

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**LİSANSIZ KABLOSUZ SİSTEMLERİN NEDEN OLDUĞU
GİRİŞİMİN BENZETİMİ**

Başar TUNAY

ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2005**

Her hakkı saklıdır

Yrd. Doç. Dr. Ziya TELATAR danışmanlığında, Başar TUNAY tarafından hazırlanan bu çalışma 24 / 10 / 2005 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı' nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Faruk ÖZEK

Üye : Doç. Dr. Birsen SAKA

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ziya TELATAR

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ülkü MEHMETOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

LİSANSSIZ KABLOSUZ SİSTEMLERİN NEDEN OLDUĞU GİRİŞİMİN BENZETİMİ

Başar TUNAY

Ankara Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Ziya TELATAR

Bu çalışmada, 5 GHz bandını radarlarla paylaşımli olarak kullanımı önerilen lisanssız telsiz erişim sistemlerinin (TES) ve bu bandın birincil kullanıcıları olan radarların genel özellikleri ile 5 GHz'te çalışan TES standartları tanıtılmıştır. Bu bantta çalışan TES'lerin radarlar üzerinde bir girişim oluşturmadan çalışabilmesi için gerekli olan dinamik frekans seçimi (Dynamic Frequency Selection, DFS) yöntemi genel olarak incelenmiştir.

TES'ler ve radarlar arasındaki girişim için bir benzetim modeli oluşturulmuş, DFS için gerekli radar algılama eşik değerlerinin tespitine yönelik benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetimler farklı radar tipleri için çeşitli anten kazanç ve yüksekliklerinde yapılmış, bulunan eşik değerleri sunulmuştur.

2005 , 77 sayfa

Anahtar Kelimeler : Telsiz yerel alan ağları, telsiz erişim sistemleri, 5 GHz bandı radarlar, girişim, benzetim

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

SIMULATION STUDY of INTERFERENCE CAUSED by UNLICENCED WIRELESS SYSTEMS

Başar TUNAY

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electronic Engineering

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Ziya TELATAR

In this study, general characteristics of unlicensed wireless access systems (WAS) proposed to co-exist with radars in the 5 GHz band and of the radars which are the primary users of this band and the WAS standards operating in this band were introduced. Dynamic frequency selection (DFS) method required for WAS to co-exist with radars in this band without causing any harmful interference to the radars was investigated generally.

A simulation method for interference between WAS and radars was formed and extensive simulation studies were performed to determine radar detection threshold values required for DFS. Simulation studies were performed for a variety of radars with various antenna gains and heights, and the threshold values obtained were presented.

2005 , 77 pages

Key Words : Radio local area networks (RLAN), wireless access systems, 5 GHz band radars, interference, simulation

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleŐtirilmesine ve Őekillenmesine, vermiŐ olduğu fikir ve önerileri ile katkı sağlayan Sayın Dr. Nur SERİNKEN' e (Communications Research Center, Kanada), bana araştırma olanağı sağlayan ve çalıŐmamın her safhasında gösterdiği yakın ilgi, öneri ve dűŐünceleri ile tezi tamamlamamda büyük pay sahibi olan Sayın Dr. Oktay ÜRETEN' e (Communications Research Center, Kanada) ve danıŐman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Ziya TELATAR' a (Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi), son olarak benden manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen annem Sayın Nuran TUNAY' a teŐekkürlerimi sunarım.

Başar Tunay

Ankara , Ekim 2005

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1 Telsiz Erişim Sistemleri ve Özellikleri	4
2.1.1 Telsiz erişim sistemleri.....	4
2.1.2 Genişbant RLAN' ların özellikleri	5
2.1.3 Genişbant RLAN' larda modülasyon teknikleri.....	9
2.1.4 5 GHz TES Teknolojileri.....	12
2.2 5 GHz' de Kullanılan Radarlar ve Özellikleri.....	15
2.2.1 Teknik özellikler.....	16
2.2.2 İşlevsel karakteristikler	17
2.3 Dinamik Frekans Seçimi (Dynamic Frequency Selection, DFS)	19
2.3.1 DFS için kullanılan terimler ve açıklamaları	20
2.3.2 DFS yordamı.....	22
2.3.3 DFS algoritması.....	23
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	25
3.1 Materyal	25
3.1.1 Uçbirim karakteristikleri ve konuşlandırma modeli.....	25
3.1.2 Girişim Parametreleri.....	26
3.1.3 TES Uç Birimlerine Girişimin Hesaplanması	34
3.1.4 Radara Girişimin Hesaplanması	35
3.1.5 Radara özgü gürültü düzeyi.....	35
3.2 Benzetim Yöntemi	36
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	40
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	52

