlanır. Alıcı anteni tarafından alınan yayılmış bileşen R_{yay} ,

$$R_{yay} = r \exp [j\theta] = \sum_{i=1}^N A_i \exp [j\phi_i] \quad (44)$$

Burada, r yayılmış bileşenin genliği, θ ise yayılmış bileşenin fazıdır. A_i saçılmış i . dalganın genliği, ϕ_i ise i . dalganın doğrudan bileşene göre faz farkıdır. Yayılmış yansıma katsayısı R_D eşitlik (45) ile verilir.

$$R_D = P_d \cdot R_o \quad (45)$$

Burada, P_d saçılım katsayısı, R_o ise engebesiz yer düzlemi için yansıtma katsayısıdır. Çok engebeli yüzeyler ve yönsüz bir anten için R_D 'nin ortalama değeri 0.35 civarında iken, elektromanyetik enerjide soğurma etkisi yapan bitkisel saçıcı ortamlarda 0.1 düzeyindedir [29].

Yerden yansımış bileşende olduğu gibi, alınan işaretle yansımış bileşenin etkisi anten karakteristiği ile ilişkilidir. Anten kazancı, yatayın altında çok düşüktür. Fakat yayılmış bileşen, alıcı antenine genellikle yatayın üstünde bir açı ile ulaşmaktadır. Doğrudan bileşene göre çok düşük bir güce sahip olmasına rağmen sistemdeki etkisi gözardı edilemez. Dolayısıyla U-GİS için yayılmış bileşen önemli bir bozucu etki yaratmaktadır.

3.6. Doppler Etkisi

Gezgin iletişimde görüş doğrultusunda alınan işaretin frekansı, gezgin birimin hareketliliğinden ötürü etkilenir. Gönderilen taşıyıcı işaret frekansı gezgin alıcıda farklı bir frekansta alınır. Gönderilen taşıyıcının frekansı ile alınan işaretin frekans farkına 'doppler frekans kayması' bu etkiye de 'doppler etkisi' adı verilir. Bu frekans kayması kapalı bir çevrim frekans kontrol sistemi yardımı ile giderilebilir. Doppler frekans kayması f_d ,

$$f_d = \pm v \cos E \cos \alpha / \lambda \quad (46)$$

Burada,

v : taşıtın hızı (m/s)

E : kaynak yükselme açısı

α : taşıt yönünün kaynak azimuth'undan sapma açısı

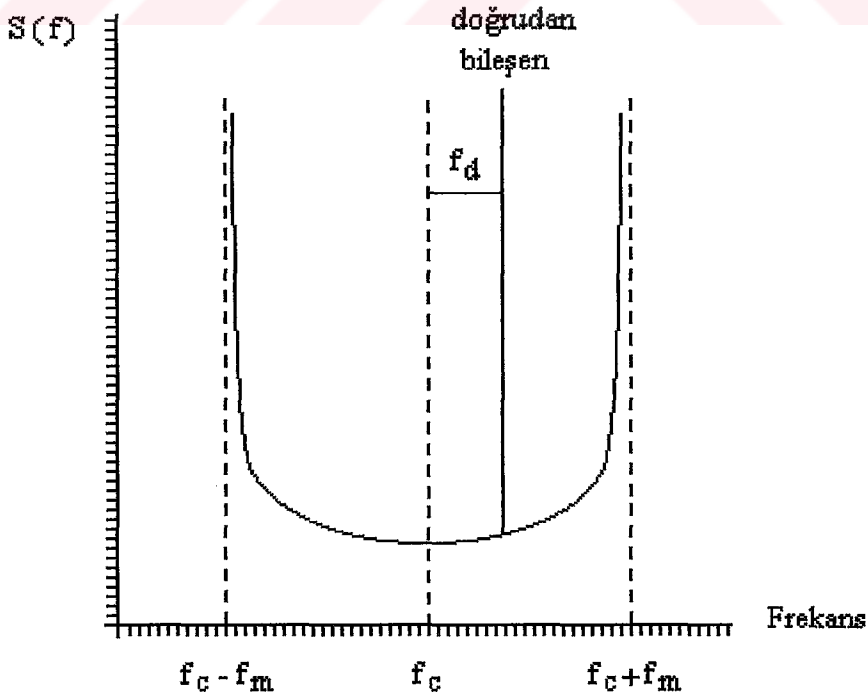
λ : dalga boyu (m)

En büyük doppler etkisi yükselme açısı 0° ve uydu azimuth'una dik hareket eden bir taşıt ($\alpha=0^\circ$) için $f_m = \pm v / \lambda$ dır. 80 km/s hızla hareket eden bir gezgin birimde alınan işaretin en büyük frekans kayması ± 107 Hz' dir.

Gezgin birimde tüm azimuth açıları için yönsüz bir anten kullanıldığı düşünülürse, düzgün saçıcıların bulunduğu bir ortamda hareket eden gezgin birim tarafından, alınan çok yollu bileşenler tüm yönlerden düzgün biçimde alıcıya ulaşırlar. Bu bileşenler kendi varış açlarına ve araç yönüne bağlı bir doppler kayması yaratırlar. Bu durumda enerji spektral yoğunluğu $S(f)$ eşitlik (47) ile verilir [30].

$$S(f) = 1 / [\pi f_m (1 - f^2 / f_m^2)^{1/2}] \quad (47)$$

Burada f , kaynak frekansı ile alınan frekans arasındaki fark, f_m ise en büyük doppler frekans kaymasıdır. Doppler etkisi, alıcı band genişliğine yaklaşık iki f_m ' lik bir ek band genişliği getirmektedir. Kuramsal olarak, $S(f)$ ' nin f ' ye göre değişimi Şekil 23.' te çizilmiştir.



Şekil 23. Yönsemez bir antenle alınan işaretin güç spektrumu

3.7. Uydu Eğriselliği

Uydu transponderinde verici güç yükselteci olarak yüksek frekanslarda, özellikle Ku-bandda, TWTA (yürüyen dalgalı tüp yükselteçler) kullanılır. TWTA' lar eğrisel karakteristiğe sahip olduklarından işaretle bozulmalara neden olurlar. Bu bozulmalar;

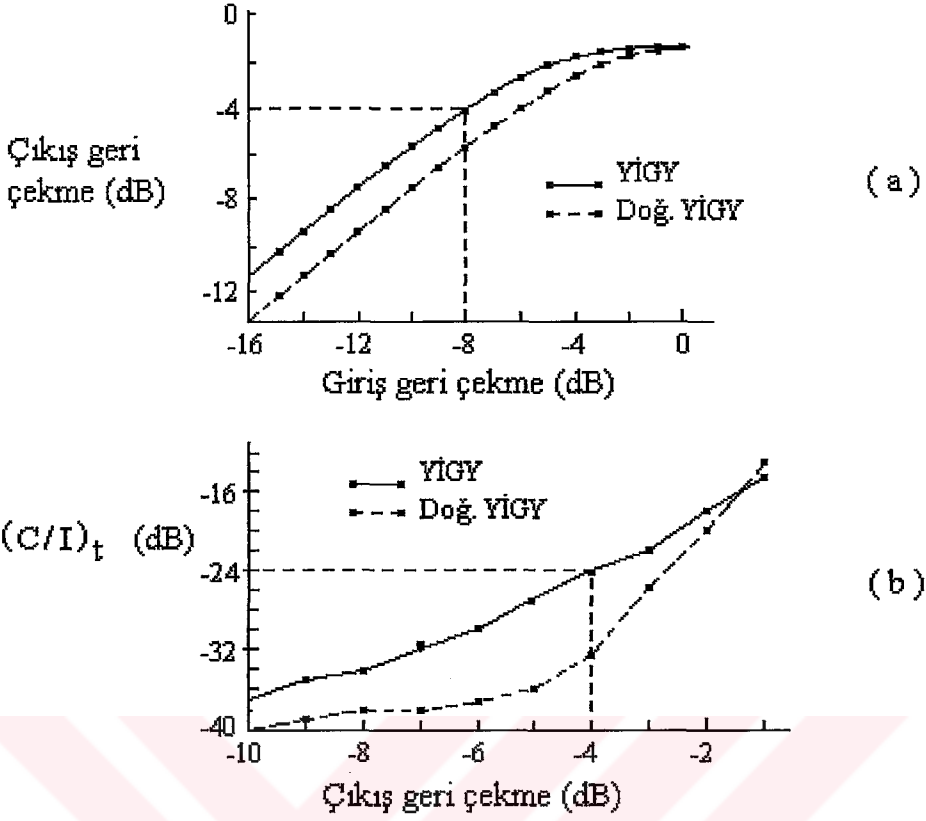
1. Genlik eğriselliği : Çıkış genliğinin giriş genliğine göre eğrisel olmasından meydana gelir (eğrisel çıkış - giriş güç karakteristiği, AM/AM dönüşüm bozulması).

2. Faz eğriselliği : Çıkış fazının girişe göre eğrisel olmasından kaynaklanmaktadır (Eğrisel çıkış fazı-giriş gücü karakteristiği, AM/PM dönüşümü bozulması).

Düşük giriş gücü için çıkış gücü oldukça doğrusal olmasına karşın büyük giriş güçlerinde bir noktaya kadar çıkış gücü eğrisel olarak artar ve bu noktadan sonra çıkış gücünde azalma olur. Çıkış gücü bu noktada en büyüktür ve bu nokta doyum olarak adlandırılır. TWTA' nın çalışma noktası olarak doyum noktasının bir miktar aşağısı alınır. Bu işlem geri çekme olarak tanımlanır. Geri çekme, düşük güç düzeyinde çalışan (güç-sınırlı) U-GİS için önemli olmaktadır.

Genelde bir transponder, belirli bir band genişliği içerisinde farklı frekanslarda çok sayıda dar bantlı taşıyıcı veya geniş bantlı tek taşıyıcı içerir. Eğer çıkış katı eğrisel ise, tek taşıyıcı durumunda bazı genlik dalgalanmaları faz modülasyonuna dönüşecektir. Birçok taşıyıcı durumunda ise intermodülasyon nedeniyle girişim olacaktır. Bu nedenle karakteristiğinin, doyumun altındaki daha doğrusal bölgelerinde çalışmak zorunludur. Bu durum uydu eğriselliği olarak bilinir.

L bandda uydu transponder çıkış gücü katında silisyum transistörlerin kullanılması öngörülmektedir. Doğrusallığı sağlamak için, yükselteçde çıkışın 4 dB' lik bir geri çekme (back-off) ile doğrusallık elde edilmektedir [31]. Bu çalışma noktasında verim % 25' ler düzeyindedir. Doğrusallaştırma uygulanmış ve uygulanmamış yarı iletken güç yükseltecinin geçiş özeğrisi Şekil



Şekil 24. Uydu eğriselliği

24.a' da verilmiştir. 4 dB' lik çıkış geri çekme değeri için giriş geri çekme değeri yaklaşık 8 dB' dir. Şekil 24.b' de ise $(C/I)_t$ ve çıkış gücü geri çekme ilişkisi verilmiştir. 4 dB çıkış geri çekme için $(C/I)_t$ değeri yaklaşık 25 dB düzeyinde olmaktadır [32].

3.8. Bayılma

Bayılma iletişimin temel sorunlarından biridir. Herhangi bir iletişim sisteminde, yayılım koşullarının sabit olmayıp sürekli değişmesi ve kararsızlığı alıcı anteninde alınan işaret genliğinin sabit kalmayıp değişim göstermesine neden olur. Bu duruma yani alınan işaret genliğinin sabit kalmayıp sürekli değişmesine ' *bayılma* ' adı verilir. Bayılma istenmeyen bir durumdur ve sistem başarımını olumsuz etkiler. Bir iletişim kanalında, verici tarafından gönderilen işaret yayılım yolu boyunca ortamın homojen olmaması, sınır bölgelerinde süreksizlik nedeniyle yansımalar ve dielektrik sabitindeki değişimler nedeniyle alıcı

antenine farklı yollar katetmiş çoklu işaretler halinde ulaşır. Bu işaretler arasında faz farkı olması nedeniyle, alınan toplam işaretin genliğinde ve fazında rastlantısal değişmelere neden olur [33] [34].

U-GİS' de yayılım ortamında fiziksel saçıcı ve engelleyici yapıların bulunması, alınan işaretle bayılmaya neden olur. Dağ, tepe gibi arazi düzensizlikleri ile yüksek yapılı binalardan oluşan kentler ve ağaç gibi bitkisel yapılar sistemde alınan işaretin genliğinde ve fazında güçlü değişmeler yaratır. U-GİS için iki farklı bayılma tanımlanabilir [35].

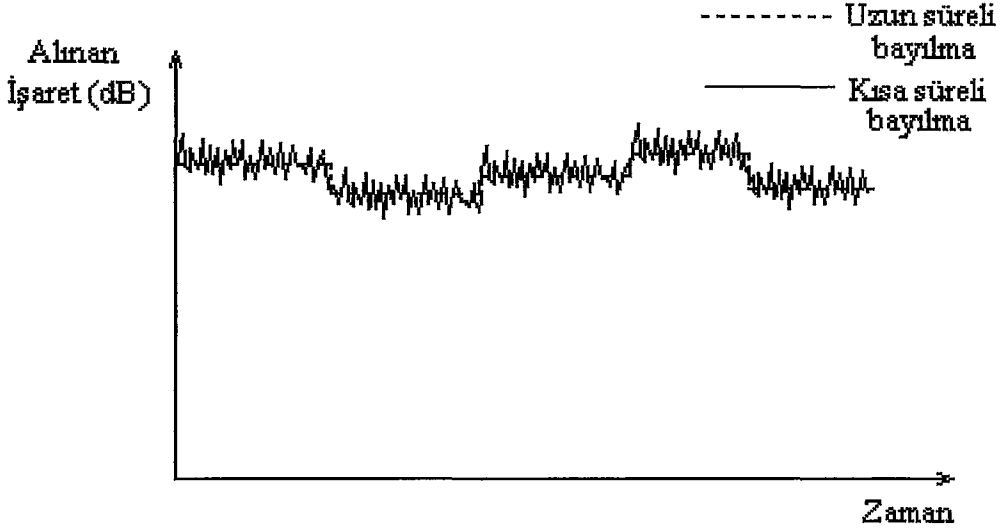
1. Uzun süreli bayılma
2. Kısa süreli bayılma

3.8.1. Uzun süreli bayılma

Alınan işaretle genlik değişiminin yavaş olması uzun süreli bayılma olarak tanımlanır. Uzun süreli bayılma, esasında alınan bayılmalı işaretinin zarfıdır. Bu tür bayılmaya genel arazi biçimlerinin ve insan yapısı binaların doğrudan bileşeni kesmesi veya engellemesi neden olmaktadır. Örneğin gezgin birim açık arazide hareket ederken alınan işaretin düzeyi yüksektir. Çünkü doğrudan bileşen engellenmez. Kent içi, dağlık veya ağaçlıklı yollarda hareket ederken doğrudan dalga engelleneceğinden alınan işaret düzeyi düşüktür. Engelleyici ortamların homojen olmaması nedeniyle alınan işaret düzeyi zamanla değişir. Bir gezgin birim alıcısında alınan işaretle uzun süreli bayılma, alınan işaretin yerel ortalama değeri alınarak belirlenir. Örnek olarak Şekil 25' de açık arazi, kent, dağlık ve ağaç gölgelemeli yollarda alınan işaret ilkesi olarak çizilmiştir. t_1 anındaki işaret düzeyi,

$$m(t) = (1 / 2L) \int_{t_1-L}^{t_1+L} r(t) dt \quad (48)$$

ile hesaplanır. Uzun süreli bayılma altında alınan işaretin ortalama değeri oldukça düşük olacağından iletişim olanağı kesilebilmektedir.



Şekil 25. Uzun süreli ve kısa süreli bayılma

Gölgeleme, uydu ile gezgin birim arasındaki görüş doğrultusunda gelen doğrudan dalganın fiziksel engeller tarafından kesilmesidir. U-GİS 'de özellikle ağaçlar doğrudan bileşende gölgeleme yaparlar. Gölgelemeden ötürü alınan işaretin genlik değişimleri lognormal dağılım özelliği gösterir [26]. Biz z rastlantı değişkeni için lognormal olasılık yoğunluk işlevi, normal yoğunluk işlevinde x rastlantı değişkeni yerine $x=\ln(z)$ konularak elde edilir. Bu durumda z ' nin lognormal olasılık yoğunluk işlevi,

$$P(z) = (1/\sqrt{2\pi}\sigma z) \exp [-(\ln z - m)^2 / 2\sigma^2] \quad (49)$$

Burada m ortalama değer, σ ise standart sapmadır. Güç genellikle dB olarak verildiği için x ile z arasındaki ilişki;

$$x = 10 \log (z) \quad z = \text{güç (Watt)} \quad (50)$$

ya da

$$x = 20 \log (z) \quad z = \text{gerilim (Volt)} \quad (51)$$

olarak verilebilir. z rastlantı değişkeni watt olarak güce karşılık geliyorsa olasılık yoğunluk işlevi,

$$P(z) = (4.3429 / \sqrt{2\pi} \sigma z) \exp [-(10 \log z - m)^2 / 2\sigma^2] \quad (52)$$

Burada m ve σ sırasıyla $10 \log(z)$ nin ortalama değeri ve standart sapmasıdır. Eğer z rastlantı değişkeni gerilime karşılık düşüyorsa olasılık yoğunluk işlevi,

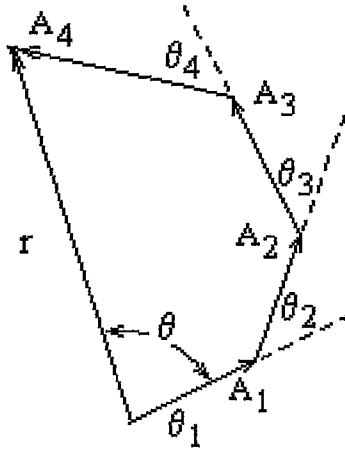
$$P(z) = (8.6858 / \sqrt{2\pi} \sigma z) \exp [-(10 \log z - m)^2 / 2\sigma^2] \quad (53)$$

Burada m ve σ sırasıyla $20 \log(z)$ ' nin ortalama değeri ve standart sapmasıdır.

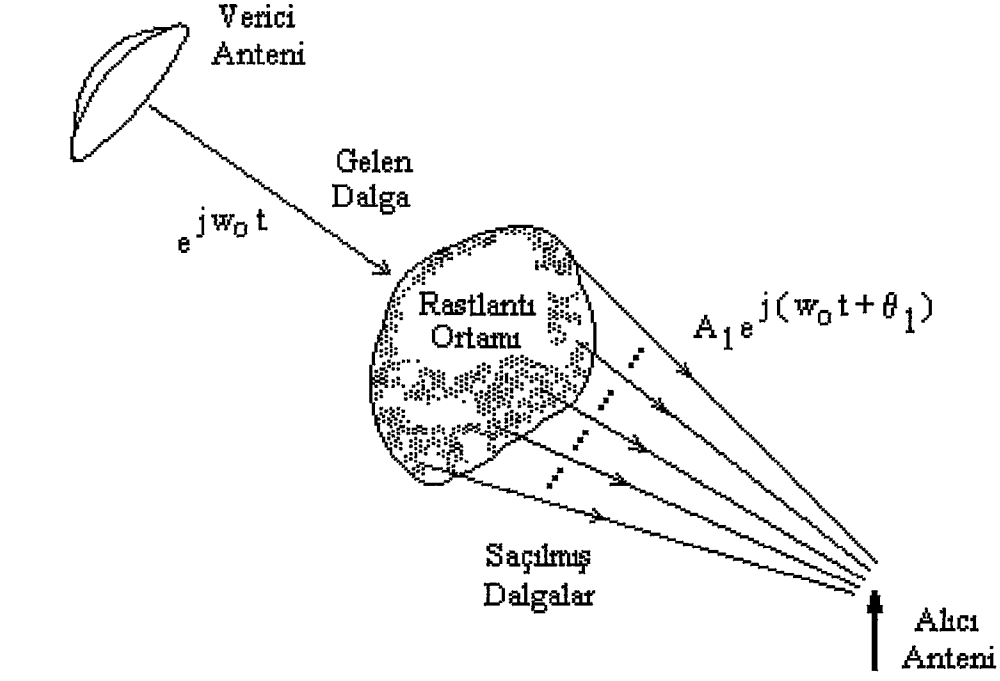
3.8.2. Kısa süreli bayılma

Kısa süreli bayılma, alınan işarete hızlı değişimlerdir. Gezgin birim etrafındaki ev, bina, dağ ve tepe ile yol kenarındaki telefon ve elektrik direkleri gibi yapılar uydudan gönderilen doğrudan dalgada saçılımlara neden olurlar. Bu saçılan dalgalar alıcı antenine çok yollu yayılım şeklinde ulaşır ve alınan işaret genliğinde hızlı değişimlere neden olurlar.

U-GİS de kısa kısa süreli bayılma rayleigh bayılma özelliği gösterir. Gezgin birim etrafındaki fiziksel saçıcılardan çok yollu olarak alıcı antenine ulaşan işaretler Şekil 27' de gösterilmiştir. Şekil 26' da ise bu işaretlerin fazörel toplamı verilmiştir [33].



Şekil 26. Saçılmış işaretlerin fazörel toplamı



Şekil 27. Rastlantısal ortamda saçılmış işaretler

3.8.3. Rayleigh bayılma

Rayleigh bayılmada alıcı tarafından alınan işarete doğrudan dalga alınmaz, sadece çok yollu işaretler alınır. Yayılmış bileşen rayleigh bayılma özelliği gösterir. Şekil 27' de gelen $S_i(t)$ üstel biçimde yazılırsa,

$$S_i(t) = \exp(j\omega_0 t) \quad (54)$$

Gelen işaret $S_i(t)$, rastlantı ortamı sonucunda N adet işarete dönüşür. Alınan işaret $S_r(t)$, tüm bu saçılmış işaretlerin toplamına eşittir.

$$S_r(t) = \sum_{i=1}^N A_i \exp[j(\omega_0 t + \phi_i)] \quad (55)$$

$$S_r(t) = r \exp[j(\omega_0 t + \theta)] \quad (56)$$

$$r \exp[j\theta] = \sum_{i=1}^N A_i \exp[j\phi_i] \quad (57)$$

Saçılmış işaretlerin toplamı karmaşık fazör olarak ortaya çıkar. Şekil 26' da örnek olarak dört adet saçılmış işaretin vektörel toplamı gösterilmiştir.