KAYNAKLAR	53
EKLER.....	55
EK 1 Hava Telsiz Yöngüdüm ve Meteoroloji Radar Sistemlerinin	
Karakteristikleri	56
EK 2 Telsiz ile Konum Belirleme Sistemlerinin Karakteristikleri.....	58
EK 3 Matlab Programı	60
ÖZGEÇMİŞ	77

KISALTMALAR DİZİNİ

10 Base-T	10 Mbps hızında temel bantta kullanılan büklümlü-çift kablolama standardı
100 Base-T	100 Mbps hızında temel bantta kullanılan büklümlü-çift kablolama standardı
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AGC	Automatic Gain Control
AP	Access Point
ARNS	Aeronautical Radionavigation Service
ATM	Asynchronous Transfer Mode
B	Bant genişliği
BN	Backbone Network
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BRAN	Broadband Radio Access Network
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance
dBi	desibel isotropik
dBr	desibel relative
DFS	Dynamic Frequency Selection
e.i.r.p.	Effective Isotropik Radiated Power
ECCM	Electronic-Counter-Counter-Measures
EESS	Earth Exploration Satellite Service
ETS	European Telecommunications Standard
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EY-NPMA	Elimination-Yield Non-Pre-emptive priority Multiple Access
F_C	Carrier Frequency
FDD	Frequency Division Duplex
FDR_{IF}	IF frekansındaki Frequency Dependent Rejection
FFT	Fast Fourier Transform
FSK	Frequency Shift Keying
FSS	Fixed Satellite Service
G	Gain

GHz	Gigahertz
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
h	Yükseklik
HBR	High Bit Rate
HIPERLAN	High PERformans Radio Local Area Network
HIPERLAN/2 (H/2)	High PERformans Radio Local Area Network/Version 2
HIPERMAN	High PERformans Radio Metropolitan Area Network
IEEE 802.11a	IEEE' nin 5 GHz bandında 54 Mbps hızında çalışan RLAN standardı
IEEE 802.11h	IEEE' nin 5 GHz bandında DFS ve TPC yöntemleri ve ağ kontrolü için geliştirilmiş ileri 802.11 MAC (Medium Access Control) ve 802.11a PHY (Physical) katman standardı
IEEE 802.16a	IEEE' nin 2-11 GHz bant eriminde 75 Mbps hızında çalışan RLAN standardı (Worldwide Interoperability for Microwave Access, WiMAX)
IEEE 802.3	Institute of Electrical and Electronics Engineers Regulatory Advisory Group on Ethernet
IEEE 802.3ab	IEEE' nin 1000 Mbps hızında temel bantta kullanılan bükümlü-çift bakır kablolama standardı
IF	Intermediate Frequency
ISI	Intersymbol Interference
ITU	International Telecommunication Union
ITU-R	International Telecommunication Union Radiocommunication Bureau
k	Boltzman sabiti ($1,380622 \times 10^{-23} \text{ jK}^{-1}$)
LAN	Local Area Network
L_B	Building Loss
LBR	Low Bit Rate
L_{FS}	Free Space Loss
LMS	Least Mean Square
L_R	Receiver Loss
LSIC	Large Scale Integrated Circuit

L_T	Transmitter Loss
m	Metre
Mbit	Megabit
Mbps	Mega bit per second
MHz	Megahertz
MT	Mobile Terminal
mW	miliWatt
NLOS	Non-Line of Sight
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFR	Off-Frequency Rejection
OTR	On-Tune Rejection
P	Güç
PDU	Protocol Data Unit
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RF	Radio Frequency
RLAN	Radio Local Area Network
RLS	Recursive Least Square
SAR	Synthetic Aperture Radar
SOHO	Small Office Home Office
T	Sıcaklık
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TES	Telsiz Erişim Sistemi
TPC	Transmit Power Kontrol
WAS	Wireless Access System

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Telsiz erişim sistemi bileşenleri (http://www.ntia.doc.gov/osmhome/newsletr/spring03/5GHz.html).....	4
Şekil 2.2 İletim izge maskesi (Mutti <i>et al.</i> 2004).....	9
Şekil 2.3 OFDM Tayfı (ITU-R Document 8/BL/9-E 2002)	11
Şekil 2.4 DFS algoritması (ITU-R Document 8B/110-E 2001).....	24
Şekil 3.1 Bölge sınırlar ve TES uç birimleri için dağılım örneği.....	26
Şekil 3.2 Anten kazanç dağılımı	27
Şekil 3.3 TES' in konumu ile radar ana demet doğrultusu arasındaki açı	30
Şekil 3.4 TES ile radar antenleri arasındaki yükselme açısı	31
Şekil 3.5 Radarın şehir merkezine uzaklığı ile radara girişim olma olasılığı arasındaki ilişki	38
Şekil 4.1 C radarı için 10 m (metre) radar anten yüksekliğinde farklı ana demet anten kazançlarındaki eşik seviyeleri.....	41
Şekil 4.2 C radarı için 40 dBi ana demet anten kazancında farklı anten yüksekliklerindeki eşik seviyeleri	41
Şekil 4.3 C radarı için 48 dBi ana demet anten kazancında farklı anten yüksekliklerindeki eşik seviyeleri	42
Şekil 4.4 I radarı için 6-30 m radar anten yüksekliğinde farklı ana demet anten kazançlarındaki eşik seviyeleri	43
Şekil 4.5 I radarı için 40 dBi ana demet anten kazancında farklı anten yüksekliklerindeki eşik seviyeleri	43
Şekil 4.6 I radarı için 48 dBi ana demet anten kazancında farklı anten yüksekliklerindeki eşik seviyeleri	44
Şekil 4.7 K radarı için 20 m radar anten yüksekliğinde farklı ana demet anten kazançlarındaki eşik seviyeleri	45
Şekil 4.8 K radarı için 40 dBi ana demet anten kazancında farklı anten yüksekliklerindeki eşik seviyeleri	45
Şekil 4.9 K radarı için 48 dBi ana demet anten kazancında farklı anten yüksekliklerindeki eşik seviyeleri	46

Şekil 4.10 P radarı için 40 m radar anten yüksekliğinde farklı ana demet anten kazançlarındaki eşik seviyeleri	47
Şekil 4.11 P radarı için 40 dBi ana demet anten kazancında farklı anten yüksekliklerindeki eşik seviyeleri	47
Şekil 4.12 P radarı için 48 dBi ana demet anten kazancında farklı anten yüksekliklerindeki eşik seviyeleri	48
Şekil 4.13 I radarı için yüksek güçlü uçbirimlerin eşik değerlerinin sabit tutulması durumunda düşük güçlü uçbirimler için elde edilen eşik seviyeleri	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Genişbant RLAN uygulamalarının teknik parametreleri (ITU-R Document 8/BL/9-E 2002).....	14
Çizelge 2.2 Radarlar ve her birine tahsis edilen frekanslar.....	15
Çizelge 3.1 Açık tanımlamaları.....	28
Çizelge 3.2 Çok yüksek kazançlı antenler ($G \geq 48$ dBi) için eşitlikler	28
Çizelge 3.3 Yüksek kazançlı antenler ($22 \leq G < 48$ dBi) için eşitlikler	29
Çizelge 3.4 Orta kazançlı antenler ($10 \leq G < 22$ dBi) için eşitlikler	29
Çizelge 3.5 TES yükselme açısı anten modeli	31
Çizelge 3.6 Benzetimlerde kullanılan radarların özellikleri	39
Çizelge 4.1 Radarların kendi karakteristiklerinde elde edilen eşik seviyeleri	40
Çizelge 4.2 C radarı için değişik ana demet anten kazançları ve yüksekliklerindeki eşik seviyeleri.....	42
Çizelge 4.3 I radarı için değişik ana demet anten kazançları ve yüksekliklerindeki eşik seviyeleri.....	44
Çizelge 4.4 K radarı için değişik ana demet anten kazançları ve yüksekliklerindeki eşik seviyeleri.....	46
Çizelge 4.5 P radarı için değişik ana demet anten kazanç ve yüksekliklerindeki eşik seviyeleri.....	48
Çizelge 4.6 I radarı için yüksek güçlü uçbirimlerin eşik değerlerinin sabit tutulması durumunda düşük güçlü uçbirimler için elde edilen eşik seviyeleri	50
Çizelge 4.7 Radarların kendi karakteristiklerinde elde edilen fazlı eşik seviyeleri	51