Eğer saçıcılar ya da çok yollu etkiyi oluşturan diğer yapılar ortam içerisinde yavaş ve rastgele değişiyorsa her bir işaretin genliği A_i ve fazı ϕ_i ' de zamanla ve rastlantısal olarak değişecektir. Dolayısıyla fazörlerin toplamı da rastlantısal değişen bir r genliğine ve θ fazına sahip olacaktır. Eşitlik (56)' daki karmaşık fazörün gerçel ve sanal kısmı tekrar yazılırsa,

$$r \exp[j\theta] = x + jy \quad (58)$$

$$x = \sum_{i=1}^N A_i \cos\phi_i \quad (59)$$

$$y = \sum_{i=1}^N A_i \sin\phi_i \quad (60)$$

olarak elde edilir. Merkezi limit teoremi ile x ve y nin ikisinin de sıfır ortalama değerli ve $\sigma_x^2 = \sigma_y^2 = \sigma^2$ varyanslı normal dağılım rastlantı değişkenleri olduğu gösterilebilir [33].

$$P_x(x) = (1/\sqrt{2\pi\sigma_x^2}) \exp -(x^2 / 2\sigma_x^2) \quad (61)$$

$$P_y(y) = (1/\sqrt{2\pi\sigma_y^2}) \exp -(y^2 / 2\sigma_y^2) \quad (62)$$

$$\sigma_x^2 = \sigma_y^2 = \sum_{i=1}^N \sigma A_i^2 / 2 = \sigma^2 \quad (63)$$

Burada, σA_i^2 , A_i rastlantı değişkeninin varyansıdır. x ve y nin her ikisinde aynı σ^2 varyanslı normal dağılıma sahip ve bağımsız rastlantı değişkenleri olduklarından,

$$P_{xy}(x,y) = P_x(x) P_y(y) \quad (64)$$

olduğu gösterilebilir. $S_i(t)=\exp(j\omega_0 t)$ olan gönderilen işareten alınan işaret $S_r(t)$,

$$S_r(t) = r \exp[j(\omega_0 t + \theta)] = (x + jy) \exp(j\omega_0 t) \quad (65)$$

Burada x ve y eşit varyanslı bağımsız normal dağılım rastlantı değişkenleridir. Gelen ya da gönderilen işaretin,

$$S_i(t) = \cos \omega_0 t = \operatorname{Re} \{ \exp(j\omega_0 t) \} \quad (66)$$

olduğu kabul edilirse alınan işaret, eşitlik (65)' in gerçel kısmı olur.

$$S_r(t) = r \cos(\omega_0 t + \theta) = (x \cos \omega_0 t - y \sin \omega_0 t) \quad (67)$$

$$r^2 = x^2 + y^2 \quad \text{ve} \quad \theta = \tan^{-1} (y/x) \quad (68)$$

$$x = r \cos \theta \quad , \quad y = r \sin \theta \quad (69)$$

Burada, x ve y değişkenleri kartezyen koordinatlara, r ve θ değişkenleri ise kutupsal koordinatlara karşılık gelir. Her iki koordinat sistemi değişkenleri için olasılık yoğunluk işlevi,

$$P_{xy}(x,y) = \{ \exp[-(x^2 + y^2)/2\sigma^2] \} / 2\pi\sigma^2 = \{ \exp[-(r^2/2\sigma^2)] \} / 2\pi\sigma^2 \quad (70)$$

Kartezyen ve kutupsal koordinatlar arasında diferensiyel alanlar dönüşümü,

$$dx dy = r dr d\theta \quad (71)$$

olarak verilir. Bu durumda eşitlik (70) ve (71) den,

$$P_{r\theta}(r,\theta) dr d\theta = \{ r \exp[-(r^2/2\sigma^2)] / 2\pi\sigma^2 \} dr d\theta \quad (72)$$

$$P_{r\theta}(r,\theta) = r \exp[-(r^2/2\sigma^2)] / 2\pi\sigma^2 \quad (73)$$

Yalnız genliğin olasılık işlevi $P_r(r)$ ' ni elde etmek için tüm olası fazlar üzerinden ortalama alınırsa,

$$P_r(r) = \int_0^{2\pi} P_{r\theta}(r,\theta) d\theta = \{r \exp[-(r^2/2\sigma^2)] / \sigma^2\} \quad (74)$$

Eşitlik (74) rayleigh olasılık yoğunluk işlevidir. Bu nedenle kısa süreli bayılma rayleigh bayılma olarak da tanımlanır. Benzer olarak tüm olası r değerleri üzerinden $P_{r\theta}(r,\theta)$ ' nin ortalaması alınarak fazın olasılık yoğunluk işlevi $P_\theta(\theta)$ elde edilir.

$$P_\theta(\theta) = \int_0^{\infty} P_{r\theta}(r,\theta) dr = 1/2\pi \quad (75)$$

Bu sonuçlar incelendiğinde, çok yollu yayılım sonucu oluşan kısa süreli bayılmanın genlik değişimi rayleigh, fazı ise düzgün dağılım ($0 - 2\pi$ arasında) olduğu görülür.

3.8.4. Rician bayılma

Rayleigh bayılma, alıcıda doğrudan bileşenin olmaması sadece rastlantı ortamı sonucunda çok yollu saçılmış ve hiç birisi baskın olmayan dalgaların toplanmasıdır. Uydu-gezgin iletişim yayılımında alıcı antenine düşük düzeyli saçılmış çok yollu dalgaların yanında güçlü ve baskın doğrudan dalga ulaşır. Kararlı bir doğrudan bileşenin olması alınan işaretin faz ve genlik dağılımının rayleigh dağılımından farklılık göstermesine yol açar.

Alınan işaretin $A_c \cos \omega_0 t$ doğrudan bileşen ve çok yollu rastlantılı terimin toplamı olduğu kabul edilirse toplam alınan işaret,

$$S_r(t) = (x+A_c) \cos \omega_0 t - y \sin \omega_0 t \quad (76)$$

şeklinde yazılabilir. Burada x, y rayleigh dağılımında olduğu gibi aynı varyanslı gaussian rastlantı değişkenidir. Sadece $x' = x+A_c$

terimi ile ilgilenilirse, varyansı ve ortalaması A_c olan gaussian değişkeninin toplamı,

$$P(x') = \exp [-(x'-A_c)/ 2\sigma^2)]/ \sqrt{2\pi\sigma^2} \quad (77)$$

Alınan işaret $S_r(t)$ ' nin genliği ve fazı

$$r^2 = x'^2 + y^2 = (x+A_c)^2 + y^2 \quad (78)$$

$$\theta = \tan^{-1} (y/x') = \tan^{-1} y / (x+A_c) \quad (79)$$

olarak ifade edilebilir. x' ' ve y bağımsız raslantı değişkenleri dönüşüm yardımıyla r ve θ' ya karşılık düşürülür.

$$x' = r \cos\theta \quad , \quad y = r \sin\theta \quad (80)$$

$$P(r,\theta) drd\theta = P(x',y) dx'dy = \frac{\exp -[(x'-A_c)^2+y^2/ 2\sigma^2]}{2\pi\sigma^2} dx'dy \quad (81)$$

$$= \frac{\exp (-Ac^2/ 2\sigma^2) r \exp [-(r^2-2rA_c\cos\theta/2\sigma^2)]}{2\pi\sigma^2} drd\theta \quad (82)$$

r ve θ bağımsız değişkenleri $r.\cos\theta$ gibi bir terimle bağlantılı olduğundan bunlar bağımsız değişkenler değildir. Dolayısıyla $P(r,\theta) = P(r)P(\theta)$ şeklinde yazmak olası değildir. Eğer $A_c=0$ yapılırsa bu iki değişken tekrar bağımsız değişken olurlar. Bu durumda $P(r,\theta) = P(r)P(\theta)$ şeklinde yazılabilir. $P(r)$ tüm θ değerleri üzerinden tümlev alınarak bulunur.

$$P(r) = \frac{\exp(-Ac^2/2\sigma^2) r \exp(-r^2/2\sigma^2) 2\pi}{2\pi\sigma^2} \int_0^{2\pi} \exp(rA_c\cos\theta/2\sigma^2) d\theta \quad (83)$$

Eşitlik (83)' deki tümlev birinci tür sıfırinci mertebeden Bessel işlevinden yararlanılarak çözülebilir.

$$I_0(z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \exp(z \cos \theta) d\theta \quad (84)$$

Eşitlik (84), eşitlik (83)' de yerine konulursa $P(r)$,

$$P(r) = r / \sigma^2 \exp[-(r^2 + A_c^2)/2\sigma^2] I_0(rA_c/\sigma^2) \quad (85)$$

biçimini alır. Eşitlik (85) rician yoğunluk işlevidir ve rician bayılmada alınan işaretin genlik dağılımını modellemekte kullanılır.



4. U-GİS YAYILIM MODELİ

4.1. Giriş

U-GİS yayılımını incelemek için geliştirilmiş bir çok model vardır. Mevcut modeller üç ana sınıfta toplanabilir.

1. Deneysel modeller
2. İstatistiksel modeller
3. Geometrik-Analitik modeller

4.2. Deneysel Modeller

Deneysel modeller farklı frekans, yükselme açısı, araç yönü, değişik arazi türü ve farklı gölgeleme yüzdeli yayılım ortamlarında ölçümler yapılarak bayılma dağılımlarını elde eder. Modelin amacı, modellenecek olan bölgede U-GİS' e uygun koşullar oluşturup bu koşullar altında yayılım ölçümleri yapılarak bölgenin gerçek karakteristiğini elde etmektir. En önemli üstünlüğü aynı koşullardaki diğer bölgelere uygulanabilmeleridir. Ancak diğer yol türleri ve frekanslardaki U-GİS ortamlarında bu modeli genelleştirmek güçtür.

Deneysel modellemelerde U-GİS için yayılım ölçümleri yapılırken, o bölgede uydu yoksa uyduyu modellemek için helikopter, uçak, balon, yüksek tepeler veya yüksek binalar kullanılır.

4.3. İstatistiksel Modeller

İstatistiksel modeller, belirli olasılık işlevleri esasına dayanır. U-GİS yayılım karakteristiğinin tanımlanmasında olasılık yoğunluk ve olasılık dağılım işlevleri kullanılır. Tüm istatistiksel modeller gerçek ölçüm sonuçlarına göre belirlenen değişkenlerin bir işlevidir. Bu değişkenler U-GİS ortamına bağlı olarak değişen

yayımlı faktörleri ve ağaç zayıflatmasını tanımlarlar. İstatistiksel modeller iki ana grupta toplanabilir. Bunlar,

1. Loo modeli
2. Toplam gölgelemeli model

olarak verilebilir.

4.3.1. Loo modeli

Modelde, U-GİS de alınan işaret çok yollu bileşen ve ağaç tarafından gölgelenmiş doğrudan bileşenin toplamı kabulü ile, yayılımın olasılık yoğunluk işlevi elde edilmiştir. Modelde ağaç gölgelenmesi ile zayıflatmaya uğramış doğrudan bileşenin genlik değişiminin lognormal dağılıma sahip olduğu kabul edilmiştir. Modelin gelişimi şu şekilde verilebilir [36].

Lognormal dağılımlı rastlantı fazörü ve rayleigh fazörün toplamı,

$$r \exp(j\theta) = z \exp(j\phi_0) + w \exp(j\phi) \quad z, w > 0 \quad (86)$$

olarak verilebilir. burada ϕ_0 ve ϕ , 0 ile 2π arasında düzgün, w rayleigh, z ise lognormal dağılıma sahiptir. Eğer z geçici olarak sabit kabul edilirse, r ' nin koşullu olasılık yoğunluk işlevi rician vektörü olur.

$$P(r \setminus z) = r / b_0 \exp [-(r^2+z^2) / 2 b_0] I_0(rz / b_0) \quad (87)$$

Burada b_0 çok yollu saçılmış gücün ortalama değeri, $I_0(.)$ ise sıfırıncı mertebeden birinci tür Bessel işlevidir. Toplam olasılık kuramına göre,

$$P(r) = \int_0^{\infty} P(r,z) dz = \int_0^{\infty} P(r \setminus z) P(z) dz \quad (88)$$

$$P(r) = r / b_0 \int_0^{\infty} \exp [-(r^2+z^2) / 2 b_0] I_0(rz/b_0) P(z) dz \quad (89)$$

$P(z)$ lognormal olasılık yoğunluk işlevi,

$$P(z) = (1/z \sqrt{2\pi d_0}) \exp [-(\ln z - \mu)^2 / 2d_0] \quad (90)$$

Burada, $\sqrt{d_0}$ standart sapma, μ ağaç zayıflatmasının ortalama değerini göstermektedir. $P(z)$, eşitlik (89)' da yerine yazılırsa,

$$P(r) = (r/b_0 \sqrt{2\pi d_0}) \int_0^{\infty} (1/z) \exp [-(\ln z - \mu)^2 / 2d_0 - (r^2 + z^2) / 2b_0] \cdot I_0(rz/b_0) dz \quad (91)$$

olarak elde edilir. Burada $P(r)$ alınan işaretin olasılık yoğunluk işlevi, r ise işlevin rastlantı değişkenidir. r ' nin büyük değerleri için dağılım lognormal, küçük değerleri için ise rayleigh dağılıma yaklaşır.

$$P(r) = (1/r \sqrt{2\pi d_0}) \exp [-(\ln r - \mu)^2 / 2d_0] \quad ; \quad r \gg \sqrt{b_0} \text{ için} \quad (92)$$

$$P(r) = r/b_0 \exp [-r^2 / 2b_0] \quad ; \quad r \ll \sqrt{b_0} \text{ için} \quad (93)$$

r ' nin ara değerleri için eşitlik (91) sayısal yöntemlerle çözümlenip bayılma dağılımı elde edilir.

4.3.2. Toplam gölgelemeli model

Bu modelde de, U-GİS yayılımında bayılma dağılımı için Loo modelinde olduğu gibi rayleigh, rician ve lognormal dağılımları birleştirilmiştir. Bu modelin belirgin farkı, ortam saçıcı ve gölgeli olmak üzere iki kısma ayrılır. Loo modelinde, rayleigh dağılımlı çok yollu bileşen ile lognormal dağılımlı doğrudan bileşen birleştirilmesine karşın, bu modelde bu iki yayılım ortamının birbirinden tamamen farklı olduğu kabul edilir. Gölgelemesiz durumda genlik istatistiği rician, gölgelemeli durumda ise lognormal dağılım ile modellenir [8].

Bu modelde, iletişimin sağlanacağı yolun gölgelememiş (1-S) kısmında alınan genliğin olasılık dağılımı riciandır. Alınan güç P' için,

$$P_1(P') = K \exp [-K(P'+1)] I_0(2K \sqrt{P'}) \quad (94)$$

yazılabilir. Burada, K doğrudan bileşenin çok yollu bileşene oranıdır. Toplam yolun gölgelenmiş S kısmı rayleigh dağılım özelliği gösterir. Alınan güç P' olmak üzere,

$$P_2(P') = K' \exp (-K' P') \quad (95)$$

olarak verilebilir. modelde $1/K'$ lognormal dağılımlı kabul edilip, m dağılımın ortalama değeri ve σ standart sapması olmak üzere K' faktörünün olasılık yoğunluğu eşitlik (96) ile tanımlanır.

$$P_K(K') = (4.343/K'\sigma\sqrt{2\pi}) \exp[-(10 \log(K')-m)^2/2\sigma^2] \quad (96)$$

Burada,

$$m = E [10 \log (K')] \quad (97)$$

$$\sigma = \{E [(10 \log(K'))^2 - m^2] \}^{1/2} \quad (98)$$

$E[.]$ beklenen değeri tanımlamaktadır. Alınan gücün olasılık yoğunluğu eşitlik (94), (95) ve (96)' nın birleştirilmesi ile bulunur.

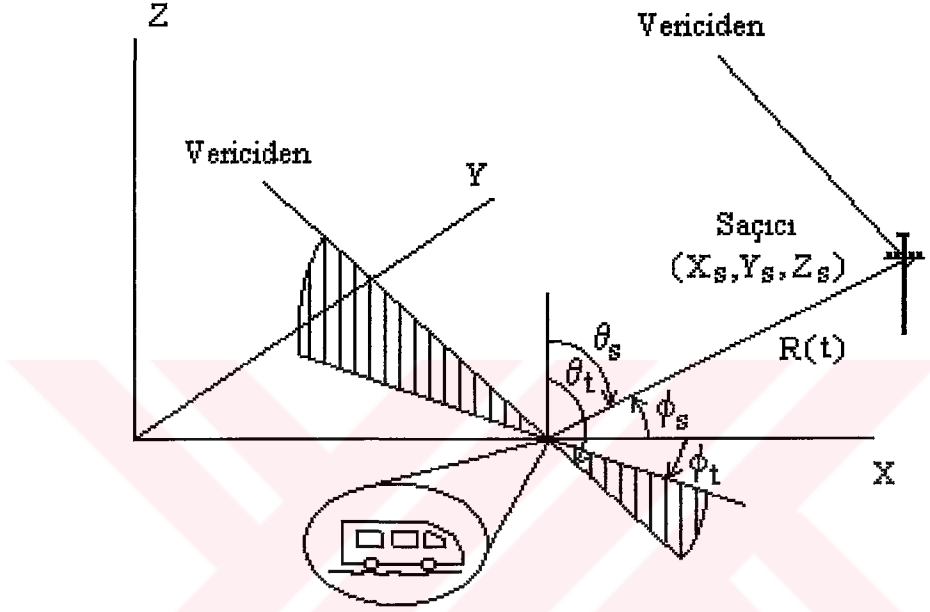
$$P(P') = (1-S) P_1(P') + S \int_0^{\infty} P_2(P'/K')P_K(K') dK' \quad (99)$$

Eşitlik (99) ile alınan gücün olasılık yoğunluk değerleri belirlenebilir. Dolayısıyla U-GİS yayılımında alınan güçte bayılma incelemesi yapmak olasıdır.

4.4. Geometrik-Analitik Modeller

Geometrik-analitik modelleme, U-GİS' de alınan işarette bayılma mekanizmasının fiziksel olarak yorumlanması açısından önemlidir. Model, ortamda tek bir saçıcı olması durumuna göre elde edilmiş, daha sonra birden fazla saçıcı olması durumuna göre

geliştirilmiştir. U-GİS yayılım deneylerinde gezgin birim belirli bir hızla hareket ederken, yol civarındaki dağ, tepe vb. gibi coğrafik yapılar ile insan yapısı binaların saçıcı etki göstererek alıcıda çok yönlü dalga bileşenlerinin oluşmasına neden olduğu gözlenmiştir. Bu tür ortamlarda yapılan yayılım deneylerinde alınan işaret düzeyinin değişimi ile ortam coğrafik yapısının ilişkili olduğu belirlenmiştir.



Şekil 28. U-GİS geometrik-analitik model için yayılım geometrisi [11].

Modelde gezgin birim alıcısına işaretin doğrudan dalga ve sadece tek bir saçıcıdan saçılmış çok yönlü dalga bileşeni ulaştığı kabul edilmiştir. Gölgelememiş bir doğrudan dalga koşulu altında, modelde anten örüntüsü, yol azimuthu ve yükselme açısı, saçıcı uzaklığı ve band genişliği parametre olarak alınmıştır [11].

U-GİS yayılımında tek bir saçıcının var olması durumunda elde edilen modelin geometrik biçimi Şekil 28' de verilmiştir. X ekseninde hareket eden bir araç (gezin birim) v hızıyla x ekseninde hareket etmektedir. Uydu θ_t, φ_t yönünde bir düzlem dalga göndermektedir. Alıcı antenine, doğrudan dalgaya ek olarak (X_s, Y_s, Z_s) koordinatlarındaki saçıcının sebep olduğu çok yönlü bileşen de ulaşmaktadır. Alınan işaret iki dalganın

vektörel toplamı olmaktadır. Modelin sayısal yaklaşımını basitleştirmek için; sadece bir saçıcının varlığı, saçıcının eşyönlü saçılıma neden olduğu ve alıcı antenin azimutdan bağımsız olduğu kabulleri ile alınan elektrik alan şiddeti E_r ,

$$E_r(t) = E_0 D(\theta_t) \exp [j\omega_0 t - \beta] \cdot \{ T + [(\sqrt{s} D(\theta_s)) / (2\sqrt{\pi} R(t) D(\theta_t))] \cdot \exp [j2\pi/\lambda (a(t) - p - R(t))] \} \quad (100)$$

olarak bulunur. Burada,

- E_0 : Doğrudan dalganın alan şiddeti
 $D(\theta_t)$: θ_t yükselme açısında anten gerilim yöneltimi
 ω_0 : Verici frekansı
 β : Faz kayması $(2\pi/\lambda)vt \sin(\theta_t) \cos(\phi_t)$
 T : Doğrudan dalganın iletimi; gölgeleme yoksa $T=1$, tamamen engelleme varsa $T=0$
 s : Saçıcının yankı yüzeyi
 $R(t)$: Alıcı anteni ve saçıcı arasındaki yol uzunluğu
 λ : Dalga boyu

$$a(t) = t \sin(\theta_t) \cos(\phi_t) \quad (101)$$

$$P = x_s \sin(\theta_t) \cos(\phi_t) + y_s \sin(\theta_t) \sin(\phi_t) + z_s \cos(\theta_t) \quad (102)$$

Eşitlik (100) ortamda tek bir saçıcının varlığı kabulü altında elektrik alan şiddetini elde eder. Gerçekte ortamda birden çok saçıcı vardır. Bu durumda alıcıdaki toplam alan şiddetini bulmak için eşitlik (100) ile her bir saçıcının neden olduğu çok yollu bileşen ile sabit genlikli doğrudan dalganın vektörel toplamından oluşan alan şiddeti bulunur. Daha sonra toplam alınan güç P_T eşitlik (103) ve faz ϕ_T eşitlik (104) yardımıyla hesaplanır [36].

$$P_T = \sqrt{(1 + \sum e_{gerçel})^2 + (\sum e_{sanal})^2} \quad (103)$$

$$\phi_T = \tan^{-1}(\sum e_{sanal} / (1 + \sum e_{gerçel})) \quad (104)$$

5. YAYILIM MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

5.1. Giriş

U-GİS' de gezgin birimin bulunabileceği üç farklı coğrafik bölge vardır. Bunlar;

1. Gölgelemesiz Açık Bölgeler
2. Ağaç Gölgelemeli Bölgeler
3. Uyduyu Göremeyen Bölgeler

5.2. Gölgelemesiz Açık Bölgeler

Gezgin birim anteni tarafından alınan işaret gölgelemesiz bölgede, doğrudan bileşen ve civardaki saçıcılardan saçılmış çok yollu işaretlere ($R_{\text{çyb}}$) sahiptir. Alınan işaret R_1 ,

$$R_1 = R_{\text{db}} + R_{\text{çyb}} \quad (105)$$

Sabit doğrudan bileşen ve çok yollu yayılmış bileşenle alınan işaret, rician bayılmaya sahiptir. Dolayısıyla bu yayılım rician olasılık yoğunluk işlevi ile modellenir. Alınan işaretin genliğine ilişkin olasılık yoğunluk işlevi,

$$P_1(r) = r/\sigma^2 \exp[-(r^2 + A_c^2)/2\sigma^2] I_0(rA_c/\sigma^2) \quad (106)$$

Burada r raslantı değişkenini, A_c doğrudan bileşenin genliğini, σ^2 çok yollu bileşenin gücünü ve $I_0(.)$ sıfırinci mertebeden birinci tür Bessel işlevini simgeler. Doğrudan bileşenin gücü $A_c^2/2$ alınırsa rician yayılım parametresi K ,

$$K = P_{\text{db}} / P_{\text{çyb}} = A_c^2/2\sigma^2 \quad (107)$$

$P_{db} = 1$ alınırsa eşitlik (106), eşitlik (108) biçimine dönüşür.

$$P_1(r) = K r \exp[-K(r^2/2 + 1)] I_0(Kr \sqrt{2}) \quad (108)$$

5.3. Ağaç Gölgelemeli Bölgeler

U-GİS yayılımı için önemli ölçüde bozucu etkidir. Doğrudan dalga, yol kenarı ağaçlar ve ormanlık ortamlar tarafından gölgelenir. Bu ortamlarda gezgin birim tarafından alınan işaret iki bileşene sahiptir; ağaçlar tarafından gölgelenen doğrudan dalga (R_{db}') ve yayılmış bileşenler. Alınan toplam işaret R_2 ile verilirse,

$$R_2 = R_{db}' + R_{çyb} \quad (109)$$

Çok yollu bileşenlerin toplamı rayleigh dağılıma, gölgelemeli doğrudan bileşen ise lognormal dağılıma sahip olduğundan alınan toplam işaretin olasılık yoğunluk işlevi gölgelemeli rician ile verilir [38].

$$P_2(r) = (r/b_0 \sqrt{2\pi d_0}) \int_0^{\infty} (1/z) \exp[-(\ln z - \mu)^2/2d_0 - (r^2+z^2)/2b_0] \cdot I_0(rz/b_0) dz \quad (110)$$

Burada b_0 çok yollu saçılmış gücün ortalama değerini, $\sqrt{d_0}$ $\ln z'$ nin standart sapmasını, μ ise $\ln z'$ nin ortalama değerini simgeler. Rayleigh yayılım faktörünün değeri $1/b_0$ olarak yerine konursa,

$$P_2(r) = (K'r/ \sqrt{2\pi d_0}) \int_0^{\infty} (1/z) \exp[-(\ln z - \mu)^2/2d_0 - K'(r^2+z^2)/2] \cdot I_0(K'rz) dz \quad (111)$$

5.4. Uyduyu göremeyen Bölgeler

Bu tür ortamlarda doğrudan dalga, dağ ve tepe gibi arazi düzensizlikleri ve kentsel bölgelerdeki binalar tarafından

engellenir. Gezgin birimde yalnızca yayılmış çok yollu bileşenlerin toplamı alınır.

$$R_3 = R_{\text{çyb}} \quad (112)$$

Alınan çok yollu bileşenlerin toplamı kısa süreli bayılma özelliği taşır ve rayleigh istatistik ile modellenir. Alınan işaret genliğinin olasılık yoğunluk işlevi $P_3(r)$,

$$P_3(r) = r/\sigma^2 \exp[-r^2/2\sigma^2] \quad (113)$$

Burada σ standart sapmayı, σ^2 ise çok yollu bileşenin gücünü gösterir. Rayleigh bayılma için yayılım faktörü K' ,

$$K' = (P_{\text{çyb}})^{-1} = 1/\sigma^2 \quad (114)$$

olarak alınıp yerine yazılırsa,

$$P_3(r) = K' r \exp[-K'r^2/2] \quad (115)$$

5.5. Toplam Yayılım Modeli

Gezgin iletişimde bayılma derinliği, sistem tasarımında istenilen kesintisiz ve güvenilir iletişim yüzdesine göre değişir. Toplam iletişim süresinin ya da yolunun belirli bir yüzdesi için bayılma sınırı hesaplanır. Bu yüzde değeri, alınan işaret düzeyinin belirlenen bayılma derinliğinden büyük olma olasılığıdır. Eğer belirlenen bayılma sınırı kadar sisteme ek bir kazanç eklenirse, sistemin kesintisiz ve güvenilir olması sağlanır.