1. GİRİŞ

Günümüzde iletişimin sınırları giderek genişlemektedir. Çok çeşitli ses, görüntü ve veri haberleşmesi için ihtiyaç duyulan bant genişliği sürekli bir artış eğilimindedir. Kullanıcılar artık yüksek hızlı veri iletimi, isteğe bağlı video, video konferans vb. gibi iletişim ihtiyaçlarını bir yere bağlı kalmaksızın karşılamak istemektedirler. Yakın gelecekte bu ihtiyaçları karşılamak için kablosuz iletişim sistemleri günlük yaşamın ayrılmaz bir parçası olacaktır. Ses, görüntü ve veri iletişimi için ihtiyaç duyulan bant genişliklerinin artması ile birlikte, sınırlı olan izge kaynaklarının verimli kullanımı ön plana çıkmaktadır. Yeni düzenlemeler izge kaynaklarının sınırlı kalması nedeni ile geliştirilecek yeni teknolojilerin daha önceden tahsis edilen frekanslarda, bu frekansların birincil kullanıcıları ile birlikte çalışmasını önermektedir. Bu durumda aynı frekansta çalışacak bu sistemlerin birbiri üzerinde oluşturacağı girişimin hesaplanması ve sistemlerin birbirlerini ne ölçüde etkileyeceğinin analiz edilmesi gerekli olacaktır.

Aynı bantlarda çalışan kablosuz iletişim sistemlerinin birbirleri üzerinde oluşturacağı girişim, bu servislerin kalitesini etkileyen önemli faktörlerdendir. Geliştirilecek yeni teknoloji ve sistemlerin, yerleşmiş sistemlerin servis kalitesini nasıl etkileyeceğinin analizi bu açıdan önem kazanmaktadır.

Birincil kullanıcı olarak, 5250-5350 MHz frekans aralığında telsiz ile konum belirleme radarları ile dünya keşif uydu servis (Earth Exploration Satellite Service, EESS) radarları, 5350-5460 MHz frekans aralığında hava telsiz yöngüdü radarları, 5460-5470 MHz frekans aralığında telsizle yöngüdü radarları, 5460-5570 MHz frekans aralığında uzay araştırma servis ile EESS radarları, 5470-5650 MHz frekans aralığında deniz telsiz yöngüdü radarları, 5600-5650 MHz frekans aralığında yer platformlu meteoroloji radarları, 5650-5850 MHz frekans aralığında telsizle konum belirleme radarları, ikincil kullanıcı olarak, 5350-5650 MHz frekans aralığında telsizle konum belirleme radarları kullanılmaktadır (ITU-R Document 8A-9B/127-E 2002).

5 GHz bandı Uluslararası Telekomünikasyon Birliği Telsiz ile İletişim Bürosu (International Telecommunication Union Radiocommunication Bureau, ITU-R) tarafından öncelikli olarak radarların kullanımına tahsis edilmiştir. Bu bantta çalışan radarlar nesnelere izlenmesi (uzay mekiği ve hava roketleri), ulusal savunma uygulamaları ve kara haritalaması gibi önemli işlevler de gerçekleştirirler. Bu yüzden, 5150-5350 MHz ve 5470-5725 MHz frekanslarını paylaşımlı olarak kullanması önerilen telsiz erişim sistemlerinin (TES) bu bantta çalışan radarlara zararlı bir girişim oluşturmaması gerekir (Brandão, Sydor ve Brett 2005). ITU, TES'lerin, çalıştıkları 2400-2483 MHz frekans aralığına göre daha geniş banda sahip olması ve daha yüksek hızlı iletişim uygulamalarına imkan sağlamasından dolayı, ikincil kullanıcı olarak 5 GHz bandında radarlarla birlikte bulunmasını önermiştir. TES'lerin, Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD), 5150-5350 MHz ve 5725-5825 MHz frekans bandında, Avrupa'da ise 5150-5350 MHz ve 5470-5725 MHz frekans bandında yüksek performanslı telsiz yerel alan ağı (High Performance Radio Local Area Network, HIPERLAN) denen kısa mesafe aygıtları olarak kullanılması düşünülmüştür. TES'lerin, bu bantta radarlarla birlikte çalışabilmesi, girişimi azaltma yöntemleri olmadan olanaksızdır (ITU-R Document 8B/179-E 2001, ITU-R Document 8B/245-E 2002). Telsiz erişim sistemlerinin bandın birincil kullanıcısı olan radarlara zararlı girişim oluşturmadan birlikte bulunabilmesi için dinamik frekans seçimi (Dynamic Frequency Selection, DFS) yaklaşımı önerilmektedir. Bu yaklaşımda, TES uç biriminin, çalıştığı frekansta radar sinyali algılaması durumunda kanalı boşaltması ve başka bir frekansa geçmesi gerekmektedir.

Radar sinyalinin algılanmasında seçilecek eşik seviyesi önemli bir parametredir. Eğer eşik seviyesi yüksek seçilirse radarın çalıştığı frekansta çok sayıda TES uç birimi aktif olacağından radara zararlı bir girişim olabilecektir. Eşik seviyesinin düşük tespit edilmesi durumunda ise, TES uç birimlerinin radara zararlı girişim oluşturması söz konusu olmadığı halde uç birimlerin frekansı terk etmesi ve izgenin verimsiz kullanımı söz konusu olacaktır.

Bu çalışmada, 5 GHz bandını radarlarla paylaşımlı olarak kullanımı önerilen lisanssız TES'lerin bandın birincil kullanıcıları üzerinde oluşturması muhtemel girişim ele

alınmıştır. Dinamik frekans seçimi için gerekli radar algılama eşik değerlerinin tespitine yönelik benzetim çalışmaları yapılmış, farklı tip radarlar için çeşitli anten kazanç ve yüksekliklerinde, tüm bileşenlerin aynı fazda (en kötümser durum) ve tüm bileşenlerin farklı fazda olması durumunda elde edilen eşik değerleri ile yüksek güçlü TES uçbirimlerinin eşiklerinin sabit tutulması halinde düşük güçlü uçbirimler için bulunan eşik değerleri sunulmuştur.

2. Bölümde, Kuramsal Temeller başlığı altında, genel bir telsiz erişim sistemi tanıtılmış, bir çeşit TES sistemi olan genişbant telsiz yerel alan ağlarının (Radio Local Area Network, RLAN) genel özellikleri verilmiş, bu ağlarda kullanılan modülasyon tekniklerinin özellikleri açıklanmış, 5 GHz bandında halen çalışan veya çalışması önerilen TES teknolojileri tanıtılmış ve teknik özellikleri verilmiştir. 5 GHz bandında kullanılan radar çeşitleri teknik özellikleri ve işlevsel karakteristikleri ile birlikte açıklanmıştır. DFS metodu tanıtılmış, bu metodun kullanım amaçları belirtilmiş, kullanılması ile ilgili terimler ve çalışma prensibi açıklanmıştır.