Farklı yayılım ortamları için elde edilen $P_1(r)$, $P_2(r)$ ve $P_3(r)$ olasılık yoğunluk işlevleri, her bir işaret düzeyinin olasılık değerlerini bulmaya yarar. İşaret düzeyi istatistiğinde olasılık yoğunluk işlevleri yerine, yığılımlı olasılık dağılım işlevleri kullanılır. Ancak bu durumda toplam iletişim süresinin istenilen yüzdesi için işaret düzeyini belirleme olanağı vardır [36].

$$F(R) = P\{r \leq R\} = \int_{-\infty}^R P(r) dr \quad (116)$$

$$G(R) = P\{r \geq R\} = \int_R^{\infty} P(r) dr \quad (117)$$

Burada $P(r)$ olasılık yoğunluk işlevidir. $F(R)$ alınan işaretin R düzeyinden küçük, $G(R)$ ise işaretin R düzeyinden büyük olma olasılığıdır.

$$\text{Tüm olasılıkların toplamı } \int_{-\infty}^{\infty} P(r) dr = 1 \text{ ' dir. Olası üç bölgeye}$$

ilişkin $G(R)$, eşitlik (118) yardımıyla bulunur.

$$G_i(R) = \int_R^{\infty} P_i(r) dr = 1 - \int_0^R P_i(r) dr \quad i=1, 2, 3 \quad (118)$$

Gölgelemesiz açık bölgeler için $G_1(R)$,

$$G_1(R) = 1 - \int_0^R P_1(r) dr \quad (119)$$

$$G_1(R) = 1 - \int_0^R K r \exp[-K(r^2/2 + 1)] I_0(Kr\sqrt{2}) dr \quad (120)$$

Eşitlik (120)' nin analitik çözümü olmadığından $F(\text{dB}) = -R$ dönüşümü yapılarak $G_1(F)$, eşitlik (121)' deki gibi analitik olarak verilebilir [37][38].

$$G_1(F) = 1 - \exp [-(F + U_1) / U_2] \quad (121)$$

Burada,

$$U_1 = 0.01 K^2 - 0.378 K + 3.98 \quad (122)$$

$$U_2 = 331.35 K^{-2.29} \quad (123)$$

olarak verilir.

Ağaç gölgelemeli bölgeler için $G_2(R)$,

$$G_2(R) = 1 - \int_0^R P_2(r) dr \quad (124)$$

$$G_2(R) = 1 - \int_0^R K'r / (\sqrt{2\pi d_0}) \int_0^\infty (1/z) \exp[-(\ln z - \mu)^2 / 2d_0 - K'(r^2 + z^2)/2] I_0(K'rz) dz dr \quad (125)$$

$F = -R$ alınarak, alınan işaretteki bayılma derinliğinin F (dB)' den az olma yüzdesi eşitlik (126) ile verilir [37][38].

$$G_2(F) = 1 - [(50-F) / V_1]^{V_2} \quad (126)$$

V_1 ve V_2 , eşitlik (127) ve (128) ile verilir.

$$V_1 = -0.275 K' + 0.723 \mu + 0.336 \sigma + 56.979 \quad (127)$$

$$V_2 = [-0.006 K' - 0.008 \mu + 0.013 \sigma + 0.121]^{-1} \quad (128)$$

olarak elde edilir.

Uyduyu göremeyen bölgeler için $G_3(R)$,

$$G_3(R) = 1 - \int_0^R P_3(r) dr \quad (129)$$

$$G_3(R) = 1 - \int_0^R K' r \exp(-K' r^2/2) dr \quad (130)$$

$$G_3(R) = \exp(-K' r^2/2) \quad (131)$$

olarak elde edilir. Bayılma derinliği istenilen $G_3(F)$ yüzdesi, eşitlik (132) ile bulunur.

$$F = - 20 \log \{ \sqrt{(-2 \ln[G_3(F)] / K')} \} \quad (132)$$

olarak bulunur.

Toplam modelde, bu ayrıık modeller uygun bölge fiziksel katsayıları ile birleştirilir. Gölgelemesiz açık bölgelerin toplam bölge içerisindeki yüzdesi A, ağaçlıklı bölgelerin yüzdesi B ve uyduyu göremeyen bölgelerin yüzdesi C olarak alınırsa toplam model $G(R)$,

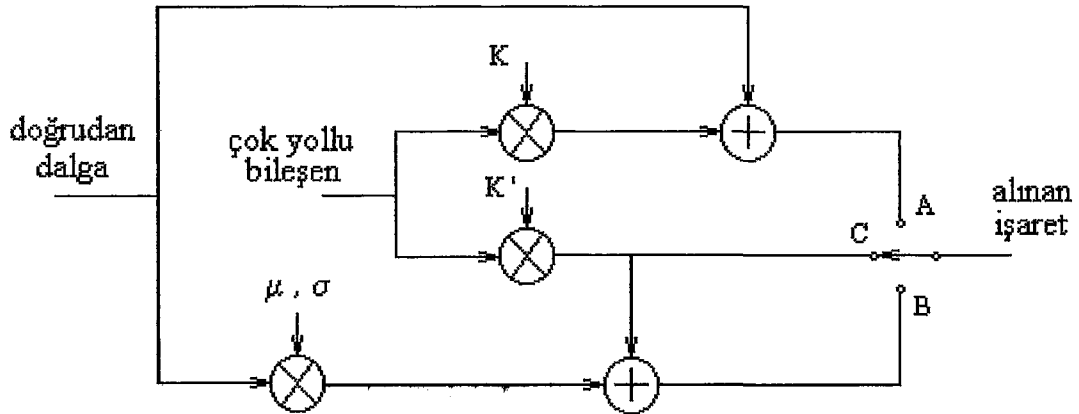
$$G(R) = A G_1(R) + B G_2(R) + C G_3(R) \quad (133)$$

olarak verilir. Bölge katsayıları,

$$A + B + C = 1 \quad (134)$$

olmak zorundadır.

Geliştirilen toplam bölgesel model Şekil 29' daki gibi gösterilebilir.



Şekil 29. Yayılım benzetişinin blok gösterimi

6. MODELİN BİLGİSAYAR BENZETİMİ

6.1. Giriş

Bu bölümde U-GİS' in modellenmesinde kullanılan rayleigh, rician ve gölgelemeli rician olasılık yoğunluk işlevleri ve olasılık dağılım işlevlerinin sayısal tümlevlerinin alınmasında kullanılan yöntemler üzerinde durulacak ve Turbo Pascal 6.0 programlama dili kullanılarak çözdürülen tümlevlerin sonuçları listeler ve grafikler halinde verilecektir. Bu amaçla yazılan bilgisayar programı Ekler Bölümü' nde sunulacak, elde edilen sonuçların değerlendirmesi de Bölüm 7.' de yapılacaktır.

6.2. Sayısal Tümlev

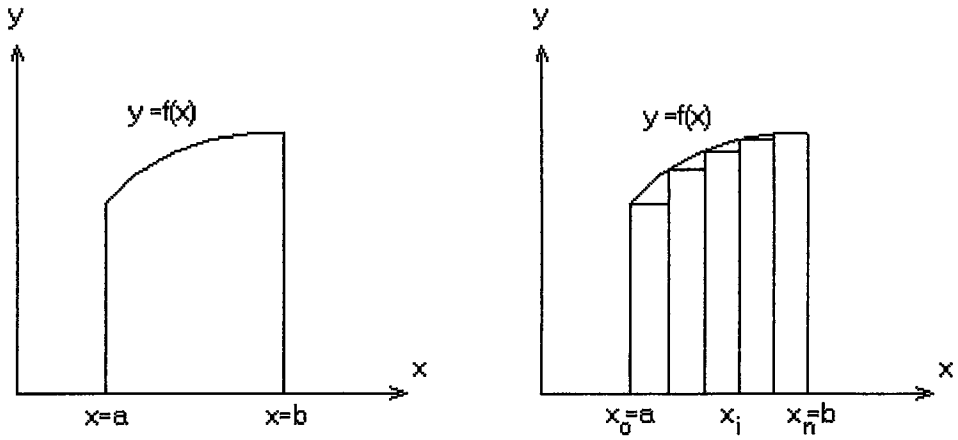
Sayısal tümlev,

$$I = \int_a^b f(x) dx \quad (135)$$

tümlevinin değerini yaklaşık olarak bulma işlemidir. Bilindiği gibi tümlevin sınırları olan a ve b sayıları sabit iseler, tümlevin sonucu da sabittir. Değeri ise $y=f(x)$ eğrisinin altında, $x=a$ ve $y=b$ doğruları arasında kalan alana eşittir. Bu tümlev n sayıda dikdörtgen kullanarak

$$I = \sum_{i=0}^{n-1} h_i f_i \quad (136)$$

olarak hesaplanabilir. Burada f_i ile $f(x_i)$ ve h_i ile de i' nci dikdörtgen genişliği gösterilmektedir ve $h_i=x_{i+1}-x_i$ olarak tanımlanır. Eğer dikdörtgenlerin genişliği sabit ise o zaman $h=(b-a)/n$ olarak yazılabilir.



Şekil 30. Sayısal tümlev örneği [39]

Çok sayıda dikdörtgen kullanarak iyi sonuçlar elde edilebileceği öne sürülebilir, ancak böyle bir yaklaşımın iki sakıncası vardır. Birincisi yuvarlatma yanlışları büyür, ikincisi hesaplama süresi artar.

Sayısal tümlev formülleri herhangi bir tümlev aralığı için elde edilebilir. Bununla beraber, aralığa bağlı olarak üç tip tümlev formülü tanımlanabilir.

1. Kapalı formüllerde tümlev aralığı (x_0, x_n) olup, bu tip formüller genellikle kısmi diferensiyel denklemlerin çözümünde karşılaşılan belirli tümlevleri hesaplamak için kullanılır.

2. Açık formüllerde tümlev aralığı (x_{-1}, x_{n+1}) olarak alınır. Genellikle adi diferensiyel denklemler için kullanılan bu formüller kapalı formüllerden daha az hassastır.

3. Aralığın bir kısmını kullanan formüllerde ise, tümlev aralığı (x_1, x_{n-1}) olur ve bu tür formüller kapalı formüllerden daha hassastır.

6.2.1. Belirlenmemiş katsayılar yöntemiyle sayısal tümlev

Bu yöntemin amacı, bazı şartları kullanarak tümlev işlevinde kullanılacak olan katsayıların değerini bulmaktır. İşlem, bilinmeyenleri bu katsayılar olan bir doğrusal denklem takımının çözümünü gerektirir.

Bir (a,b) aralığının n eşit parçaya bölünmesiyle x_0, x_1, \dots, x_n noktalarının elde edildiği varsayalım. Bu $(n+1)$ nokta için tümlev formülü,

$$\int_{x_0}^{x_n} f(x) dx = A_0 f_0 + A_1 f_1 + \dots + A_n f_n + E \quad (137)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $i=0,1,\dots,n$ için $f_i=f(x_i)$ olarak belirlenmiştir. Tümlevi alınacak olan $f(x)$ işlevi, derecesi n veya az olan bir polinom olduğuna göre eşitlik (137) içindeki A_0, A_1, \dots, A_n katsayılarının $E=0$ (hata) olacak şekilde bulunması istensin. Polinom,

$$P(x) = a_0 x^n + a_1 x^{n-1} + \dots + a_{n-1} x + a_n \quad (138)$$

yerine

$$P(x) = b_0 (x-x_0)^n + b_1 (x-x_0)^{n-1} + \dots + b_{n-1} (x-x_0) + b_n \quad (139)$$

olarak da yazılabilir. O zaman $f(x)$ için $1, (x-x_0), \dots, (x-x_0)^n$ kullanılarak $E=0$ yazılabilir ve $(n+1)$ tane bilinmeyen çözüm için gereken $(n+1)$ denklem elde edilir. Örnek olarak üç nokta kullanarak tümlevin bulunması istensin.

$$\int_{x_0}^{x_2} g(x) dx = A_0 f_0 + A_1 f_1 + A_2 f_2 + E \quad (140)$$

Burada x_0, x_1 ve x_2 noktaları için işlevin değerlerini $f_0=f(x_0)$, $f_1=f(x_1)$ ve $f_2=f(x_2)$ olarak gösterip, sıra ile $f(x)$ ' in $1, (x-x_0)$ ve $(x-x_0)^2$ değerleri için $E=0$ olacak şekilde,

$$\int_{x_0}^{x_2} 1. dx = A_0.1 + A_1.1 + A_2.1 \quad (141)$$

$$\int_{x_0}^{x_2} (x-x_0) dx = A_0(x_0-x_0) + A_1(x_1-x_0) + A_2(x_2-x_0) \quad (142)$$

$$\int_{x_0}^{x_2} (x-x_0)^2 dx = A_0(x_0-x_0)^2 + A_1(x_1-x_0)^2 + A_2(x_2-x_0)^2 \quad (143)$$

yazılabilir. Tümlevler için de,

$$\int_{x_0}^{x_2} dx = x_2 - x_0 = 2h \quad (144)$$

$$\int_{x_0}^{x_2} (x-x_0) dx = \left| \frac{1}{2}(x-x_0)^2 \right|_{x_0}^{x_2} = 2h^2 \quad (145)$$

$$\int_{x_0}^{x_2} (x-x_0)^2 dx = \left| \frac{1}{3}(x-x_0)^3 \right|_{x_0}^{x_2} = \frac{8}{3}h^3 \quad (146)$$

bulunur. Böylece daha önce yazılan üç denklem yeniden,

$$\begin{aligned} A_0 + A_1 + A_2 &= 2h \\ hA_1 + 2hA_2 &= 2h^2 \\ h^2A_1 + 4h^2A_2 &= \frac{8}{3}h^3 \end{aligned} \quad (147)$$

olarak yazılır. Bu denklem takımının çözümünden A_0 , A_1 ve A_2 bilinmeyen katsayıları için $A_0 = h/3$, $A_1 = 4/3 h$, $A_2 = h/3$ bulunur. O halde ikinci derece polinomların tam olarak tümlevinde kullanılabilen formül,

$$\int_{x_0}^{x_2} f(x) dx = h/3 (f_0 + 4f_1 + f_2) \quad (148)$$

olacaktır. Bu tümlev formülü "*Simpson Formülü*" olarak bilinir.

Eğer n bir çift sayı ise birbirlerini takip eden her iki alt aralık, tüm aralığın küçük parçalarını meydana getirirler. Sayıları $(n/2)$ olan bu küçük aralıklarda Simpson kuralı ardarda kullanılırsa,

$$\int_a^b f(x)dx = h/3(f_0+4f_1+2f_2+4f_3+\dots+2f_{n-2}+4f_{n-1} + f_n)+E \quad (149)$$

yazılır. Bu formül hem basitliği hem de doğruluk derecesinin fazla olması nedeniyle çok kullanılır [40][41]. Rician olasılık yoğunluk işlevi ile modellenen gölgelemesiz açık bölgeler için bayılma incelemesi, Simpson kuralı kullanılarak yapılacaktır ve bu amaçla hazırlanan bilgisayar programı Ekler Bölümü' nde verilmiştir.

6.2.2. İki boyutlu tümlevler

İki boyutlu tümlev F ,

$$F = \int_a^b \int_c^d f(x,y) dx dy \quad (150)$$

olarak tanımlanır ve $x=a$, $x=b$, $y=c$ ve $y=d$ dikdörtgeni bölgesi içinde hesaplanır. Tümlev işlevi x ve y yönlerinde, örneğin, yamuk formülü kullanılarak yapılabilir. Bunun için $abcd$ dikdörtgeni, kenarları $h=(b-a)/m$ ve $k=(d-c)/n$ olan $(m*n)$ tane dikdörtgene bölünür. Herhangi bir köşe noktasındaki x ve y değerleri,

$$\begin{aligned} x_i &= a + ih & i &= 0, 1, 2, \dots, m \\ y_j &= c + jk & j &= 0, 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (151)$$

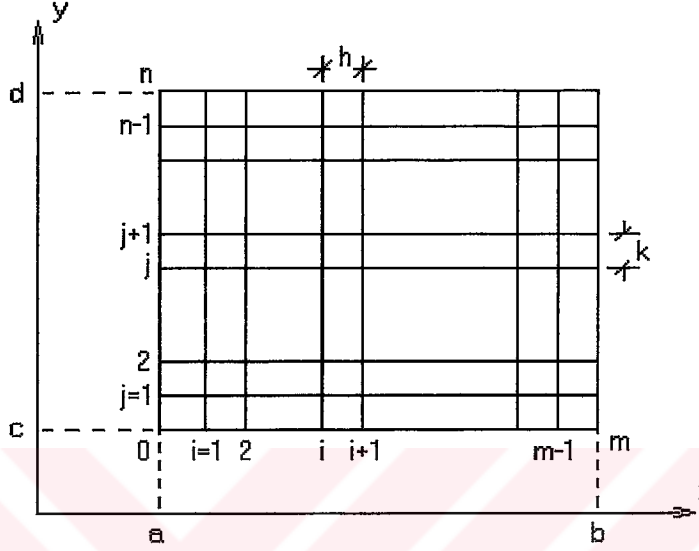
ile tanımlanır. Yamuk formülü ile, kenarları h ve k olan ve sol alt köşesi (i,j) olan dikdörtgende tümlevin değerini I_{ij} ile gösterip,

$$I_{ij} = \int_{y_j}^{y_{j+1}} dy \int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x,y)dx = \int_{y_j}^{y_{j+1}} h/2 [f(x_i,y) + f(x_{i+1},y)] dy \quad (152)$$

veya

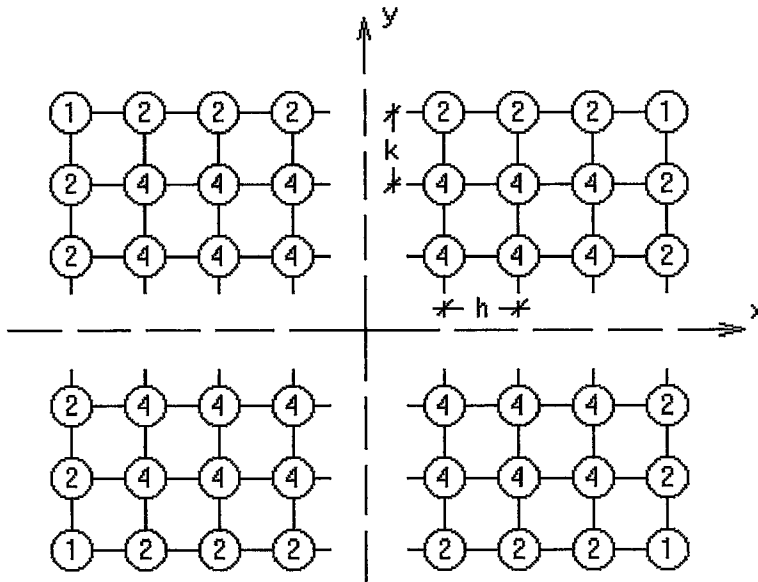
$$I_{ij} = (hk)/4 [f_{i,j} + f_{i,j+1} + f_{i+1,j} + f_{i+1,j+1}] \quad (153)$$

yazılabilir. Burada $f_{i,j} = f(x_i, y_j)$ olarak tanımlanmıştır.



Şekil 31. İki boyutlu tümlev işlemi [39][41]

Her dikdörtgen için bulunan $I_{i,j}$ değerleri elde edildiğinde iç köşelerdeki değerlerin dört katı ile sınırdaki köşe değerlerinin bir katının toplamının tümlevin değerine eşit olduğu görülür. Bu işlem moleküller şeklinde Şekil.32' de gösterilmiştir.



Şekil 32. Yamuk formülü ile iki boyutlu tümlev [39]

Gölgelemeli Rician olasılık yoğunluk işlevi ile modellenen ağaç gölgelemeli bölgeler için bayılma incelemesi, yamuk formülü ile iki boyutlu tümlev işlemi kullanılarak yapılacaktır ve bu amaçla hazırlanan bilgisayar programı Ekler Bölümü' nde verilmiştir.

6.3. Birinci Tür Bessel İşlevi

Bessel işlevleri ışınma, saçılım ve kılavuzlu dalga problemlerinin matematiksel çözümleri gibi pek çok sorunda karşımıza çıkar ve silindirik koordinatlarda formüle edilirler. Bessel işlevleri, elektromanyetizmanın yanısıra, pek çok olayın da matematiksel olarak tanımlanmasında kullanılır. Sonuca, doğru ve kesin çözümlere getirmesi nedeniyle büyük öneme sahiptir [42].