3. Bölümde, Materyal ve Yöntem başlığı altında, benzetimlerde kullanılan TES uç birimlerinin karakteristikleri ve konuşlandırma modeli, radarın TES uç birimleri ve TES uç birimlerinin radar üzerinde oluşturduğu girişimin hesaplanmasında kullanılan parametreler, bu girişimin hesaplanma yöntemi ve benzetimlerin gerçekleştirilmesinde izlenen yöntem açıklanmıştır.

4. Bölümde, Araştırma Bulguları başlığı altında, benzetim çalışmaları sonucunda her bir farklı radar tipi için, radarların kendi karakteristiklerinde fazlı ve fazsız olarak, ayrıca değişik anten yüksekliği ve ana demet anten kazançlarında fazsız olarak (en kötümser durum) ve tek bir radar için yüksek güçlü uçbirimlerin güçleri sabit tutularak değişik senaryolarda düşük güçlü uçbirimler için elde edilen eşik seviyeleri tablolar halinde sunulmuştur.

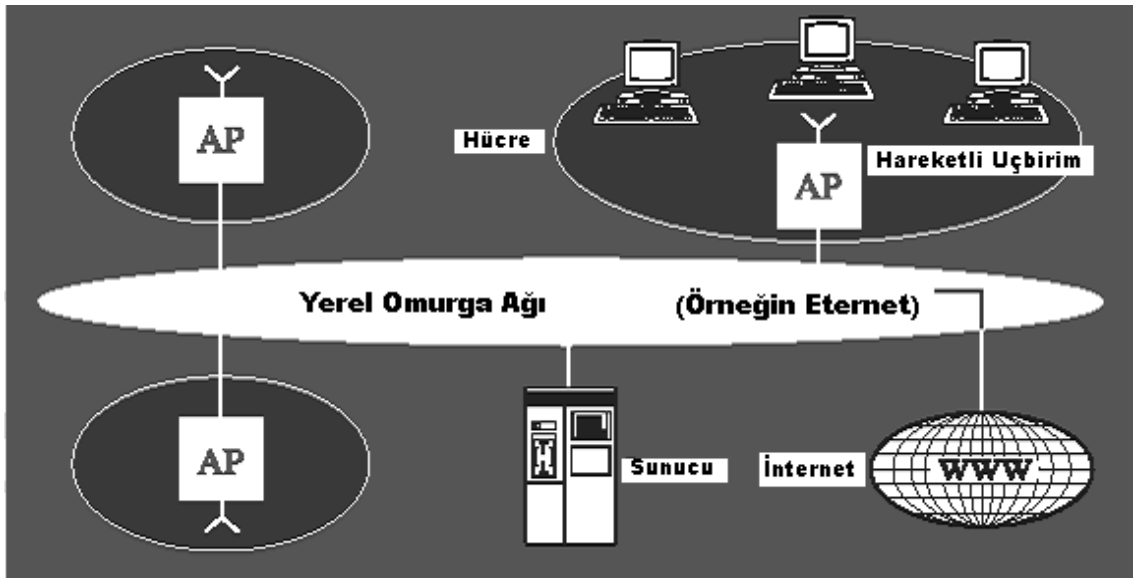
5. Bölümde, Tartışma ve Sonuç başlığı altında, yapılan benzetimler sonucunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Telsiz Erişim Sistemleri ve Özellikleri

2.1.1 Telsiz erişim sistemleri

Telsiz erişim sistemleri, açık veya kapalı alanda, sabit veya hareketli uçbirimler arasında, çeşitli ağ ve yüksek hızlı internet uygulamalarına öncülük eden RLAN' ları içeren, geniş bantlı iletişim olanağı sağlayan bir sınıf aygıtlardır. Şekil 2.1'de, bir telsiz erişim sisteminin bileşenleri görülmektedir.



Şekil 2.1 Telsiz erişim sistemi bileşenleri (<http://www.ntia.doc.gov/osmhome/newsletr/spring03/5GHz.html>)

Erişim Noktası (Access Point, AP) : Bir alanı (hücreyi) kapsar. Uygun paylaşım koşullarını sağlamak için işlevler hücre düzeyinde gerçekleştirilir. Erişim noktasının etkin izotropik yayınım gücü (Effective Isotropik Radiated Power, e.i.r.p.), hareketli uçbirimin yerleşimine göre dinamik olarak değişebilir.