Birinci tür Bessel işlevleri, Bessel' in türevsel eşitliğinin çözümüdür.

$$z^2 y'' + zy' + (z^2 - n^2)y = 0 \quad (154)$$

n tamsayı olarak alınırsa birinci tür Bessel İşlevi $I_n(z)$, eşitlik (155)' deki gibi gösterilebilir.

$$I_n(z) = (z/2)^n \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-z^2/4)^k}{k!(n+k)!} \quad (155)$$

$n=0$ alarak, sıfırıncı mertebeden birinci tür Bessel işlevi $I_0(z)$,

$$I_0(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-z^2/4)^k}{(k!)^2} \quad (156)$$

ile verilebilir [33].

$$\begin{aligned} z \ll 1 \text{ için, } & I_0(z) = 1 + z^2/4 + \dots = e^{z^2/4} \\ z \gg 1 \text{ için, } & I_0(z) = e^z / \sqrt{2\pi z} \end{aligned} \quad (157)$$

z' in büyük terimleri için $I_n(z)$ ' in belirlenmesinde bu eşitlik kullanışlı değildir. Bessel işlevinin sayısal hesaplaması için değişik gösterimler vardır. Trigonometrik yaklaşımlar kullanarak $I_n(z)$ için gösterilen algoritma oldukça kullanışlıdır. $I_n(z)$ için eşitlik (158) ile verilen tümlev gösterimi karmaşık z için kullanılabilir.

$$I_n(z) = (1/\pi) \int_0^{\pi} \cos(z \sin\theta - n\theta) d\theta \quad (158)$$

Büyük değişkenler ve mertebeler için tümlev, hızlı salınım yapar. Bunun nedenle sayısal tümlevde, adım sayısını büyük tutmak gerekir. Bu durum ise, hesaplama süresinin artmasına neden olur [42].

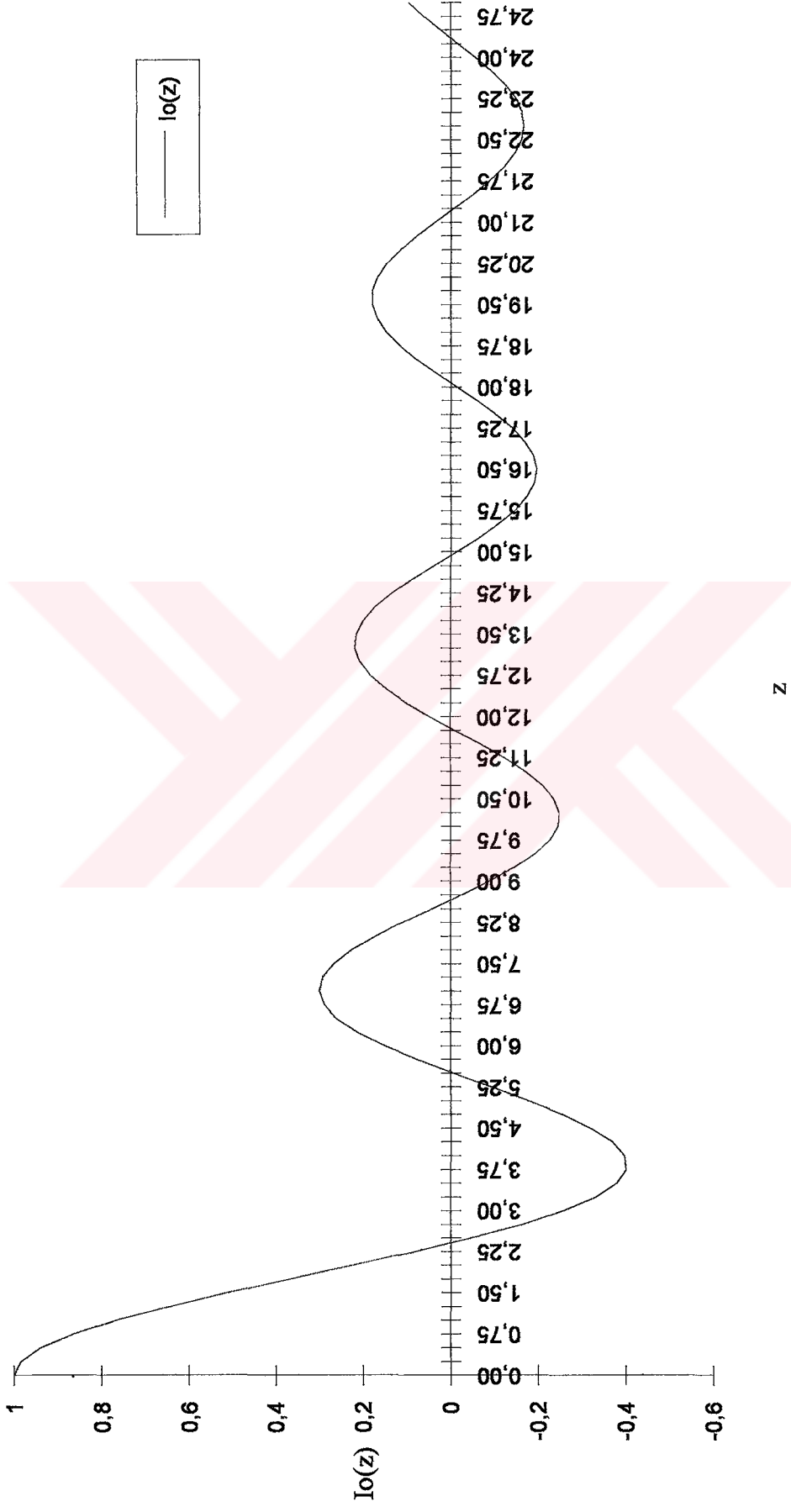
U-GİS modelimizde, sırasıyla eşitlik (120) ve eşitlik (125) ile verilen rician ve gölgelemeli rician olasılık dağılım işlevlerinde kullanılan sıfırinci mertebeden birinci tür Bessel işlevleri $I_0(Kr\sqrt{2})$ ve $I_0(K'rz)$ ' in sayısal irdelemesi eşitlik (159) ile yapılacak ve bu amaçla hazırlanan bilgisayar programı Ekler Bölümü' nde verilecektir. $n=0$ için eşitlik (158)' i yeniden yazacak olursak,

$$I_0(z) = (1/\pi) \int_0^{\pi} \cos(z \sin\theta) d\theta \quad (159)$$

bulunur. Bu tümlev çözdürülerek z' in değişik değerleri için bulunan sonuçlar Tablo 2.' de liste halinde verilmiş, 'Excel 4.0 for Windows' programı kullanılarak Şekil 33.' de $I_0(z)$ çizdirilmiştir.

Tablo 2. Sıfıncı mertebeden birinci tür Bessel işlevi değerleri

z	Io(z)	z	Io(z)
0,00	1		
0,25	0,984435929	12,75	0,182885057
0,50	0,938469807	13,00	0,206926102
0,75	0,864242275	13,25	0,217765678
1,00	0,765197687	13,50	0,214989166
1,25	0,645906085	13,75	0,199018879
1,50	0,511827672	14,00	0,171073476
1,75	0,36903253	14,25	0,133080042
2,00	0,223890779	14,50	0,087544868
2,25	0,082749851	14,75	0,037391386
2,50	-0,048383776	15,00	-0,014224473
2,75	-0,164141428	15,25	-0,064110019
3,00	-0,260051955	15,50	-0,109230651
3,25	-0,332750802	15,75	-0,146892077
3,50	-0,38012774	16,00	-0,174899074
3,75	-0,401406055	16,25	-0,191681541
4,00	-0,39714981	16,50	-0,196380693
4,25	-0,36919977	16,75	-0,188890755
4,50	-0,320542509	17,00	-0,169854252
4,75	-0,255120827	17,25	-0,14061185
5,00	-0,177596771	17,50	-0,103110398
5,25	-0,09308099	17,75	-0,059775356
5,50	-0,006843869	18,00	-0,013355806
5,75	0,075975332	18,25	0,03324814
6,00	0,150645257	18,50	0,077164821
6,25	0,213090053	18,75	0,115726393
6,50	0,260094606	19,00	0,14662944
6,75	0,28945679	19,25	0,168071263
7,00	0,300079271	19,50	0,178853827
7,25	0,291996924	19,75	0,178449446
7,50	0,266339658	20,00	0,167024664
7,75	0,225234069	20,25	0,145421394
8,00	0,171650807	20,50	0,11509696
8,25	0,109207472	20,75	0,078027217
8,50	0,041939252	21,00	0,036579071
8,75	-0,025948856	21,25	-0,006639431
9,00	-0,090333611	21,50	-0,048942044
9,25	-0,147414263	21,75	-0,087730174
9,50	-0,193928748	22,00	-0,120651476
9,75	-0,2273333	22,25	-0,145741555
10,00	-0,245935764	22,50	-0,161540317
10,25	-0,24897578	22,75	-0,167176098
10,50	-0,236648194	23,00	-0,162412781
10,75	-0,21006949	23,25	-0,147657407
11,00	-0,1711903	23,50	-0,123928232
11,25	-0,122660242	23,75	-0,092785603
11,50	-0,067653948	24,00	-0,056230274
11,75	-0,009669353	24,25	-0,016575721
12,00	0,047689311	24,50	0,023697434
12,25	0,100930611	24,75	0,062095792
12,50	0,146884055	25,00	0,096266783



Şekil 33. Sıfırncı mertebeden birinci tür Bessel işlevi

6.4. U-GİS Bölge Modelleri İçin Sonuçlar

Model, uygulama yapılacak bölgenin coğrafik koşullarına göre belirlenecek fiziksel parametrelerle, bölgede yayılım ölçmeleri sonucu belirlenecek yayılım parametrelerini giriş parametreleri olarak alır. Bu parametreler Pascal 6.0 derleyicisinde yazılan bilgisayar programında giriş parametreleri olarak alınarak bayılma olasılık dağılımı ve bayılma derinliği hesaplanmış ve sonuçlar tablolar ve grafikler halinde verilmiştir. Tüm grafiklerin çizilmesinde 'Excel 4.0 for Windows' programı kullanılmıştır.

Modelde kullanılan yayılım parametrelerinin, modelin uygulanacağı bölgeler için L-band yayılım ölçümlerinin önceden yapılmış olması gerekmektedir. Böylece, rician yayılım parametresi K , rayleigh yayılım parametresi K' , ağaç zayıflatması ortalama değeri μ , ağaç zayıflatması standart sapması σ ve bölge katsayıları A, B ve C nin bilinmesiyle modelin kullanımı mümkün olacaktır.

Herhangi bir yayılım ortamında doğrudan bileşen ve çok yollu bileşen güçlerini doğrudan ölçmek olanaksızdır. Ancak gölgelemesiz açık ortamlarda ve ağaç gölgelemesi altında olan ortamlarda yapılacak çok sayıda ölçümlerle bu büyüklüklerin, dolayısıyla K ve K' parametrelerinin yaklaşık olarak bulunması sağlanır. Diğer yayılım parametrelerinin L-band ölçüm yöntemleriyle bulunması mümkündür.

Bilgisayar programıyla yapılan hesaplamalarda, model parametreleri olarak, bilinen tipik değerler kullanılmıştır. Bu tipik değerler Tablo 3.' de verilmiştir.

Tablo 3. U-GİS yayılım parametreleri için tipik değerler

8 dB	<	K	<	22 dB
8 dB	<	K'	<	20 dB
-1 dB	<	μ	<	-15 dB
0.5 dB	<	σ	<	4 dB

6.4.1. Gölgelemesiz açık bölge modeli için sonuçlar

Rician yayılım modeli kullanılarak aşılma yüzdesi hesaplanmış, Tablo 4.' te ilgili bir kaç örnek verilmiştir. Açık bölgelerde K faktörünün bayılma derinliğine etkisi Şekil 34.' te çizilmiştir.

Tablo 4. Açık bölge modelinde aşılma yüzdesi değerleri

F= 4 dB için

K (dB)	F' nin Aşılma Yüzdesi (%)
8	13.86984
10	4.68894
12	1.27365
15	0.1124
18	0.00461

F= 6 dB için

K (dB)	F' nin Aşılma Yüzdesi (%)
8	6.8462
10	1.44527
12	0.21334
15	0.00572
18	0.00005

6.4.2. Ağaç gölgelemeli bölge modeli için sonuçlar

Gölgelemeli rician yayılım modeli kullanılarak aşılma yüzdesi hesaplanmış, Tablo 5.' te ilgili bir kaç örnek verilmiştir. Ağaç gölgelemeli bölgelerde μ ve σ parametresinin bayılma derinliğine etkisi Şekil 35. ve Şekil 36.' da çizilmiştir.

Tablo 5. Ağaç gölgelemeli bölge modelinde aşılma yüzdesi değerleri

F=12 dB $\mu=-10$ dB $\sigma=4$ dB

K' (dB)	F' nin Aşılma Yüzdesi (%)
8	29.24379
10	28.72699
12	28.17283
15	27.25646
18	26.21002

F=12 dB K'=18 dB $\sigma=4$ dB

μ (dB)	F' nin Aşılma Yüzdesi (%)
-5	7.67289
-10	26.21002
-15	54.41547
-20	89.98556

F=12 dB K'=18 dB $\mu=-10$ dB

σ (dB)	F' nin Aşılma Yüzdesi (%)
1	19.72429
2.5	23.23354
3	24.27954
4	26.21002

6.4.3. Uyduyu göremeyen bölge modeli için sonuçlar

Rayleigh yayılım modeli kullanılarak aşılma yüzdesi hesaplanmış, Tablo 6.' te ilgili bir kaç örnek verilmiştir. Uyduyu göremeyen bölgelerde K' faktörünün bayılma derinliğine etkisi Şekil 37.' de çizilmiştir.

Tablo 6. Uyduyu göremeyen bölge modelinde aşılma yüzdesi değerleri

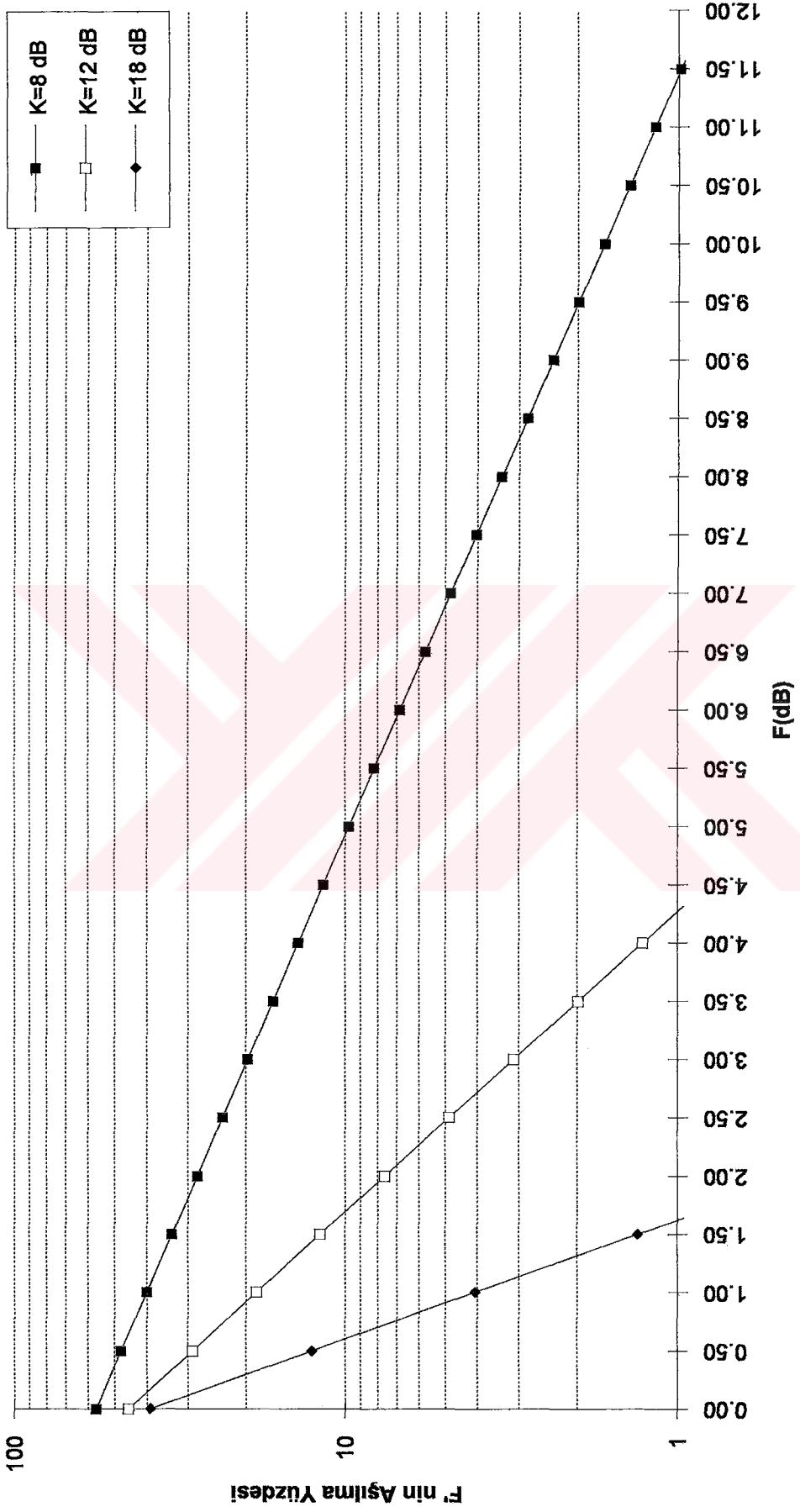
F= 12 dB için		F= 16 dB için	
K' (dB)	F' nin Aşılma Yüzdesi (%)	K' (dB)	F' nin Aşılma Yüzdesi (%)
8	18,0494	8	7,61861
10	27,05604	10	11,80274
12	39,34693	12	18,0494
15	63,12481	15	32,77763
18	86,33778	18	54,72642

6.4.4. Toplam bölge modeli için sonuçlar

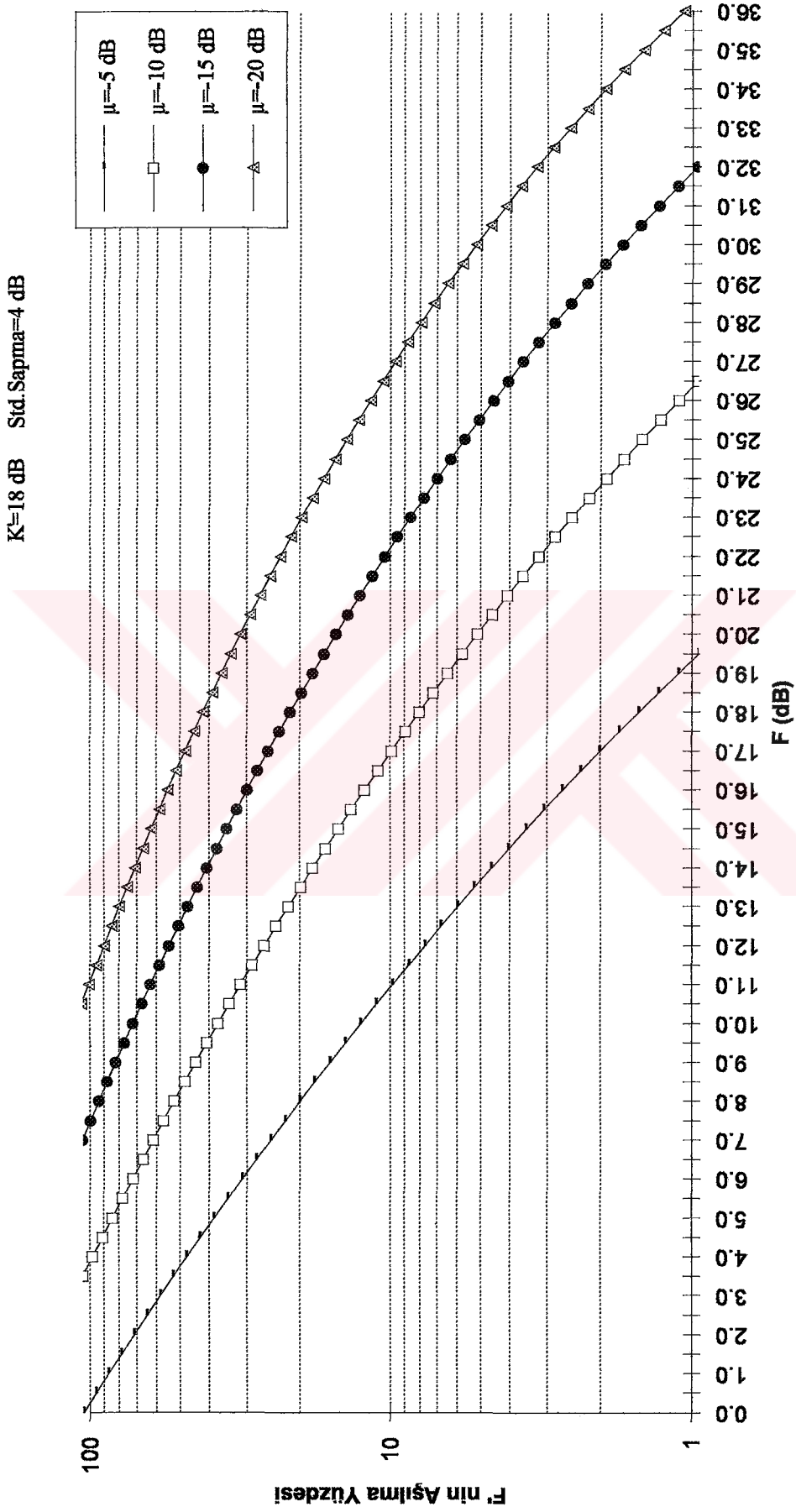
Toplam bölge modelinde, üç ayrık model uygun bölge katsayılarıyla birleştirilir. Gölgelemesiz açık bölgelerin toplam bölge içerisindeki yüzdesi A, ağaçlıklı bölgelerin yüzdesi B, uyduyu göremeyen bölgelerin yüzdesi C olarak alınır. Toplam bölge modeli kullanılarak, bölge katsayılarının toplam olasılık dağılımına etkisi ile ilgili bir kaç örnek Tablo 8.' te verilmiş, Şekil 38. ve Şekil 39.' da çizilmiştir.

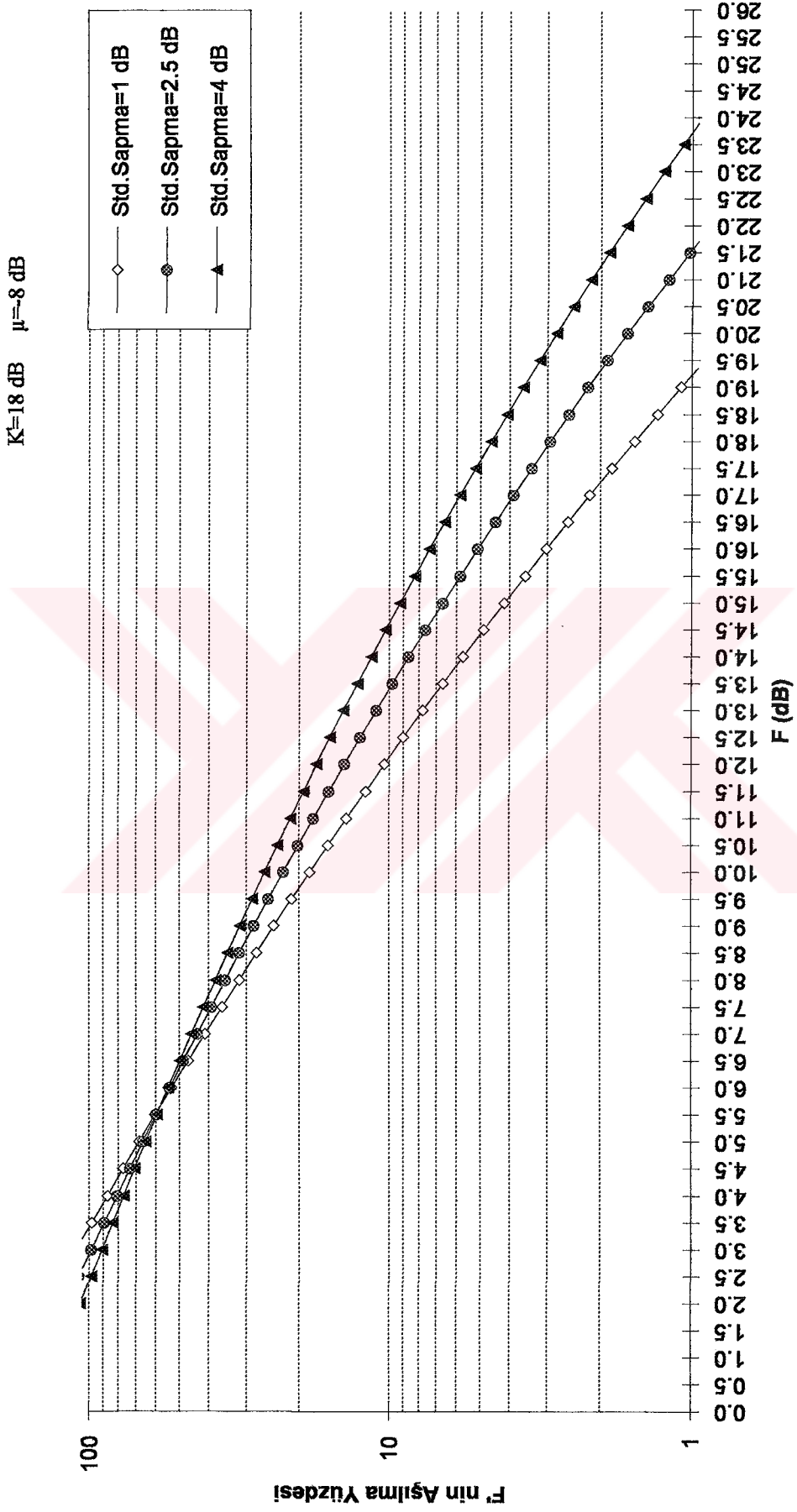
Tablo 7. Toplam bölge modelinde aşılma yüzdesi değerleri

F= 12 dB K=15 dB K'=12 dB $\mu=-10$ dB Std.Sapma=3 dB	
Bölge Katsayıları	F' nin Aşılma Yüzdesi (%)
A=0.50 B=0.20 C=0.30	17,13161
A=0.50 B=0.35 C=0.15	15,22522
A=0.25 B=0.50 C=0.25	23,15556
A=0.15 B=0.70 C=0.15	24,5484
A=0.30 B=0.20 C=0.50	25,001
A=0.20 B=0.20 C=0.60	28,93569
A=0.80 B=0.10 C=0.10	6,59846
A=0.10 B=0.80 C=0.10	25,24481
A=0.10 B=0.10 C=0.80	34,14131

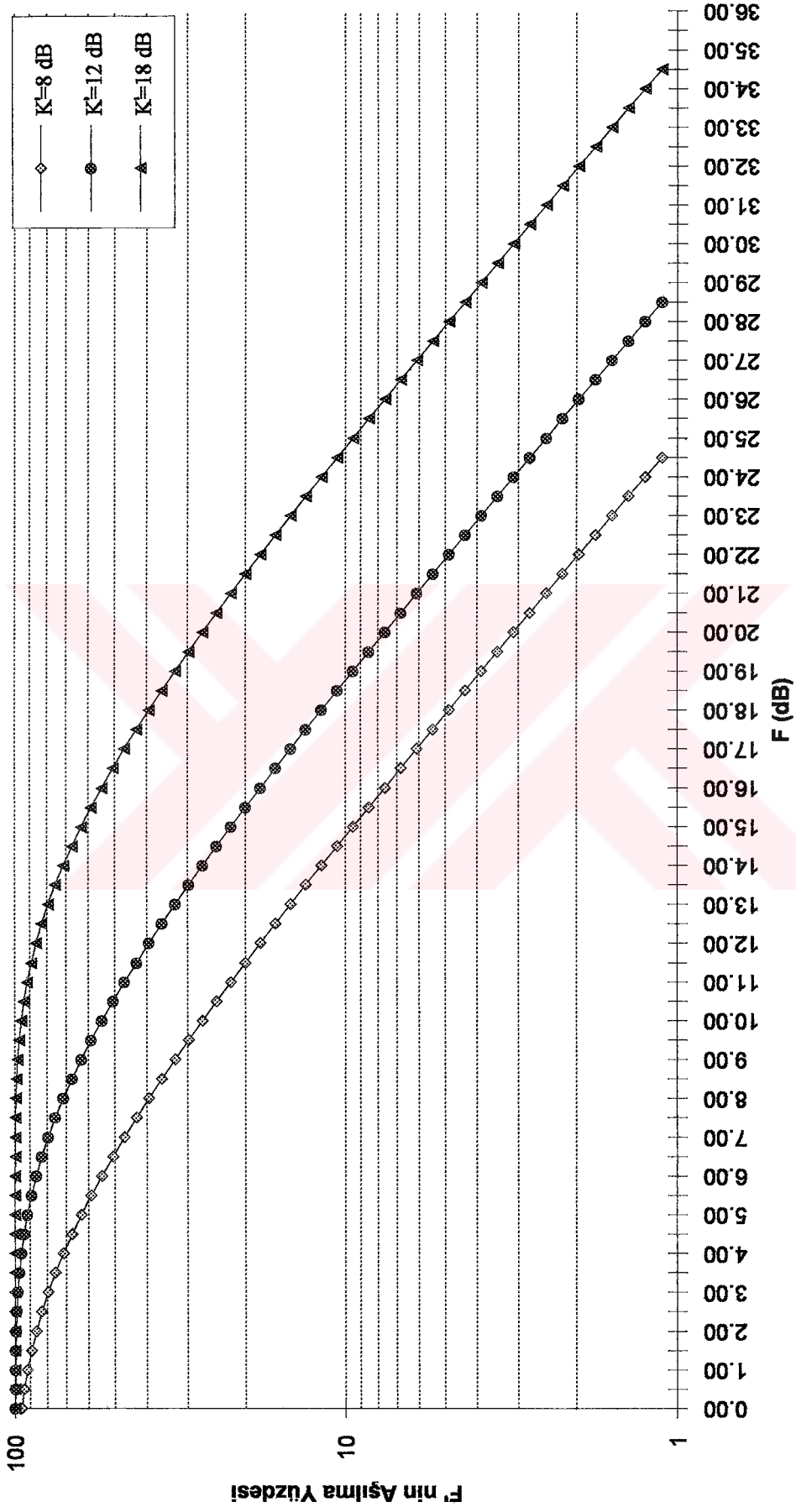


Şekil 34. Açık bölgelerde K faktörünün bayılma derinliğine etkisi

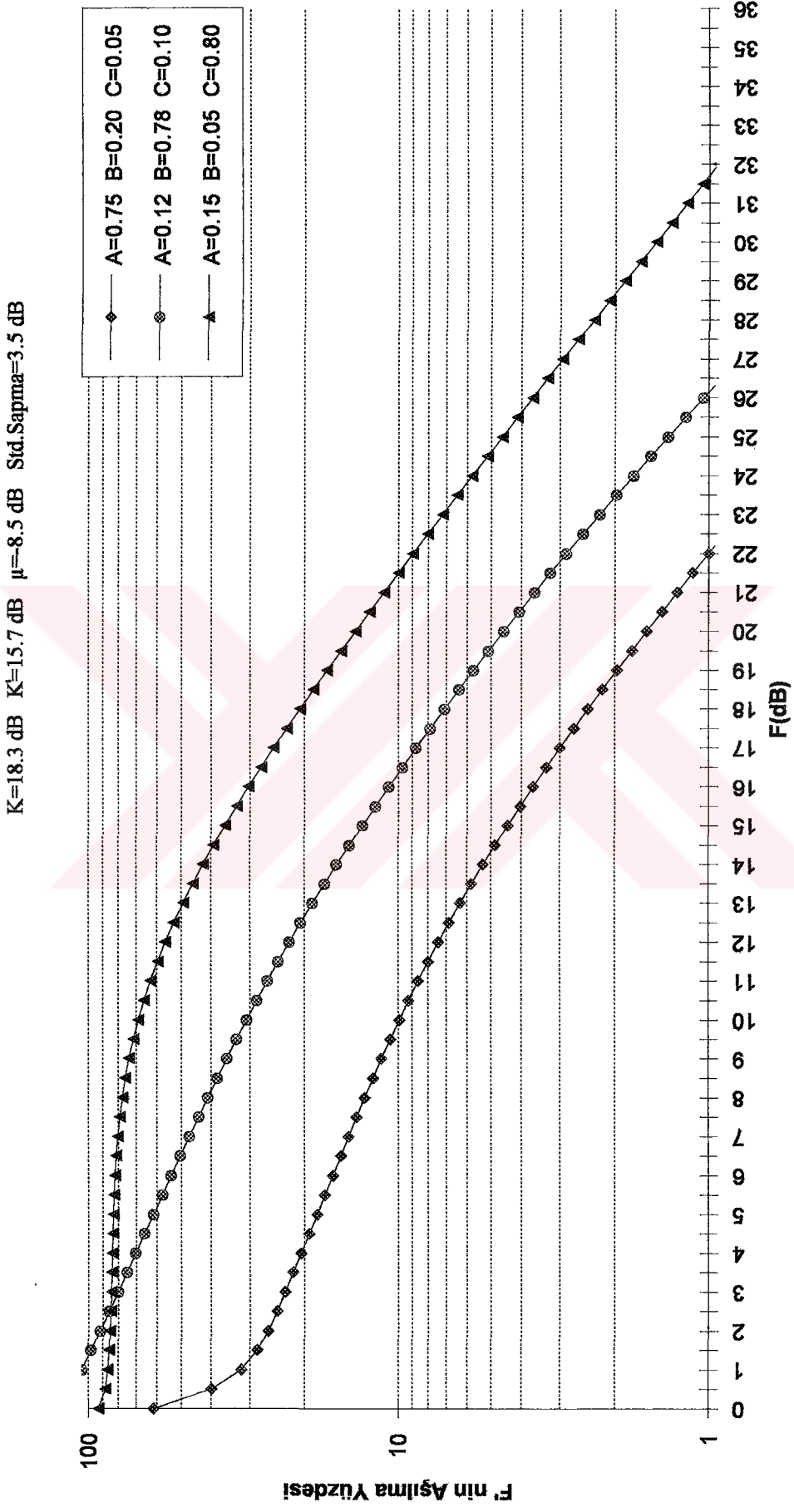
Şekil 35. Ağaç göğeleme modeli μ parametresinin bayılma derinliğine etkisi



Şekil 36. Ağaç gölgelemeli modelde standart sapmanın bayılma derinliğine etkisi

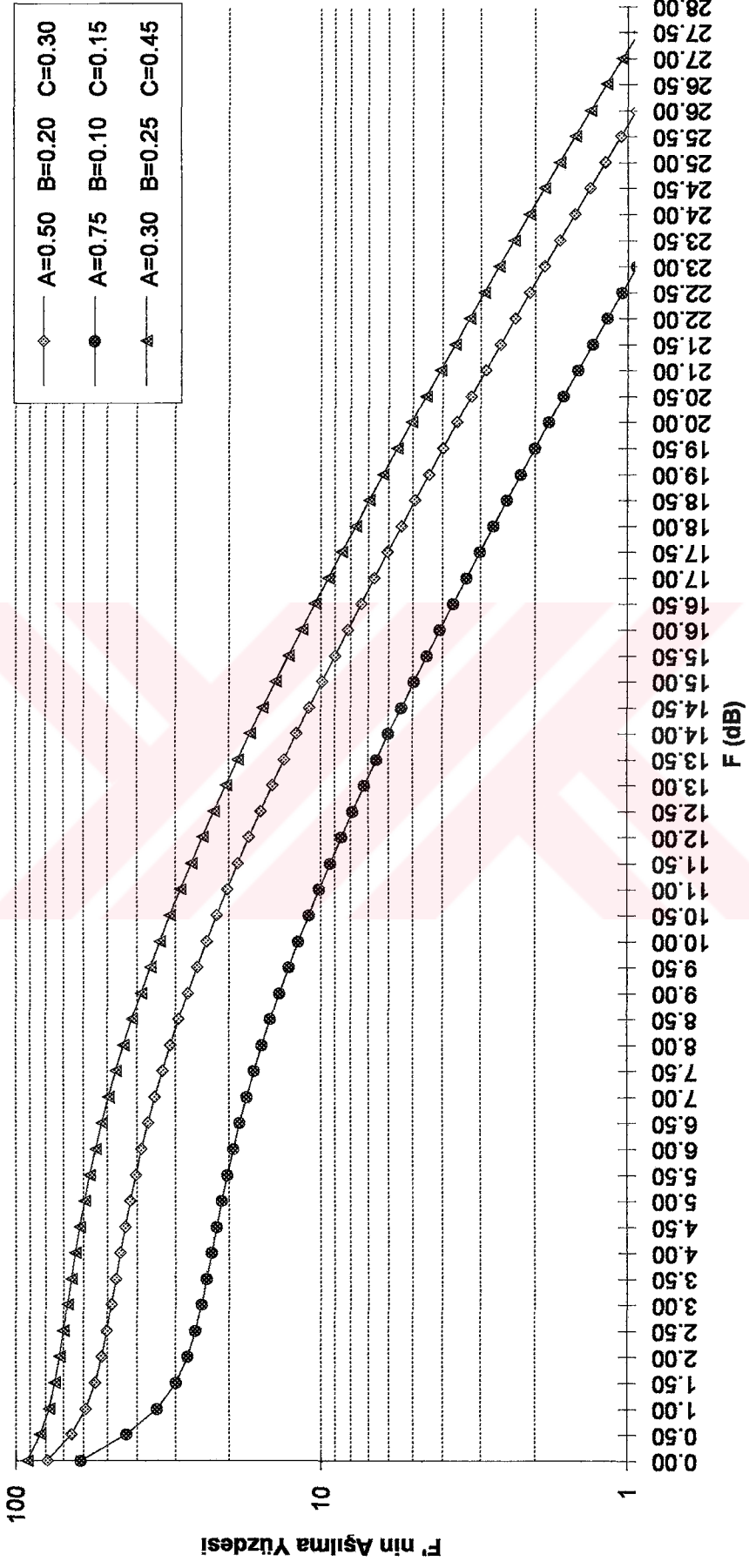


Şekil 37. Uyduyu göremeyen bölgelerde K' faktörünün bayılma derinliğine etkisi



Şekil 38. Bölge katsayılarının toplam olasılık dağılımına etkisi

K=15 dB K=12 dB $\mu=10$ dB Std.Sapma=3 dB



Şekil 39. Bölge katsayılarının toplam olasılık dağılımına etkisi

6.5. Ağaç Gölgelemeli Bölge Modelinin Bilgisayar Benzetimi İle İrdelenmesi

Eşitlik (125) ile verilen bağıntı, eşitlik (160)' daki gibi yeniden yazılırsa,

$$G_2(R) = 1 - \int_0^R \int_0^z F(r,z) dz dr \quad (160)$$

şeklinde gösterilebilir. Burada $F(r,z)$; $I_0(K'rz)$ ve $f(r,z)$ gibi iki işlevin çarpımı şeklinde verilebilir. $F(r,z)$ ve $f(r,z)$ işlevleri sırasıyla eşitlik (161) ve eşitlik (162) ile gösterilmiştir.

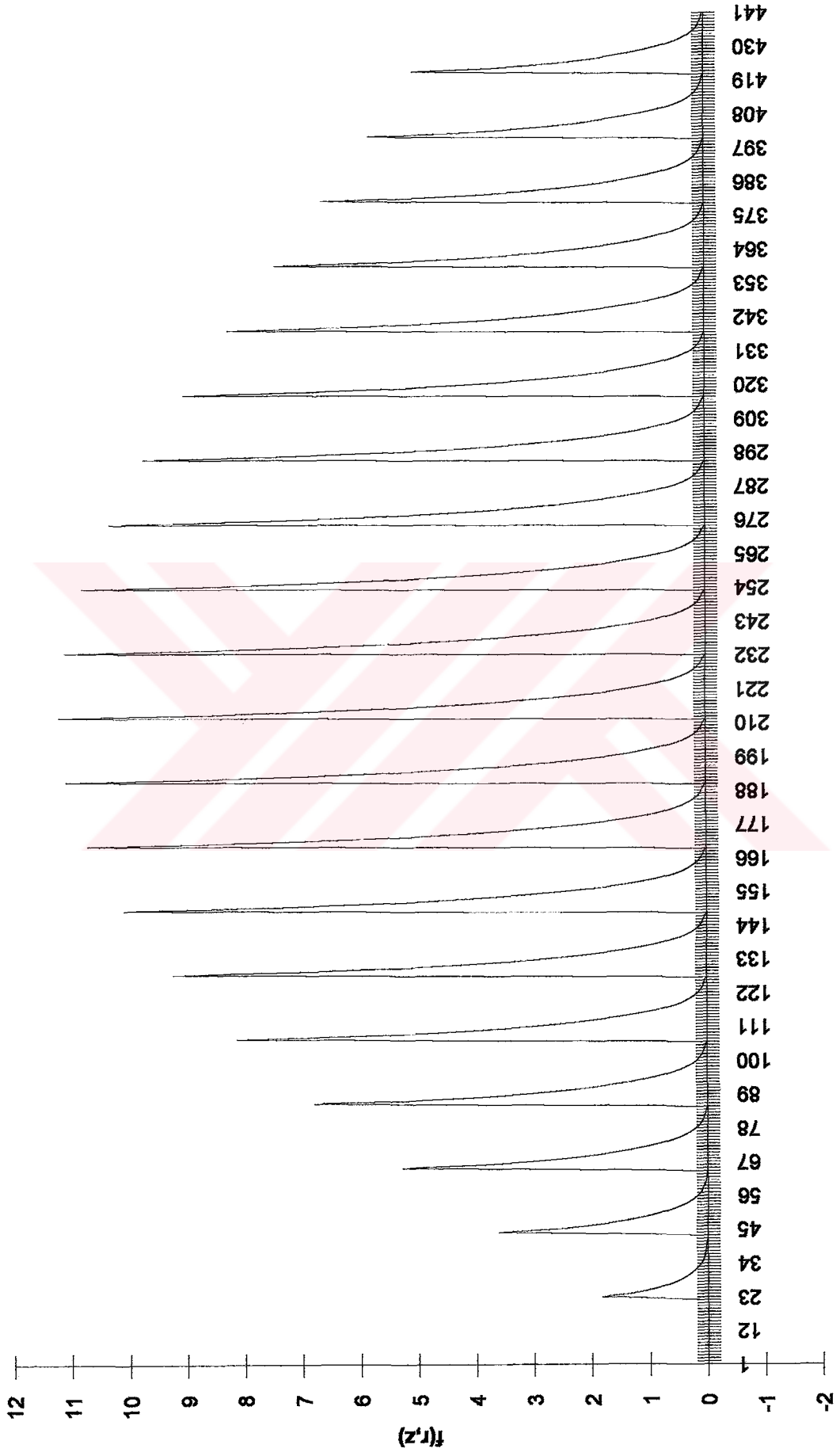
$$F(r,z) = f(r,z) * I_0(K'rz) \quad (161)$$

$$f(r,z) = (K'r/\sigma\sqrt{2\pi})(1/z) \exp[-(\ln z - \mu)^2/2\sigma^2 - K'(r^2+z^2)/2] \quad (162)$$

Bölgesel yayılım parametreleri, dolayısıyla model parametreleri bilinen bir ortamda, Ek-B' de gösterilen bilgisayar programıyla Bölüm 6.2.2.' de anlatılan yöntem kullanılarak $I_0(K'rz)$ ve $f(r,z)$ işlevleri $n \times m$ boyut için (r,z) değişken aralıklarında adım adım hesaplanabilir. 'Excel 4.0 for Windows' programı kullanılarak elde edilen sonuçlardan $I_0(K'rz)$, $f(r,z)$ ve $F(r,z)$ işlevleri kolaylıkla çizdirilebilir.

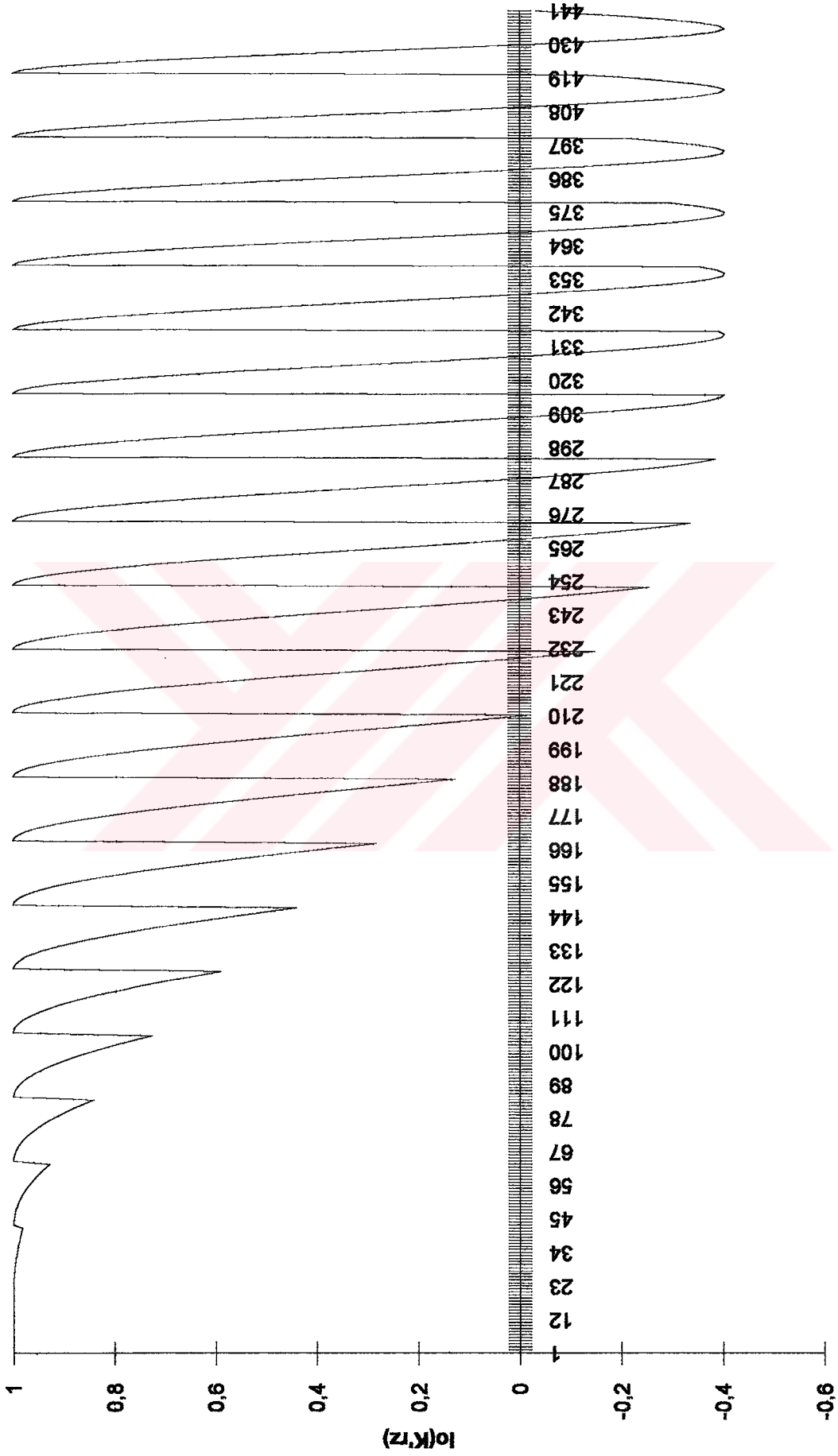
Yapılan bir örnek çalışmada $K' = 18$ dB, $\mu = -10$ dB, $\sigma = 4$ dB, $R = -12$ dB, $z = 0.3425$ $n = m = 20$ olarak alınarak, r ve z değişkenlerinin her adımı için işlevler tek tek hesaplatılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar Ek-C' de liste şeklinde sunulmuş, işlevlerin adım sayısı ile değişimi Şekil 40., Şekil 41. ve Şekil 42.' de çizdirilmiştir. Bu şekillere dikkat edilecek olunursa $I_0(K'rz)$ işlevinin, çarpım işlevinin değişimini pek fazla etkilemediği görülür.