Omurga Ağı (Backbone Network, BN) : Telsiz erişim sistem bileşenlerini bir araya bağlayan ve internete bağlantıyı sağlayan ağıdır.

Hareketli Uçbirim (Mobile Terminal, MT) : Çoğunlukla 50 mW'tan aşağı güçte çalışan bir telsiz ağ kartı veya gömülü (embedded) telsiz ağ çipi gibi bir kullanıcı aygıtıdır (<http://www.ntia.doc.gov/osmhome/newsletr/spring03/5GHz.html>, 2003).

2.1.2 Genişbant RLAN' ların özellikleri

Genişbant telsiz yerel alan ağları, tipik olarak evlerde, okullarda, otellerde, hastanelerde, konferans merkezlerinde, hava alanlarında, alışveriş merkezlerinde sunulan kamusal ve özel telsiz erişimleri içerir. Ofis ortamları ile kapalı alanlarda genellikle düşük e.i.r.p. seviyeleri ve daha az çapta küçük radyo hücreleri, açık alanda ise daha yüksek e.i.r.p. seviyeleri ve daha büyük çaplı hücreler kullanılır. Dizüstü bilgisayarların (notebook computer) hızları ve elde taşınan hesaplama aygıtları sürekli bir artış halindedir. Bu aygıtların çoğu, kablolu ağlarda kullanıcılar arasında etkileşimli iletişim sağlarlar; fakat bağlandıklarında taşınabilirliklerini kaybederler. Çokluortam (Multimedia) uygulamaları ve servisleri sadece kablolu uçbirimler için değil taşınabilir ve kişisel iletişim araçları için de genişbant iletişim gerektirir. IEEE 802.3ab (1000 BASE-T) gibi kablolu yerel alan ağ standartları, yüksek hızlarda çokluortam uygulamaları iletebilirler. Uygun frekans aralıkları belirlendiğinde bu standartlarda yapılmakta olan işlevler kablosuz olarak gerçekleştirilebilecektir. Taşınabilirliği sağlamak için, gelecekteki kablosuz LAN' lar, daha yüksek veri hızlarına gereksinim duyacaklardır.

Genişbant RLAN standartları, IEEE 802.3, 10 BASE-T, 100 BASE-T ve 51.2 Mbps eşzamansız aktarım kipi (Asynchronous Transfer Mode, ATM) gibi kablolu yerel alan ağları ile uyumludur. Kullanılan bant genişliğinin artması, genişbant RLAN' ların daha etkin bir şekilde kullanılmasını ve audio/video akımları (stream) gibi uygulamaların yüksek servis kalitesi (Quality of Service, QoS) ile desteklenmesini sağlayacaktır.

Kablosuz genişbant RLAN' ların, kablolu LAN'ların desteklemediği, bir özelliği taşınabilirliktir. Yeni dizüstü ve avuçiçi bilgisayarları taşınabilir ve etkileşimli servisler sağlamak üzere bir kablolu LAN'a bağlanabilirler. Bununla birlikte, kablolu LAN'a bağlandıklarında, taşınabilirlik özelliklerini kaybederler.

Kablosuz genişbant RLAN'ların özellikleri aşağıda açıklanmıştır:

- **Hareketlilik :**

Genişbant RLAN'lar, bir yerden başka bir yere taşınan masaüstü bilgisayarı olabilecekleri gibi, pille çalışan avuçiçi veya dizüstü bilgisayarlar gibi taşınabilir de olabilirler.

- **İşlevsel çevre ve arayüz :**

Genişbant RLAN'lar genel olarak bina içinde, ofislerde, fabrikalarda ve ambarlarda konuşlanmışlardır. Bina içinde konuşlanan RLAN'larda yayılım, duvarlardan dolayı zayıflayacaktır.