Şekil 42.' de gösterilen $F(r,z)$ eğrisinin altındaki alan hesaplanırsa, ağaç gölgelemeli bölgede alınan işaretin R düzeyinden büyük olma olasılığı $G_2(R)$ hesaplanabilir.



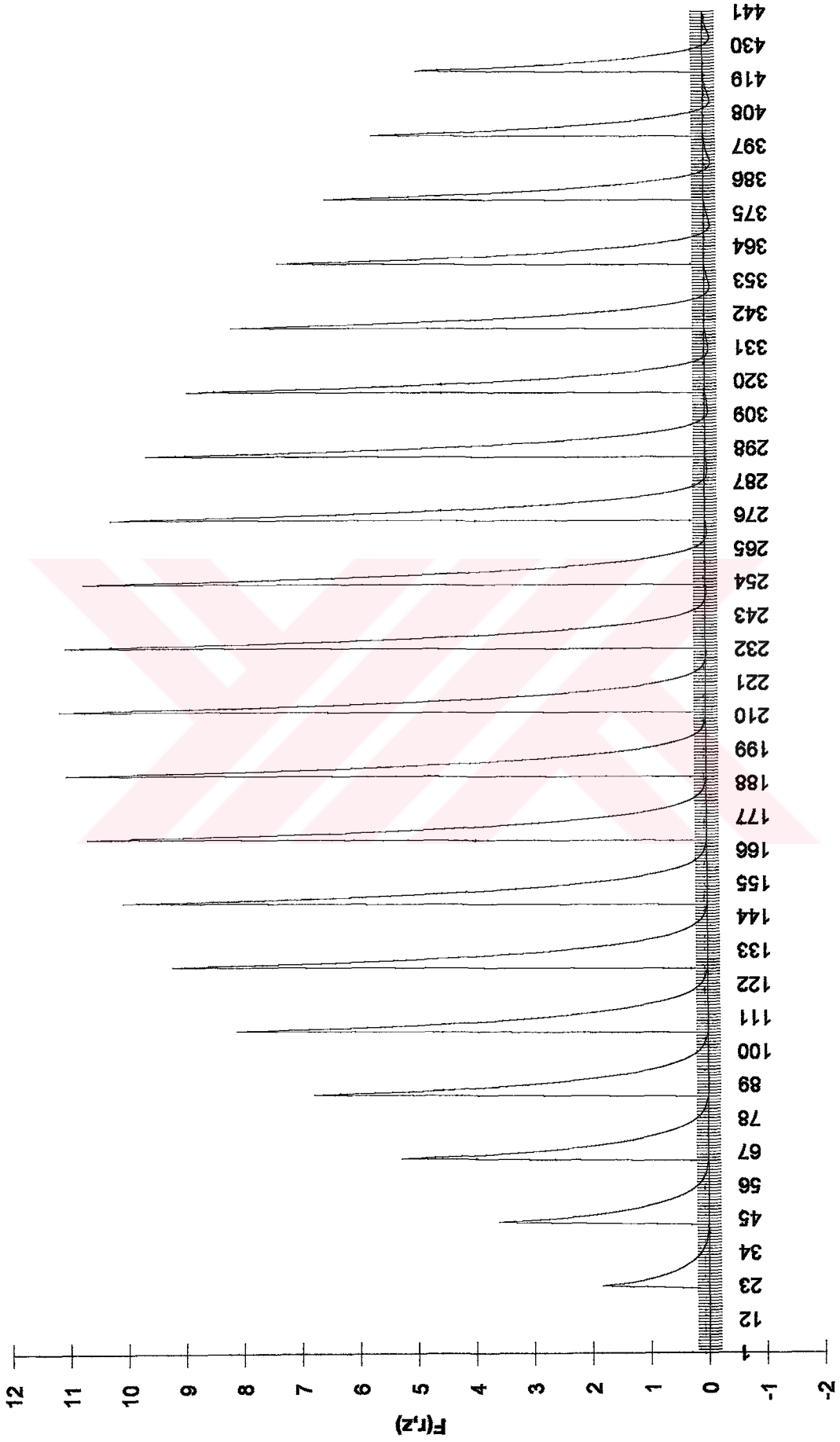
Adım Sayısı

Şekil 40. $f(r,z)$ işlevinin adım sayısı ile değişimi



Adım Sayısı

Şekil 41. $lg(K'rz)$ işlevinin adım sayısı ile değişimi



Adım Sayısı

Şekil 42. $F(r,z)$ işlevinin adım sayısı ile değişimi

7. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, U-GİS link tasarımında bir sorun olarak ortaya çıkan bayılma konusu incelenmeye çalışılmıştır. Bölgesel L-band ölçüm parametreleri kullanılmak suretiyle U-GİS yayılım modeli oluşturulmuş ve yayılım karakteristiğinin tanımlanmasını sağlayan olasılık dağılım işlevlerinin sayısal irdelenmesi yapılmıştır. Bu amaçla yazılan bilgisayar programıyla, alınan işaretteki bayılma derinliğinin istenen bayılma düzeyini aşma olasılığı hesaplatılmış ve sonuçlar verilmiştir. Sonuçlar, tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur.

İletişim sisteminde, yayılım koşullarının sabit kalmayıp sürekli değişmesi alıcı antene gelen işaretin genliğinin de sürekli değişmesine neden olur. Bu genlik değişmesi, bayılma olarak karşımıza çıkar. Bayılmaya neden olan başlıca etmenlerin ; atmosferdeki troposfer tabakasının neden olduğu soğurma, iyonosfer tabakasının neden olduğu parıldama, kırılma, yayılım gecikmesi, yeryüzünün arazi düzensizliklerinin neden olduğu yansımalar, doğrudan dalganın bina ve ağaçlar tarafından gölgelenmesi, gezgin aracın hareketliliğinden dolayı doppler etkisi olduğu görülür. Bu etmenler işaretle, kısa süreli veya uzun süreli bayımalara neden olur.

Model sonuçları değerlendirildiğinde karşımıza şu sonuçlar çıkar : Bazı model parametrelerinin bayılma derinliği üzerinde büyük etkisi olduğu görülmektedir. Özellikle ağaç zayıflatmasının büyümesiyle bayılma yüzdesinin de arttığı görülmektedir. Ayrıca, ağaçlıklı bölge katsayısı B ve uyduyu göremeyen bölge katsayısı C' nin büyük olması da, bayılma yüzdesinin büyümesine neden olmaktadır.

Ağaç zayıflatması, ağacın yapraklanma ve nem yüzdesi özelliğine göre artış göstermektedir. Ağaç zayıflatması ortalama

değeri, gönderilen işaretin ağaç tarafından gölgelenmiş yol uzunluğu ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle düşük yükselme açılarında, ağaçlıklı bölgede, işaretin geçtiği gölgelenmiş yol uzunluğu da büyümektedir. Düşük yükselme açıları, yine, yerden yansıyan bileşenlerin etkili olmasına neden olur. Bu nedenle U-GİS' in kullanılacağı yerlerde, yükselme açısı ile ağaç ortalama zayıflatma ilişkisinin çıkartılması gerekmektedir.

Bir U-GİS sisteminin başarımını belirleyebilmek için bayılma derinliği (F) ve taşıyıcı-gürültü yoğunluğu oranı (C/N₀) bilinmelidir. Bölgesel yayılım parametrelerinin elde edilerek U-GİS modelinin kullanılmasıyla hesaplanacak bayılma düzeyleri aşma olasılıkları, o bölgede güvenilir iletişim sağlanabilirliğin derecesi hakkında bilgi verecek ve U-GİS link tasarımının yapılmasını sağlayacaktır. Tasarım sonucunda sistem başarımını sağlayacak taşıyıcı-gürültü yoğunluğu oranı (C/N₀) için sisteme eklenmesi gereken ek kazancın değeri bulunacaktır.

Dairesel polarizasyon kullanan yüksek kazançlı yönlü antenlerin kullanımı, uydu transponderinde verici çıkış güç katındaki yükseltecinin doğrusallığının artırılması, alıcı gürültü sıcaklığının azaltılması ve sayısal iletişimde uygun kodlama ve kod çözme algoritmasının seçimi sistem başarımını sağlamada tasarımcının kullanabileceği yöntemlerdir.

Bir U-GİS sisteminde başarımı sağlayabilmek için, bölgesel coğrafik koşulların iyi tahlil edilmesi, L-band ölçümlerinin yapılarak bölgesel yayılım parametrelerinin önceden belirlenmesi ve kentsel ve dağlık bölgelerde U-GİS' in hücreli sistemlerle desteklenmesi gerekmektedir.

U-GİS modelin bilgisayar benzetiminde kullanılan sayısal tümlev hesaplama yöntemleri, optimizasyon teknikleri ve hata yüzdesi az olan yöntemlerin kullanılmasıyla daha doğru ve daha hızlı sonuçlar verecektir.

KAYNAKLAR

- 1- DAVARIAN, F., 1987. Channel Simulation to Facilitate Mobile-Satellite Communications Research. IEEE Transactions on Communications, 35-1, 47-56.
- 2- LEUNG, V.C.M., 1992. Protocol Design for Mobile Radio Group Communications Over Satellite. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 10-8, 1351-1361.
- 3- HACCOUN, D., HIRATA, Y., PEILE, R. and WU, W.W., 1987 Coding for Satellite Communication. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 5-4, 724-732.
- 4- LEUNG, V.C.M., 1990. Management of Transponder Resources in Mobile Satellite Systems. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 26-2, 273-280.
- 5- ÇAVDAR, İ.H. and DİNÇER, H., 1993. Propagation Modeling and Simulation for Land Mobile Satellite Systems. SPACE EURASIA'93, Gebze.
- 6- CLARK, M.P., 1990. Networks and Telecommunications Design and Operation. USA.
- 7- BHARGAVA, V.K., HACCOUN, D., MATYAS, R. and NUSPL, P., 1981. Digital Communication by Satellite. John Wiley & Sons. Inc., USA.
- 8- PRATT, T., BOSTAIN, C.W., 1986. Satellite Communications. John Wiley & Sons. Inc., USA.

- 9- CHOUINARD, G., 1981. Satellite Beam Optimization for The Broadcasting Satellite Service. IEEE Transactions on Broadcasting, 27-1, 7-20.
- 10- HA, T.T., 1986. Digital Satellite Communications. Mc Graw-Hill Book Co., New York.
- 11- NORBURY, J.R., 1987. Mobile Satcoms for The Future. IEEE Spectrum, 207, 5-7.
- 12- LEE, W.C.Y., 1990. Mobile Cellular Telecommunications Systems. Mc Graw- Hill Book Co., USA.
- 13- HILLS, A., 1985. Satellites and Mobile Phones: Planning A Marriage. IEEE Spectrum, 8, 62-67.
- 14- PATTAN, B., 1987. The Advent of Land Mobile Satellite Service Systems. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 23-5, 691-703.
- 15- DAVARIAN, F., 1987. Channel Simulation to Facilitate Mobile-Satellite Communications Research. IEEE Transactions on Communications, 35-1, 47-56.
- 16- BOSTIAN, C.W., IMRICH, D.M., PRATT, T., SCALES, W.A. and STUTZMAN, W.L., 1986. Dispersion in The 10-30 GHz Frequency Range: Atmosferic Effects and Their Impact on Digital Satellite Communications. IEEE Transactions on Communications, 34-3, 307-310.
- 17- ALAJAJIAN, P.M., 1985. A Multiple User Satellite Communications Network Control Simulation. IEEE Military Communications Conference, 3, 708-712.
- 18- ROGERS, D.V., 1988. Radio-Wave Propagation Electronic Communications Handbook, Mc Graw- Hill Book Co., USA.

- 19- GOLDHIRSH, J., and VOGEL, W.J., 1992. Propagation Effects for Land Mobile Satellite Systems: Overview of Experimental and Modeling Results, NASA Reference Publication, 1274.
- 20- ADAWI, N.S., BERTONI, H.L., CHILD, J.R., DANIEL, W.A. and DETTRA, J.E., 1988. Special Issue on Mobile Radio Propagation. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 37-1, 9-19.
- 21- VOGEL, W.J. and GOLDHIRSH, J., 1986. Tree Attenuation at 869 MHz Derived from Remotely Piloted Aircraft Measurements. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 34-12, 1460-1464.
- 22- GOLDHIRSH, J. and VOGEL, W.J., 1987. Roadside Tree Attenuation at UHF for Land Mobile Satellite Systems. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 35-5, 589-595.
- 23- ULABY, F.T., WHITT, M.W. and DOBSON, M.C., 1990. Measuring The Propagation Properties of a Forest Canopy Using a Polarimetric Scatterometer. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 38-2, 251-258.
- 24- BUTTERWORTH, J.S., 1984b. Propagation Measurements for Land Mobile Satellite Systems in The 800 MHz Band. Communication Research Centre Department of Communications CRC Technical Note, 724, Canada.
- 25- CAMPBELL, R.L. and ESTUS, R., 1988. Attenuated Direct and Scattered Wave Propagation on Simulated Land Mobile Satellite Service Paths in The Presence of Trees. Mobile Satellite Conference-in Proc. of JPL Pub., 88-9, 125-131, Pasadena.
- 26- LOO, C., 1985. A Statistical Model for a Land Mobile Satellite Link. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 34-3, 122-127.

- 27- BUTTERWORTH, J.S., 1984b. Propagation Measurements for Land Mobile Satellite Systems in The 800 MHz Band. Communication Research Centre Department of Communications CRC Technical Note, 724, Canada.
- 28- REED, H.R. and RUSSEL, C.M., 1966. Ultra High Frequency Propagation. Boston Technical Publishers Inc., Cambridge.
- 29- SCHMIER, R.G. and BOSTIAN, C.W., 1986. Fade Duration in, Satellite-Path Mobile Radio Propagation. Virginia Tech. Rep. EE Satcom, 86-5.
- 30- BUTTERWORTH, J.S., 1984a. Propagation Measurements for Land Mobile Satellite Systems at 1542 MHz Band. Communication Research Centre Department of Communications CRC Technical Note, 723, Canada.
- 31- KIESLING, J.D., 1990. Land Mobile Satellite Systems. Proceedings of The IEEE, 78-7, 1107-1115.
- 32- PATTAN, B., 1987. The Advent of Land Mobile Satellite Service Systems. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 23-5, 691-703.
- 33- SCHWARTZ, M., 1970. Information Transmission, Modulation and Noise. Mc Graw- Hill Book Co., Tokyo.
- 34- ŞEKER, Ş.S., 1993. İletişim sistemlerinin Planlanması. Boğaziçi Üniversitesi Matbaası, İstanbul.
- 35- LEE, W.C.Y., 1986. Mobile Communications Design and Fundamentals. Howard W. Sams & Co., USA.
- 36- ÇAVDAR, İ.H., 1994. Uydu-Gezgin İletişim Yayılımının Modellenmesi ve Benzetimi. KTÜ-Doktora Tezi, Trabzon.

- 37- BARTS, R.M. and STUTZMAN, L., 1988. Propagation Modeling for Land Mobile Satellite Systems. Mobile Satellite Conference-in Proc. JPL Pub., 88-9, 95-100, Pasadena CA.
- 38- BARTS, R.M. and STUTZMAN, L., 1992. Modeling and Simulation of Mobile Satellite Propagation. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 40-4, 375-381.
- 39- SALVADORI, M.G. and BARON M.L., 1961. Numerical Methods in Engineering. Prentice-Hall International Inc., 198-203.
- 40- MATHEWS, J.H., 1987. Numerical Methods for Computer Science, Engineering, and Mathematics. Prentice-Hall International Inc., 311-336.
- 41- PRESS, W.H., FLANNERY, B.P., TEUKOLSKY, S.A. and VETTERLING, W.T., 1989. Numerical Recipes-The Art of Scientific Computing. Cambridge University Press, 102-130.
- 42- DU TOIT, C.F., 1990. The Numerical Computation of Bessel Functions of the First and Second Kind for Integer Orders and Complex Arguments. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 38-9, 1341-1349.

EK - A

BASİT MODEL KULLANILARAK, BÖLGESEL PARAMETRELERİN GİRİLMESİYLE,
İSTENEN BAYILMA DEĞERİ İÇİN AŞILMA YÜZDESİNİN HESAPLANMASI
VE SONUÇLARIN DOSYAYA YAZDIRILMASI
PASCAL BİLGİSAYAR PROGRAMI

PROGRAM SIMPLEMODEL(INPUT,OUTPUT);

USES CRT;

VAR

DOSYA1,DOSYA2:TEXT;

K1,K2,KK2,F,ORT_ZYF,SS,A,B,C,D,A1,B1,C1,U1,U2,V1,V2,V22,

ACIK,AGAÇLIKLI,UYDUGORMEYEN,FF,OLASILIK,YUZDE:REAL;

OK,OK1,OK2,OK3:BOOLEAN;

BEGIN

CLRSCR;

ASSIGN(DOSYA1,'BSTOPLM2.DAT');

REWRITE(DOSYA1);

ASSIGN(DOSYA2,'BSTOPL2F.DAT');

REWRITE(DOSYA2);

WRITE(' RİCIAN YAYILIM KATSAYISI K(dB) = ');

READLN(K1);

WRITE(' RAYLEIGH YAYILIM KATSAYISI K"(dB) = ');

READLN(K2);

WRITE(' ORTALAMA AĞAÇ ZAYIFLATMASI (dB) = ');

READLN(ORT_ZYF);

WRITE(' AĞAÇ ZAYIFLATMASI STANDART SAPMASI (dB) = ');

READLN(SS);

WRITELN;

```

REPEAT
{1} REPEAT
    WRITE(' AÇIK BÖLGE YÜZDESİ      : YÜZDE ... ');
    READLN(A1);
    OK1:=(A1>=0) AND (A1<=100);
    IF NOT OK3 THEN WRITELN(' GEÇERSİZ YÜZDE !... ');
{1} UNTIL OK1;
{2} REPEAT
    WRITE(' AĞAÇLIKLIL BÖLGE YÜZDESİ    : YÜZDE ... ');
    READLN(B1);
    OK2:=(B1>=0) AND (B1<=100);
    IF NOT OK2 THEN WRITELN(' GECERSİZ YÜZDE !... ');
{2} UNTIL OK2;
{3} REPEAT
    WRITE(' UYDUYU GÖREMEYEN BÖLGE YÜZDESİ : YÜZDE ... ');
    READLN(C1);
    OK3:=(C1>=0) AND (C1<=100);
    IF NOT OK1 THEN WRITELN(' GEÇERSİZ YÜZDE !... ');
{3} UNTIL OK3;
    A:=A1/100;
    B:=B1/100;
    C:=C1/100;
    D:=A+B+C;
    OK:=(D>0) AND (D<=1);
    IF NOT OK THEN
        WRITELN;
        WRITE(' GEÇERSİZ YÜZDE !... ');
        WRITELN(' BÖLGE YÜZDELERİNİ YENİDEN GİRİN !... ');
        WRITELN;
    UNTIL OK;
WRITE(' AŞILMA YÜZDESİ HESAPLANACAK BAYILMA DEĞERİNİ GİRİNİZ F(dB) =');
READLN(F);
WRITELN;
DELAY(100);

```



```

IF (C1>=0) AND (C1<=100) THEN
{ } BEGIN { UYDUYU GÖREMEYEN BÖLGE MODELİ }
FF:=EXP((-F/20)*LN(10));
KK2:=EXP((K2/10)*LN(10));
UYDUGORMEYEN:=EXP((-KK2/2)*FF*FF);
{ } END;

IF (A1>=0) AND (A1<=100) THEN
{**} BEGIN { GÖLGELEMESİZ AÇIK BÖLGE MODELİ }
U1:=(0.01*SQR(K1))-(0.378*K1)+3.98;
U2:=331.35*EXP(-2.29*LN(K1));
ACIK:=1-EXP(-(F+U1)/U2);
{**} END;

IF (B1>=0) AND (B1<=100) THEN
{***} BEGIN { AĞAÇ GÖLGELEMELİ BÖLGE MODELİ }
V1:=(-0.275*K2)+(0.723*ORT_ZYF)+(0.336*SS)+56.979;
V2:=(-0.006*K2)-(0.008*ORT_ZYF)+(0.013*SS)+0.121;
V22:=1/V2;
AGACLIKLI:=1-EXP(V22*LN((50-F)/V1));
{***} END;

OLASILIK:=(UYDUGORMEYEN*C)+(ACIK*A)+(AGACLIKLI*B);
YUZDE:=(1-OLASILIK)*100;
WRITE(' F = ',F:2:2,' dB ICIN ');
WRITE(' OLASILIK = ',OLASILIK:3:5);
WRITELN(' F NİN AŞILMA YÜZDESİ = ',YUZDE:3:5);
WRITELN(DOSYA1,YUZDE:3:5);
WRITELN(DOSYA2,F:2:2);
CLOSE(DOSYA1);
CLOSE(DOSYA2);
WRITELN;
REPEAT UNTIL KEYPRESSED;

END.

```

EK - B

U-GİS MODELİ KULLANILARAK, BÖLGESEL PARAMETRELERİN GİRİLMESİYLE,
İSTENEN BAYILMA DEĞERİ İÇİN AŞILMA YÜZDESİNİN SAYISAL TÖMLEV
YÖNTEMLERİYLE HESAPLANMASI VE SONUÇLARIN DOSYAYA YAZDIRILMASI
PASCAL BİLGİSAYAR PROGRAMI

PROGRAM U_GIS(INPUT,OUTPUT);

USES CRT;

CONST

PI:EXTENDED=3.1415926535897932385;

E=2.7182818284;

N=20;

VAR

DOSYA:TEXT;

A,C:ARRAY[1..N+1,1..N+1] OF EXTENDED;

B:ARRAY[1..N+1,1..N+1] OF INTEGER;

R,Z,H,HH,X,Y,GR1,GR2,GR3,PR1,PR2,PR3,K1,K2, σ , μ ,A1,

B1,C1,D1,BSSL,AA,ALAN2,ALAN4,A0,AR,ALAN_1,ALAN_2,

ALANL,ALAN_3,CIKIS_G,CIKIS_P:EXTENDED;

I,J,K,RR:INTEGER;

OK,OK1,OK2,OK3:BOOLEAN;

FUNCTION BESSELFNK(BSSL:REAL):EXTENDED;

CONST

PI:EXTENDED=3.1415926535897932385;

VAR

S,JOZ,JNX,F:EXTENDED;

FI:INTEGER;

BEGIN { Sıfırıncı Mertebeden Birinci Tür Bessel İşlevinin Hesaplanması $Io(z)$ }

S:=PI/180.0;

JNX:=0.0;

FOR FI:=0 TO 179 DO

BEGIN

F:=FI*S;

JNX:=JNX+S*COS(BSSL*SIN(F));

END;

JOZ:=JNX/PI;

BESSELFNK:=JOZ;

END;

FUNCTION RICIANFNK(R,K1:REAL):EXTENDED;

VAR

BSSLFNK1,RICIAN:EXTENDED;

BEGIN

BSSLFNK1:=K1*R*SQRT(2);

RICIAN:=K1*R*EXP(-K1*(R*R/2+1))*BESSELFNK(BSSLFNK1);

RICIANFNK:=RICIAN;

END;

FUNCTION LOOFNK(R,Z,K2, μ , σ :REAL):EXTENDED;

VAR

LOO,LOO1,LOO2,LOO22,BSSLFNK2:EXTENDED;

BEGIN

BSSLFNK2:=K2*R*Z;

LOO22:=-((SQR(LN(Z)- μ)/(2* σ * σ))-((K2/2)*(R*R+Z*Z)));

IF LOO22<-80 THEN

BEGIN

LOO:=0.0;

END;

IF LOO22>=-80 THEN

BEGIN

LOO1:=(K2*R)/(σ *SQRT(2*PI));

```

        LOO2:=(1/Z)*EXP(LOO22);
        LOO:=LOO1*LOO2*BESSELFNK(BSSLFNK2);
    END;
    LOOFNK:=LOO;
END;

```

BEGIN { ANA PROGRAM BAŞLANGICI }

```

CLRSCR;
ASSIGN(DOSYA,'-LOO-.DAT');
REWRITE(DOSYA);
TEXTBACKGROUND(LIGHTMAGENTA);TEXTCOLOR(YELLOW);
WRITE(' RİCIAN YAYILIM KATSAYISI      K(dB) = ');
READLN(K1);
WRITE(' RAYLEIGH YAYILIM KATSAYISI   K"(dB) = ');
READLN(K2);
WRITE(' ORTALAMA AĞAÇ ZAYIFLATMASI   μ(dB) = ');
READLN(μ);
WRITE(' AĞAÇ ZAYIFLATMASI STANDART SAPMASI (dB) = ');
READLN(σ);
WRITELN;
REPEAT

```

```

{1} REPEAT
    WRITE(' AÇIK BÖLGE YÜZDESİ      : YÜZDE ... ');
    READLN(A1);
    OK1:=(A1>=0) AND (A1<=100);
    IF NOT OK3 THEN WRITELN(' GEÇERSİZ YÜZDE !... ');
{1} UNTIL OK1;
{2} REPEAT
    WRITE(' AĞAÇLIKLI BÖLGE YÜZDESİ   : YÜZDE ... ');
    READLN(B1);
    OK2:=(B1>=0) AND (B1<=100);

```

```

        IF NOT OK2 THEN WRITELN(' GEÇERSİZ YÜZDE !...');
{2}  UNTIL OK2;
{3}  REPEAT
        WRITE(' UYDUYU GÖREMEYEN BÖLGE YÜZDESİ : YÜZDE ... ');
        READLN(C1);
        OK3:=(C1>=0) AND (C1<=100);
        IF NOT OK1 THEN WRITELN(' GEÇERSİZ YÜZDE !...');
{3}  UNTIL OK3;

```

```

A1:=A1/100;
B1:=B1/100;
C1:=C1/100;
D1:=A1+B1+C1;

```

```

OK:=(D1>0) AND (D1<=1);
IF NOT OK THEN
    WRITELN;
    WRITE(' GEÇERSİZ YÜZDE !...');
    WRITELN(' BÖLGE YÜZDELERİNİ YENİDEN GİRİN !...');
    WRITELN;
UNTIL OK;

```

```

K1:=EXP((K1/10)*LN(10));
K2:=EXP((K2/10)*LN(10));
μ:=EXP((μ/10)*LN(10));
σ:=EXP((σ/10)*LN(10));

```

```
FOR RR:=-36 TO 0 DO
```

```

    BEGIN { TÜMLEV HESAPLAMALARI }
        R:=EXP((RR/20)*LN(10));

```

```
        IF (C1>=0) AND (C1<=100) THEN
```

```

{*}    BEGIN { Uyduyu Göremeyen Bölge Modeli Hesabı }
        ALAN_1:=EXP((-K2/2)*R*R);

```

```

GR3:=ALAN_1;
PR3:=(1-GR3)*100;
WRITELN(' GR3(',RR,')= ',GR3:3:18,' PR3(',RR,')= ',PR3:3:18);
{**} END;

```

```

IF (A1>=0) AND (A1<=100) THEN
{**} BEGIN { Açık Bölge Modeli Hesabı }
      H:=R/N;
      ALAN2:=0.0;
      ALAN4:=0.0;
      J:=2;
      K:=1;
      REPEAT
        X:=J*H;
        AA:=RICIANFNK(X,K1);
        ALAN2:=ALAN2+2*AA;
        J:=J+2;
      UNTIL J=N;

      REPEAT
        X:=K*H;
        AA:=RICIANFNK(X,K1);
        ALAN4:=ALAN4+4*AA;
        K:=K+2;
      UNTIL K=N+1;

      A0:=0.0;
      AR:=RICIANFNK(R,K1);
      ALAN_2:=(A0+ALAN4+ALAN2+AR)*H/3;
      GR1:=ALAN_2;
      PR1:=(1-GR1)*100;
      WRITELN(' GR1(',RR,')= ',GR1:3:18,' PR1(',RR,')= ',PR1:3:18);
{**} END;

```

```

IF (B1>=0) AND (B1<=100) THEN
{***} BEGIN { Ağaçlıklı Bölge Modeli Hesabı }
    B[1,1]:=1;
    B[1,N+1]:=1;
    B[N+1,1]:=1;
    B[N+1,N+1]:=1;
    FOR I:=2 TO N DO
        BEGIN
            B[1,I]:=2;
            B[N+1,I]:=2;
            B[I,1]:=2;
            B[I,N+1]:=2;
        END;
    FOR I:=2 TO N DO
        BEGIN
            FOR J:=2 TO N DO
                BEGIN
                    B[I,J]:=4;
                END;
            END;
        END;
    BEGIN
        Z:=0.03;
        H:=R/N;
        HH:=Z/N;
        A[1,1]:=0.0;
        FOR I:=2 TO N+1 DO
            BEGIN
                A[I,1]:=0.0;
                A[1,I]:=0.0;
            END;
        FOR I:=2 TO N+1 DO
            BEGIN
                FOR J:=2 TO N+1 DO
                    BEGIN

```

```

X:=(I-1)*H;
Y:=(J-1)*HH;
AA:=LOOFNK(X,Y,K2,μ,σ);
A[I,J]:=AA;
END;
END;
ALANL:=0.0;
FOR I:=1 TO N+1 DO
BEGIN
FOR J:=1 TO N+1 DO
BEGIN
C[I,J]:=A[I,J]*B[I,J];
ALANL:=ALANL+C[I,J];
END;
END;
ALAN_3:=(ALANL*H*HH)/4;
GR2:=ALAN_3;
PR2:=(1-GR2)*100;
WRITELN(' GR2(',RR,')= ',GR2:3:18,' PR2(',RR,')= ',PR2:3:18);
END;
{***} END;
CIKIS_G:=GR1*A1+GR2*B1+GR3*C1;
CIKIS_P:=PR1*A1+PR2*B1+PR3*C1;
TEXTBACKGROUND(LIGHTCYAN);TEXTCOLOR(WHITE);
WRITELN(' YIĞILIMLI BAYILMA DAĞILIMI = ',CIKIS_G:3:10);
TEXTBACKGROUND(LIGHTCYAN);TEXTCOLOR(YELLOW);
WRITELN(' F = ',RR:2,' (dB)" İN AŞILMA YÜZDESİ = ',CIKIS_P:3:10);
WRITELN(DOSYA,' F =',RR:2,' (dB)" İN AŞILMA YÜZDESİ = ',CIKIS_P:3:10);
WRITELN;
END; { TÖMLEV HESAPLAMALARI }
CLOSE(DOSYA);
REPEAT UNTIL KEYPRESSED;

END. { ANA PROGRAM SONU }

```


EK - C

Adım Sayısı	r	z	K' r z	f (r,z)	lo(K' rz)	F(r,z)
1	0	0	0	0	1,000000003	0
2	0	0,017125	0	0	1,000000003	0
3	0	0,03425	0	0	1,000000003	0
4	0	0,051375	0	0	1,000000003	0
5	0	0,0685	0	0	1,000000003	0
6	0	0,085625	0	0	1,000000003	0
7	0	0,10275	0	0	1,000000003	0
8	0	0,119875	0	0	1,000000003	0
9	0	0,137	0	0	1,000000003	0
10	0	0,154125	0	0	1,000000003	0
11	0	0,17125	0	0	1,000000003	0
12	0	0,188375	0	0	1,000000003	0
13	0	0,2055	0	0	1,000000003	0
14	0	0,222625	0	0	1,000000003	0
15	0	0,23975	0	0	1,000000003	0
16	0	0,256875	0	0	1,000000003	0
17	0	0,274	0	0	1,000000003	0
18	0	0,291125	0	0	1,000000003	0
19	0	0,30825	0	0	1,000000003	0
20	0	0,325375	0	0	1,000000003	0
21	0	0,3425	0	0	1,000000003	0
22	0,012559432	0	0	0	1,000000003	0
23	0,012559432	0,017125	0,013570648	1,829873536	0,999953963	1,829789294
24	0,012559432	0,03425	0,027141296	1,354003916	0,999815849	1,353754575
25	0,012559432	0,051375	0,040711944	1,063498212	0,99958568	1,063057584
26	0,012559432	0,0685	0,054282592	0,854252432	0,999263489	0,853623265
27	0,012559432	0,085625	0,06785324	0,691055347	0,998849318	0,690260162
28	0,012559432	0,10275	0,081423888	0,558582779	0,998343227	0,557657334
29	0,012559432	0,119875	0,094994536	0,449047948	0,997745284	0,448035473
30	0,012559432	0,137	0,108565184	0,357958436	0,997055573	0,356904453
31	0,012559432	0,154125	0,122135832	0,282371994	0,996274188	0,281319929
32	0,012559432	0,17125	0,13570648	0,220102835	0,995401237	0,219090635
33	0,012559432	0,188375	0,149277128	0,169345546	0,994436841	0,16840345
34	0,012559432	0,2055	0,162847776	0,128500876	0,993381134	0,127650345
35	0,012559432	0,222625	0,176418423	0,096103843	0,99223426	0,095357526
36	0,012559432	0,23975	0,189989071	0,070803174	0,990996378	0,070165689
37	0,012559432	0,256875	0,203559719	0,051364042	0,98966766	0,050833331
38	0,012559432	0,274	0,217130367	0,036678327	0,988248287	0,036247294
39	0,012559432	0,291125	0,230701015	0,025773771	0,986738458	0,025431971
40	0,012559432	0,30825	0,244271663	0,017817981	0,985138379	0,017553177
41	0,012559432	0,325375	0,257842311	0,012116039	0,983448272	0,011915498
42	0,012559432	0,3425	0,271412959	0,008102272	0,98166837	0,007953744
43	0,025118864	0	0	0	1,000000003	0
44	0,025118864	0,017125	0,027141296	3,605516452	0,999815849	3,604852492
45	0,025118864	0,03425	0,054282592	2,667880211	0,999263489	2,665915286
46	0,025118864	0,051375	0,081423888	2,095478308	0,998343227	2,092006576
47	0,025118864	0,0685	0,108565184	1,683188011	0,997055573	1,678231986
48	0,025118864	0,085625	0,13570648	1,361630392	0,995401237	1,355368577
49	0,025118864	0,10275	0,162847776	1,100611249	0,993381134	1,09332645
50	0,025118864	0,119875	0,189989071	0,884787791	0,990996378	0,876821496

Adım Sayısı	r	z	K' r z	f (r,z)	lo(K' r z)	F(r,z)
51	0,025118864	0,137	0,217130367	0,70530832	0,988248287	0,69701974
52	0,025118864	0,154125	0,244271663	0,556375537	0,985138379	0,548106895
53	0,025118864	0,17125	0,271412959	0,433682644	0,98166837	0,425732534
54	0,025118864	0,188375	0,298554255	0,333672322	0,977840174	0,326278201
55	0,025118864	0,2055	0,325695551	0,253193465	0,973655906	0,246523312
56	0,025118864	0,222625	0,352836847	0,189359528	0,969117873	0,183511703
57	0,025118864	0,23975	0,379978143	0,139508006	0,964228578	0,134517606
58	0,025118864	0,256875	0,407119439	0,101205846	0,958990718	0,097055467
59	0,025118864	0,274	0,434260735	0,072269645	0,953407179	0,068902398
60	0,025118864	0,291125	0,461402031	0,050783705	0,947481039	0,048116597
61	0,025118864	0,30825	0,488543327	0,035107903	0,941215562	0,033044105
62	0,025118864	0,325375	0,515684623	0,023873004	0,9346142	0,022312049
63	0,025118864	0,3425	0,542825918	0,015964423	0,927680585	0,014809885
64	0,037678296	0	0	0	1,000000003	0
65	0,037678296	0,017125	0,040711944	5,275367949	0,99958568	5,273182259
66	0,037678296	0,03425	0,081423888	3,903476782	0,998343227	3,897009607
67	0,037678296	0,051375	0,122135832	3,065973835	0,996274188	3,054550592
68	0,037678296	0,0685	0,162847776	2,462736255	0,993381134	2,446435733
69	0,037678296	0,085625	0,203559719	1,992253101	0,98966766	1,971668463
70	0,037678296	0,10275	0,244271663	1,610346086	0,985138379	1,586413733
71	0,037678296	0,119875	0,284983607	1,294566594	0,979798918	1,268414948
72	0,037678296	0,137	0,325695551	1,03196337	0,973655906	1,004777229
73	0,037678296	0,154125	0,366407495	0,814054162	0,966716969	0,786959973
74	0,037678296	0,17125	0,407119439	0,634537535	0,958990718	0,608515606
75	0,037678296	0,188375	0,447831383	0,488208636	0,950486734	0,464035833
76	0,037678296	0,2055	0,488543327	0,370456967	0,941215562	0,348679863
77	0,037678296	0,222625	0,52925527	0,277059111	0,93118869	0,25799431
78	0,037678296	0,23975	0,569967214	0,204119458	0,920418534	0,187875332
79	0,037678296	0,256875	0,610679158	0,148078114	0,908918424	0,134590926
80	0,037678296	0,274	0,651391102	0,10574046	0,896702583	0,094817744
81	0,037678296	0,291125	0,692103046	0,074303565	0,88378611	0,065668459
82	0,037678296	0,30825	0,73281499	0,051367705	0,870184954	0,044699404
83	0,037678296	0,325375	0,773526934	0,034929498	0,855915898	0,029896713
84	0,037678296	0,3425	0,814238878	0,023358153	0,840996534	0,019644126
85	0,050237729	0	0	0	1,000000003	0
86	0,050237729	0,017125	0,054282592	6,79302347	0,999263489	6,78802033
87	0,050237729	0,03425	0,108565184	5,026456856	0,997055573	5,01165682
88	0,050237729	0,051375	0,162847776	3,948015081	0,993381134	3,921883697
89	0,050237729	0,0685	0,217130367	3,171233807	0,988248287	3,133966379
90	0,050237729	0,085625	0,271412959	2,565398699	0,98166837	2,518370758
91	0,050237729	0,10275	0,325695551	2,073621948	0,973655906	2,018994256
92	0,050237729	0,119875	0,379978143	1,666996756	0,964228578	1,607365912
93	0,050237729	0,137	0,434260735	1,328845961	0,953407179	1,266931278
94	0,050237729	0,154125	0,488543327	1,048247077	0,941215562	0,986626462
95	0,050237729	0,17125	0,542825918	0,817085824	0,927680585	0,757994655
96	0,050237729	0,188375	0,59710851	0,628659983	0,91283204	0,573860975
97	0,050237729	0,2055	0,651391102	0,477032673	0,896702583	0,42775643
98	0,050237729	0,222625	0,705673694	0,356765454	0,879327655	0,31371373
99	0,050237729	0,23975	0,759956286	0,262842001	0,860745392	0,226240041
100	0,050237729	0,256875	0,814238878	0,190678283	0,840996534	0,160359775
101	0,050237729	0,274	0,868521469	0,136160631	0,820124325	0,111668645
102	0,050237729	0,291125	0,922804061	0,095679746	0,798174408	0,076369124
103	0,050237729	0,30825	0,977086653	0,066145534	0,775194712	0,051275668
104	0,050237729	0,325375	1,031369245	0,044978266	0,751235334	0,033789262
105	0,050237729	0,3425	1,085651837	0,030077994	0,726348421	0,021847103
106	0,062797161	0	0	0	1,000000003	0
107	0,062797161	0,017125	0,06785324	8,119370446	0,998849318	8,110027636
108	0,062797161	0,03425	0,13570648	6,007879323	0,995401237	5,98025051
109	0,062797161	0,051375	0,203559719	4,718870339	0,98966766	4,670113364
110	0,062797161	0,0685	0,271412959	3,790421476	0,98166837	3,72093687
111	0,062797161	0,085625	0,339266199	3,066296248	0,971430958	2,978695102
112	0,062797161	0,10275	0,407119439	2,478499424	0,958990718	2,376857941
113	0,062797161	0,119875	0,474972679	1,992480117	0,944390506	1,881679307
114	0,062797161	0,137	0,542825918	1,588304923	0,927680585	1,47343964
115	0,062797161	0,154125	0,610679158	1,25291873	0,908918424	1,138800917

Adım Sayısı	r	z	K' r z	f (r,z)	lo(K' r z)	F(r,z)
116	0,062797161	0,17125	0,678532398	0,976622931	0,888168482	0,867405706
117	0,062797161	0,188375	0,746385638	0,751406691	0,865501961	0,650343964
118	0,062797161	0,2055	0,814238878	0,570173944	0,840996534	0,479514311
119	0,062797161	0,222625	0,882092117	0,426424389	0,814736047	0,347423321
120	0,062797161	0,23975	0,949945357	0,314162255	0,786810201	0,247186067
121	0,062797161	0,256875	1,017798597	0,227908474	0,757314206	0,172598325
122	0,062797161	0,274	1,085651837	0,162746177	0,726348421	0,118210429
123	0,062797161	0,291125	1,153505077	0,114361345	0,694017974	0,079368829
124	0,062797161	0,30825	1,221358316	0,079060538	0,660432355	0,052214137
125	0,062797161	0,325375	1,289211556	0,053760332	0,625705009	0,033638109
126	0,062797161	0,3425	1,357064796	0,035950762	0,589952897	0,021209256
127	0,075356593	0	0	0	1,000000003	0
128	0,075356593	0,017125	0,081423888	9,22423667	0,998343227	9,208954204
129	0,075356593	0,03425	0,162847776	6,825418439	0,993381134	6,780241907
130	0,075356593	0,051375	0,244271663	5,361003924	0,985138379	5,281330716
131	0,075356593	0,0685	0,325695551	4,306213765	0,973655906	4,192770464
132	0,075356593	0,085625	0,407119439	3,483551154	0,958990718	3,340693221
133	0,075356593	0,10275	0,488543327	2,815768221	0,941215562	2,65024487
134	0,075356593	0,119875	0,569967214	2,263612466	0,920418534	2,083708867
135	0,075356593	0,137	0,651391102	1,804437993	0,896702583	1,61804421
136	0,075356593	0,154125	0,73281499	1,423413178	0,870184954	1,238632731
137	0,075356593	0,17125	0,814238878	1,10951965	0,840996534	0,933102179
138	0,075356593	0,188375	0,895662765	0,853656475	0,809281137	0,690848083
139	0,075356593	0,2055	0,977086653	0,647761971	0,775194712	0,502141654
140	0,075356593	0,222625	1,058510541	0,48445129	0,738904484	0,357963231
141	0,075356593	0,23975	1,139934429	0,35691277	0,70058804	0,250048818
142	0,075356593	0,256875	1,221358316	0,258921762	0,660432355	0,171000309
143	0,075356593	0,274	1,302782204	0,184892322	0,618632768	0,114380449
144	0,075356593	0,291125	1,384206092	0,129923387	0,575391914	0,074756866
145	0,075356593	0,30825	1,46562998	0,089818924	0,530918622	0,047686539
146	0,075356593	0,325375	1,547053868	0,061075921	0,485426777	0,029647888
147	0,075356593	0,3425	1,628477755	0,040842864	0,439134156	0,017935496
148	0,087916025	0	0	0	1,000000003	0
149	0,087916025	0,017125	0,094994536	10,08745634	0,997745284	10,06471199
150	0,087916025	0,03425	0,189989071	7,464152641	0,990996378	7,396948233
151	0,087916025	0,051375	0,284983607	5,862695739	0,979798918	5,74426294
152	0,087916025	0,0685	0,379978143	4,709196532	0,964228578	4,540741875
153	0,087916025	0,085625	0,474972679	3,809547763	0,944390506	3,597700741
154	0,087916025	0,10275	0,569967214	3,079272573	0,920418534	2,834219547
155	0,087916025	0,119875	0,66496175	2,475445149	0,89247417	2,209270854
156	0,087916025	0,137	0,759956286	1,973300353	0,860745392	1,698509185
157	0,087916025	0,154125	0,854950822	1,556618591	0,825445235	1,284903399
158	0,087916025	0,17125	0,949945357	1,213350375	0,786810201	0,954676452
159	0,087916025	0,188375	1,044939893	0,933543092	0,745098482	0,69558154
160	0,087916025	0,2055	1,139934429	0,708380632	0,70058804	0,496282999
161	0,087916025	0,222625	1,234928964	0,529787062	0,653574529	0,346255329
162	0,087916025	0,23975	1,3299235	0,39031327	0,604369095	0,235893278
163	0,087916025	0,256875	1,424918036	0,283152099	0,55329606	0,156666941
164	0,087916025	0,274	1,519912572	0,202194858	0,500690522	0,101237049
165	0,087916025	0,291125	1,614907107	0,142081837	0,44689587	0,063495786
166	0,087916025	0,30825	1,709901643	0,098224331	0,392261253	0,038529599
167	0,087916025	0,325375	1,804896179	0,066791509	0,337139007	0,022518023
168	0,087916025	0,3425	1,899890715	0,044665008	0,281882074	0,012590265
169	0,100475457	0	0	0	1,000000003	0
170	0,100475457	0,017125	0,108565184	10,69930733	0,997055573	10,66780399
171	0,100475457	0,03425	0,217130367	7,916888098	0,988248287	7,823851105
172	0,100475457	0,051375	0,325695551	6,218295412	0,973655906	6,054480053
173	0,100475457	0,0685	0,434260735	4,994831131	0,953407179	4,762107857
174	0,100475457	0,085625	0,542825918	4,040614494	0,927680585	3,748399618
175	0,100475457	0,10275	0,651391102	3,266044729	0,896702583	2,928670745
176	0,100475457	0,119875	0,759956286	2,625592372	0,860745392	2,259966535
177	0,100475457	0,137	0,868521469	2,092990166	0,820124325	1,716512148
178	0,100475457	0,154125	0,977086653	1,651034724	0,775194712	1,279873387
179	0,100475457	0,17125	1,085651837	1,2869457	0,726348421	0,934770977
180	0,100475457	0,188375	1,194217021	0,990166808	0,674010046	0,667382376

Adım Sayısı	r	z	K' rz	f(r,z)	lo(K' rz)	F(r,z)
181	0,100475457	0,2055	1,302782204	0,751347201	0,618632768	0,464807998
182	0,100475457	0,222625	1,411347388	0,561921103	0,560693952	0,315065764
183	0,100475457	0,23975	1,519912572	0,413987579	0,500690522	0,207279657
184	0,100475457	0,256875	1,628477755	0,300326586	0,439134156	0,131883662
185	0,100475457	0,274	1,737042939	0,214458913	0,376546352	0,080753722
186	0,100475457	0,291125	1,845608123	0,150699759	0,313453418	0,047237355
187	0,100475457	0,30825	1,954173306	0,104182091	0,250381434	0,026085261
188	0,100475457	0,325375	2,06273849	0,070842724	0,187851239	0,013307893
189	0,100475457	0,3425	2,171303674	0,047374148	0,12637349	0,005986836
190	0,113034889	0	0	0	1,000000003	0
191	0,113034889	0,017125	0,122135832	11,06032372	0,996274188	11,01911503
192	0,113034889	0,03425	0,244271663	8,18402001	0,985138379	8,062392206
193	0,113034889	0,051375	0,366407495	6,42811335	0,966716969	6,214166255
194	0,113034889	0,0685	0,488543327	5,163366895	0,941215562	4,859841276
195	0,113034889	0,085625	0,610679158	4,176953048	0,908918424	3,79650958
196	0,113034889	0,10275	0,73281499	3,376247723	0,870184954	2,937959968
197	0,113034889	0,119875	0,854950822	2,714185201	0,825445235	2,240411242
198	0,113034889	0,137	0,977086653	2,163611913	0,775194712	1,677220513
199	0,113034889	0,154125	1,099222485	1,706743995	0,719988061	1,2288353
200	0,113034889	0,17125	1,221358316	1,330369866	0,660432355	0,878619304
201	0,113034889	0,188375	1,343494148	1,02357705	0,597179579	0,611259312
202	0,113034889	0,2055	1,46562998	0,776699184	0,530918622	0,41236406
203	0,113034889	0,222625	1,587765811	0,580881464	0,462366832	0,268580322
204	0,113034889	0,23975	1,709901643	0,427956363	0,392261253	0,167870699
205	0,113034889	0,256875	1,832037475	0,310460216	0,321349648	0,099766281
206	0,113034889	0,274	1,954173306	0,221695193	0,250381434	0,055508361
207	0,113034889	0,291125	2,076309138	0,155784676	0,180098636	0,028056608
208	0,113034889	0,30825	2,19844497	0,107697407	0,111226981	0,011978857
209	0,113034889	0,325375	2,320580801	0,073233102	0,044467248	0,003256474
210	0,113034889	0,3425	2,442716633	0,048972648	-0,019513023	-0,000955604
211	0,125594322	0	0	0	1,000000003	0
212	0,125594322	0,017125	0,13570648	11,18053509	0,995401237	11,12911846
213	0,125594322	0,03425	0,271412959	8,272969688	0,98166837	8,121312666
214	0,125594322	0,051375	0,407119439	6,497978602	0,958990718	6,231501162
215	0,125594322	0,0685	0,542825918	5,219485994	0,927680585	4,842015821
216	0,125594322	0,085625	0,678532398	4,222351108	0,888168482	3,750159172
217	0,125594322	0,10275	0,814238878	3,412943155	0,840996534	2,870273363
218	0,125594322	0,119875	0,949945357	2,743684872	0,786810201	2,158759245
219	0,125594322	0,137	1,085651837	2,187127567	0,726348421	1,588616655
220	0,125594322	0,154125	1,221358316	1,725294087	0,660432355	1,139440038
221	0,125594322	0,17125	1,357064796	1,34482926	0,589952897	0,793385918
222	0,125594322	0,188375	1,492771276	1,034702005	0,515857161	0,533758438
223	0,125594322	0,2055	1,628477755	0,785140896	0,439134156	0,344782185
224	0,125594322	0,222625	1,764184235	0,587194892	0,360799882	0,211859848
225	0,125594322	0,23975	1,899890715	0,432607693	0,281882074	0,121944354
226	0,125594322	0,256875	2,035597194	0,313834516	0,203404848	0,063835462
227	0,125594322	0,274	2,171303674	0,224104733	0,12637349	0,028320897
228	0,125594322	0,291125	2,307010153	0,157477853	0,051759621	0,008150994
229	0,125594322	0,30825	2,442716633	0,108867938	-0,019513023	-0,002124343
230	0,125594322	0,325375	2,578423113	0,07402905	-0,086581969	-0,006409581
231	0,125594322	0,3425	2,714129592	0,049504917	-0,148658347	-0,007359319
232	0,138153754	0	0	0	1,000000003	0
233	0,138153754	0,017125	0,149277128	11,07822395	0,994436841	11,01659404
234	0,138153754	0,03425	0,298554255	8,197265178	0,977840174	8,015615212
235	0,138153754	0,051375	0,447831383	6,438516727	0,950486734	6,119724738
236	0,138153754	0,0685	0,59710851	5,171723383	0,91283204	4,720914806
237	0,138153754	0,085625	0,746385638	4,183713105	0,865501961	3,621011896
238	0,138153754	0,10275	0,895662765	3,381711904	0,809281137	2,736755655
239	0,138153754	0,119875	1,044939893	2,718577888	0,745098482	2,025608258
240	0,138153754	0,137	1,194217021	2,167113542	0,674010046	1,460656299
241	0,138153754	0,154125	1,343494148	1,70950622	0,597179579	1,020882206
242	0,138153754	0,17125	1,492771276	1,332522961	0,515857161	0,687391511
243	0,138153754	0,188375	1,642048403	1,025233626	0,43135632	0,442241004
244	0,138153754	0,2055	1,791325531	0,777956208	0,345030082	0,268418295
245	0,138153754	0,222625	1,940602658	0,581821573	0,258246407	0,150253331

Adım Sayısı	r	z	K' r z	f (r,z)	lo(K' r z)	F(r,z)
246	0,138153754	0,23975	2,089879786	0,428648975	0,17236348	0,073883429
247	0,138153754	0,256875	2,239156914	0,310962671	0,088705352	0,027584053
248	0,138153754	0,274	2,388434041	0,222053989	0,008538368	0,001895979
249	0,138153754	0,291125	2,537711169	0,156036801	-0,066951156	-0,010446844
250	0,138153754	0,30825	2,686988296	0,107871707	-0,136677579	-0,014743644
251	0,138153754	0,325375	2,836265424	0,073351623	-0,199674536	-0,014646451
252	0,138153754	0,3425	2,985542551	0,049051906	-0,255111131	-0,012513687
253	0,150713186	0	0	0	1,000000003	0
254	0,150713186	0,017125	0,162847776	10,7783225	0,993381134	10,70698222
255	0,150713186	0,03425	0,325695551	7,9753549	0,973655906	7,765251401
256	0,150713186	0,051375	0,488543327	6,264217982	0,941215562	5,895979451
257	0,150713186	0,0685	0,651391102	5,031718327	0,896702583	4,511954822
258	0,150713186	0,085625	0,814238878	4,07045473	0,840996534	3,423238319
259	0,150713186	0,10275	0,977086653	3,29016471	0,775194712	2,550518283
260	0,150713186	0,119875	1,139934429	2,644982566	0,70058804	1,853043152
261	0,150713186	0,137	1,302782204	2,108447053	0,618632768	1,304354436
262	0,150713186	0,154125	1,46562998	1,663227737	0,530918622	0,883038578
263	0,150713186	0,17125	1,628477755	1,296449888	0,439134156	0,569315428
264	0,150713186	0,188375	1,791325531	0,997479262	0,345030082	0,344160352
265	0,150713186	0,2055	1,954173306	0,756895955	0,250381434	0,189512695
266	0,150713186	0,222625	2,117021082	0,566070931	0,156949423	0,088844506
267	0,150713186	0,23975	2,279868857	0,417044908	0,066443856	0,027710072
268	0,150713186	0,256875	2,442716633	0,30254452	-0,019513023	-0,005903558
269	0,150713186	0,274	2,605564408	0,216042708	-0,099420469	-0,021479067
270	0,150713186	0,291125	2,768412184	0,151812688	-0,171930169	-0,026101181
271	0,150713186	0,30825	2,93125996	0,104951484	-0,235873497	-0,024755273
272	0,150713186	0,325375	3,094107735	0,071365903	-0,290284493	-0,020716415
273	0,150713186	0,3425	3,256955511	0,047724009	-0,334418066	-0,015959771
274	0,163272618	0	0	0	1,000000003	0
275	0,163272618	0,017125	0,176418423	10,31058624	0,99223426	10,23051691
276	0,163272618	0,03425	0,352836847	7,62925627	0,969117873	7,393648608
277	0,163272618	0,051375	0,52925527	5,992375877	0,93118869	5,580032642
278	0,163272618	0,0685	0,705673694	4,813361797	0,879327655	4,232522141
279	0,163272618	0,085625	0,882092117	3,893813211	0,814736047	3,172429984
280	0,163272618	0,10275	1,058510541	3,147384669	0,738904484	2,325616644
281	0,163272618	0,119875	1,234928964	2,530200859	0,653574529	1,653674836
282	0,163272618	0,137	1,411347388	2,01694885	0,560693952	1,130891021
283	0,163272618	0,154125	1,587765811	1,591050279	0,462366832	0,735648877
284	0,163272618	0,17125	1,764184235	1,240189128	0,360799882	0,447460091
285	0,163272618	0,188375	1,940602658	0,954192636	0,258246407	0,24641682
286	0,163272618	0,2055	2,117021082	0,724049686	0,156949423	0,11363918
287	0,163272618	0,222625	2,293439505	0,541505708	0,059085457	0,031995112
288	0,163272618	0,23975	2,469857929	0,398946821	-0,033289486	-0,013280735
289	0,163272618	0,256875	2,646276352	0,289415293	-0,118290346	-0,034235035
290	0,163272618	0,274	2,822694776	0,206667315	-0,194248498	-0,040144816
291	0,163272618	0,291125	2,999113199	0,145224622	-0,259751133	-0,03772226
292	0,163272618	0,30825	3,175531623	0,100397008	-0,313673505	-0,031491881
293	0,163272618	0,325375	3,351950046	0,068268907	-0,355203247	-0,024249337
294	0,163272618	0,3425	3,52836847	0,045652977	-0,383856164	-0,017524177
295	0,17583205	0	0	0	1,000000003	0
296	0,17583205	0,017125	0,189989071	9,707686166	0,990996378	9,620281831
297	0,17583205	0,03425	0,379978143	7,183143986	0,964228578	6,926192711
298	0,17583205	0,051375	0,569967214	5,641978355	0,920418534	5,192981445
299	0,17583205	0,0685	0,759956286	4,531905813	0,860745392	3,900817045
300	0,17583205	0,085625	0,949945357	3,666126809	0,786810201	2,88454597
301	0,17583205	0,10275	1,139934429	2,963344847	0,70058804	2,076083959
302	0,17583205	0,119875	1,3299235	2,382250175	0,604369095	1,439758382
303	0,17583205	0,137	1,519912572	1,899010007	0,500690522	0,950816312
304	0,17583205	0,154125	1,709901643	1,498015382	0,392261253	0,587613391
305	0,17583205	0,17125	1,899890715	1,167670447	0,281882074	0,329145367
306	0,17583205	0,188375	2,089879786	0,898397282	0,17236348	0,154850882
307	0,17583205	0,2055	2,279868857	0,681711685	0,066443856	0,045295553
308	0,17583205	0,222625	2,469857929	0,509841763	-0,033289486	-0,01697237
309	0,17583205	0,23975	2,659847	0,375618848	-0,124473988	-0,046754776
310	0,17583205	0,256875	2,849836072	0,272492055	-0,205037989	-0,055871223

Adım Sayısı	r	z	K' r z	f (r,z)	lo(K' r z)	F(r,z)
311	0,17583205	0,274	3,039825143	0,194582674	-0,273257346	-0,053171145
312	0,17583205	0,291125	3,229814215	0,136732774	-0,327800837	-0,044821118
313	0,17583205	0,30825	3,419803286	0,094526404	-0,367763039	-0,034763318
314	0,17583205	0,325375	3,609792358	0,064276958	-0,392683766	-0,025240518
315	0,17583205	0,3425	3,799781429	0,04298347	-0,402553596	-0,017303151
316	0,188391482	0	0	0	1,000000003	0
317	0,188391482	0,017125	0,203559719	9,003352268	0,98966766	8,910326567
318	0,188391482	0,03425	0,407119439	6,661976354	0,958990718	6,388773484
319	0,188391482	0,051375	0,610679158	5,232628841	0,908918424	4,756032759
320	0,188391482	0,0685	0,814238878	4,203096782	0,840996534	3,534789825
321	0,188391482	0,085625	1,017798597	3,400133724	0,757314206	2,57496957
322	0,188391482	0,10275	1,221358316	2,748341581	0,660432355	1,815093704
323	0,188391482	0,119875	1,424918036	2,209407798	0,55329606	1,222456629
324	0,188391482	0,137	1,628477755	1,761228758	0,439134156	0,773415705
325	0,188391482	0,154125	1,832037475	1,389327998	0,321349648	0,446460063
326	0,188391482	0,17125	2,035597194	1,082950992	0,203404848	0,220277482
327	0,188391482	0,188375	2,239156914	0,83321474	0,088705352	0,073910607
328	0,188391482	0,2055	2,442716633	0,632250604	-0,019513023	-0,012337121
329	0,188391482	0,222625	2,646276352	0,472850576	-0,118290346	-0,055933658
330	0,188391482	0,23975	2,849836072	0,348366104	-0,205037989	-0,071428286
331	0,188391482	0,256875	3,053395791	0,252721598	-0,277620063	-0,070160586
332	0,188391482	0,274	3,256955511	0,180464874	-0,334418066	-0,060350714
333	0,188391482	0,291125	3,46051523	0,12681223	-0,374376606	-0,047475532
334	0,188391482	0,30825	3,664074949	0,087668112	-0,397028744	-0,03480676
335	0,188391482	0,325375	3,867634669	0,059613392	-0,402500273	-0,023994406
336	0,188391482	0,3425	4,071194388	0,039864837	-0,391492993	-0,015606804
337	0,200950915	0	0	0	1,000000003	0
338	0,200950915	0,017125	0,217130367	8,230682789	0,988248287	8,133958171
339	0,200950915	0,03425	0,434260735	6,090244221	0,953407179	5,806482561
340	0,200950915	0,051375	0,651391102	4,783563596	0,896702583	4,289433833
341	0,200950915	0,0685	0,868521469	3,842386182	0,820124325	3,151234375
342	0,200950915	0,085625	1,085651837	3,108333573	0,726348421	2,257733184
343	0,200950915	0,10275	1,302782204	2,512478361	0,618632768	1,554301443
344	0,200950915	0,119875	1,519912572	2,019795982	0,500690522	1,011292704
345	0,200950915	0,137	1,737042939	1,610079757	0,376546352	0,60626966
346	0,200950915	0,154125	1,954173306	1,270095593	0,250381434	0,318008356
347	0,200950915	0,17125	2,171303674	0,990011923	0,12637349	0,125111262
348	0,200950915	0,188375	2,388434041	0,761708086	0,008538368	0,006503744
349	0,200950915	0,2055	2,605564408	0,577990732	-0,099420469	-0,05746411
350	0,200950915	0,222625	2,822694776	0,432270446	-0,194248498	-0,083967885
351	0,200950915	0,23975	3,039825143	0,318469256	-0,273257346	-0,087024064
352	0,200950915	0,256875	3,256955511	0,231032981	-0,334418066	-0,077261603
353	0,200950915	0,274	3,474085878	0,164977342	-0,376426933	-0,062101915
354	0,200950915	0,291125	3,691216245	0,115929179	-0,398741368	-0,04622576
355	0,200950915	0,30825	3,908346613	0,080144417	-0,401584876	-0,032184786
356	0,200950915	0,325375	4,12547698	0,054497359	-0,38592114	-0,021031683
357	0,200950915	0,3425	4,342607347	0,036443629	-0,353398749	-0,012879133
358	0,213510347	0	0	0	1,000000003	0
359	0,213510347	0,017125	0,230701015	7,420707393	0,986738458	7,322297369
360	0,213510347	0,03425	0,461402031	5,490907799	0,947481039	5,202531026
361	0,213510347	0,051375	0,692103046	4,312816646	0,88378611	3,811607445
362	0,213510347	0,0685	0,922804061	3,464259804	0,798174408	2,765083519
363	0,213510347	0,085625	1,153505077	2,802444769	0,694017974	1,94494704
364	0,213510347	0,10275	1,384206092	2,265227227	0,575391914	1,30339343
365	0,213510347	0,119875	1,614907107	1,821029356	0,44689587	0,813810499
366	0,213510347	0,137	1,845608123	1,451633001	0,313453418	0,455019326
367	0,213510347	0,154125	2,076309138	1,145106427	0,180098636	0,206232105
368	0,213510347	0,17125	2,307010153	0,892585583	0,051759621	0,046199891
369	0,213510347	0,188375	2,537711169	0,686748957	-0,066951156	-0,045978637
370	0,213510347	0,2055	2,768412184	0,521111092	-0,171930169	-0,089594718
371	0,213510347	0,222625	2,999113199	0,389731032	-0,259751133	-0,101233077
372	0,213510347	0,23975	3,229814215	0,287128932	-0,327800837	-0,094121104
373	0,213510347	0,256875	3,46051523	0,208297196	-0,374376606	-0,077981597
374	0,213510347	0,274	3,691216245	0,148742044	-0,398741368	-0,059309606
375	0,213510347	0,291125	3,921917261	0,104520675	-0,401134289	-0,041926826

Adım Sayısı	r	z	K' rz	f(r,z)	lo(K' rz)	F(r,z)
376	0,213510347	0,30825	4,152618276	0,072257464	-0,382737034	-0,027655608
377	0,213510347	0,325375	4,383319291	0,049134314	-0,345597824	-0,016980712
378	0,213510347	0,3425	4,614020307	0,032857238	-0,292517381	-0,009611313
379	0,226069779	0	0	0	1,000000003	0
380	0,226069779	0,017125	0,244271663	6,601262479	0,985138379	6,503157018
381	0,226069779	0,03425	0,488543327	4,884564464	0,941215562	4,597428089
382	0,226069779	0,051375	0,73281499	3,836566138	0,870184954	3,338522127
383	0,226069779	0,0685	0,977086653	3,081712706	0,775194712	2,388927392
384	0,226069779	0,085625	1,221358316	2,492979782	0,660432355	1,64644451
385	0,226069779	0,10275	1,46562998	2,01508545	0,530918622	1,069846391
386	0,226069779	0,119875	1,709901643	1,619938925	0,392261253	0,635439273
387	0,226069779	0,137	1,954173306	1,291333825	0,250381434	0,323326015
388	0,226069779	0,154125	2,19844497	1,018655997	0,111226981	0,113302031
389	0,226069779	0,17125	2,442716633	0,79402022	-0,019513023	-0,015493735
390	0,226069779	0,188375	2,686988296	0,610913473	-0,136677579	-0,083498175
391	0,226069779	0,2055	2,93125996	0,463566466	-0,235873497	-0,109343043
392	0,226069779	0,222625	3,175531623	0,346694284	-0,313673505	-0,108748811
393	0,226069779	0,23975	3,419803286	0,255422205	-0,367763039	-0,093934846
394	0,226069779	0,256875	3,664074949	0,185295605	-0,397028744	-0,073567681
395	0,226069779	0,274	3,908346613	0,132316937	-0,401584876	-0,053136481
396	0,226069779	0,291125	4,152618276	0,092978792	-0,382737034	-0,035586427
397	0,226069779	0,30825	4,396889939	0,064278304	-0,342886	-0,022040131
398	0,226069779	0,325375	4,641161603	0,043708569	-0,285377536	-0,012473444
399	0,226069779	0,3425	4,885433266	0,029228919	-0,214306795	-0,006263956
400	0,238629211	0	0	0	1,000000003	0
401	0,238629211	0,017125	0,257842311	5,796206027	0,983448272	5,700268801
402	0,238629211	0,03425	0,515684623	4,288867785	0,9346142	4,008436733
403	0,238629211	0,051375	0,773526934	3,368678013	0,855915898	2,883305067
404	0,238629211	0,0685	1,031369245	2,705882673	0,751235334	2,032754673
405	0,238629211	0,085625	1,289211556	2,188948627	0,625705009	1,36963612
406	0,238629211	0,10275	1,547053868	1,769335861	0,485426777	0,858883004
407	0,238629211	0,119875	1,804896179	1,4223794	0,337139007	0,479539579
408	0,238629211	0,137	2,06273849	1,133849309	0,187851239	0,212994997
409	0,238629211	0,154125	2,320580801	0,894425884	0,044467248	0,039772657
410	0,238629211	0,17125	2,578423113	0,697185546	-0,086581969	-0,060363698
411	0,238629211	0,188375	2,836265424	0,536409568	-0,199674536	-0,107107331
412	0,238629211	0,2055	3,094107735	0,407032254	-0,290284493	-0,118155151
413	0,238629211	0,222625	3,351950046	0,304413209	-0,355203247	-0,10812856
414	0,238629211	0,23975	3,609792358	0,22427221	-0,392683766	-0,088068056
415	0,238629211	0,256875	3,867634669	0,162697894	-0,402500273	-0,065485947
416	0,238629211	0,274	4,12547698	0,116180236	-0,38592114	-0,044836409
417	0,238629211	0,291125	4,383319291	0,08163957	-0,345597824	-0,028214458
418	0,238629211	0,30825	4,641161603	0,056439249	-0,285377536	-0,016106494
419	0,238629211	0,325375	4,899003914	0,038378094	-0,210051721	-0,008061385
420	0,238629211	0,3425	5,156846225	0,025664308	-0,125056031	-0,003209477
421	0,251188643	0	0	0	1,000000003	0
422	0,251188643	0,017125	0,271412959	5,024970679	0,98166837	4,932854774
423	0,251188643	0,03425	0,542825918	3,718196828	0,927680585	3,44929901
424	0,251188643	0,051375	0,814238878	2,920446265	0,840996534	2,456085186
425	0,251188643	0,0685	1,085651837	2,345841578	0,726348421	1,703898327
426	0,251188643	0,085625	1,357064796	1,897690078	0,589952897	1,119547759
427	0,251188643	0,10275	1,628477755	1,53391042	0,439134156	0,673592458
428	0,251188643	0,119875	1,899890715	1,233119518	0,281882074	0,347594287
429	0,251188643	0,137	2,171303674	0,982980851	0,12637349	0,124222721
430	0,251188643	0,154125	2,442716633	0,775414784	-0,019513023	-0,015130687
431	0,251188643	0,17125	2,714129592	0,604418979	-0,148658347	-0,089851926
432	0,251188643	0,188375	2,985542551	0,465035635	-0,255111131	-0,118635767
433	0,251188643	0,2055	3,256955511	0,352873092	-0,334418066	-0,118007137
434	0,251188643	0,222625	3,52836847	0,263908399	-0,383856164	-0,101302866
435	0,251188643	0,23975	3,799781429	0,194430853	-0,402553596	-0,078268839
436	0,251188643	0,256875	4,071194388	0,141049532	-0,391492993	-0,055219903
437	0,251188643	0,274	4,342607347	0,10072145	-0,353398749	-0,035594835
438	0,251188643	0,291125	4,614020307	0,070776719	-0,292517381	-0,020703421
439	0,251188643	0,30825	4,885433266	0,048929518	-0,214306795	-0,010485928
440	0,251188643	0,325375	5,156846225	0,033271557	-0,125056031	-0,004160809
441	0,251188643	0,3425	5,428259184	0,0224945	-0,031461256	-0,000699996

ÖZGEÇMİŞ

1969 yılında Trabzon' da doğan Erol SANCAK , ilk ve orta öğrenimini Trabzon' da tamamladı. 1990 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü' nden Elektronik Mühendisi ünvanı ile mezun oldu. 1991 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi' nde başladığı yüksek lisans öğrenimini Kocaeli Üniversitesi' nde sürdürmektedir. 1993 yılından beri Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. Gebze Elektrik Dağıtım Müessese Müdürlüğü' nde görev yapmaktadır.