Bina içi uygulamalarında, mesafelerin kısa olmasından dolayı, düşük güç düzeyleri kullanılır. Daha büyük ağlar gerektiğinde, RLAN'lar toplam güç tayf yoğunluğunu arttırmadan, köprü veya yönlendirici fonksiyonları yoluyla mantıksal olarak birbirlerine bağlanabilirler.

RLAN'ların özelliklerinden önemli bir tanesi, hareketli bilgisayar kullanıcılarının kendi LAN'larına kablosuz bağlanabilmeleridir. Diğer bir deyişle, hareketli bir kullanıcı, bir RLAN servis alanında herhangi bir yerde kendi LAN alt ağına bağlanabilir.

Veri iletişimi için bazı standartlar, radyo frekans (Radio Frequency, RF) bağlantı kalitesine göre iletilen gücü başlangıç aşamasından itibaren kontrol etmek için daha yüksek güç tayf yoğunluğu kullanırlar. Bu teknik iletim güç kontrolü (Transmit Power Kontrol, TPC) olarak bilinir. Genel olarak, ortalama güç tayf yoğunluğu, tepe değerden oldukça aşağıda olacaktır. Aktivasyon oranı, kullanılan uygulamaya ve RLAN'ın gün içindeki çalışma periyoduna bağlı olarak değişecektir.

Genişbant RLAN aygıtları yüksek yoğunluk konfigürasyonlarında konuşlanmışlardır ve aygıtlar arasında tayf paylaşımını sağlamak için konuşmadan önce dinle (listen before talk), DFS veya TPC gibi metotlar kullanırlar.

- **Sistem mimarisi :**

Genişbant RLAN'lar hemen hemen tek noktadan çok noktaya yapısındadırlar. Tek noktadan çok noktaya uygulamalar genellikle, her yöne yayın yapan (omnidirectional) ve aşağı bakan (down looking) antenler kullanırlar. Çoklu nokta mimarisi iki sistem konfigürasyonu içerir:

- Tek noktadan çok noktaya merkezi sistem (birçok aygıtın RF arayüzüyle merkezi bir aygıtı veya erişim noktasına bağlandığı durum)
- Tek noktadan çok noktaya merkezi olmayan sistem (birçok aygıtın küçük bir alanda özel biçimde haberleşmesi gibi)
- RLAN teknolojisi, bazen kampus çevresindeki binalar arasında sabit noktadan noktaya bağlantılar gerçekleştirmek için kullanılabilir. Noktadan noktaya sistemler genellikle yakın lob açılı, birbirine uzak aygıtların haberleşmesini sağlayan yönlü (directional) antenler kullanırlar. Bu da, diğer uygulamalarla minimum girişime sebep olarak tekrar kanal kullanımı yoluyla bant paylaşımı sağlar.

- **Tekrar tayf kullanımı :**

RLAN'lar lisanssız veya serbest lisanslı tayfta çalışmak için tasarlanmışlardır ve kullanıcılara yüksek servis kalitesi sağlarken, bu tayfta düzensiz ağlarla birlikte çalışabilmelidirler. 5 GHz bandında, birincil servisler ile paylaşım mümkün olmalıdır. Çoklu erişim teknikleri, bir çok düğüm (nod) tarafından kullanılmak üzere tek bir frekans kullanırken, yüksek servis kalitesinde birçok kullanıcıyı desteklemek, yeterli kanal sayısının var olmasını gerektirir. Bu şekilde yayın kaynağına erişim, kuyruklama (queuing) vb. gibi nedenlerle sınırlanmamalıdır. Yayın kaynağının esnek kullanılmasını sağlayan bir teknik DFS'tir.

DFS'te, bütün yayın kaynakları bütün RLAN düğümlerinde uygun durumdadır. Bir düğüm (genellikle bir kontrol düğümü veya erişim noktası) geçici olmak üzere bir kanal tahsis eder. Girişim algılandığında veya belirli kalite kriterine göre (örneğin alınan sinyal gücü) uygun başka bir kanal seçilir. Uygun kalite kriterini sağlamak için, hem mobil terminaller hem de erişim noktası belirli aralıklarla ölçümler yapar ve bunları seçimi yapan ağıta bildirir.

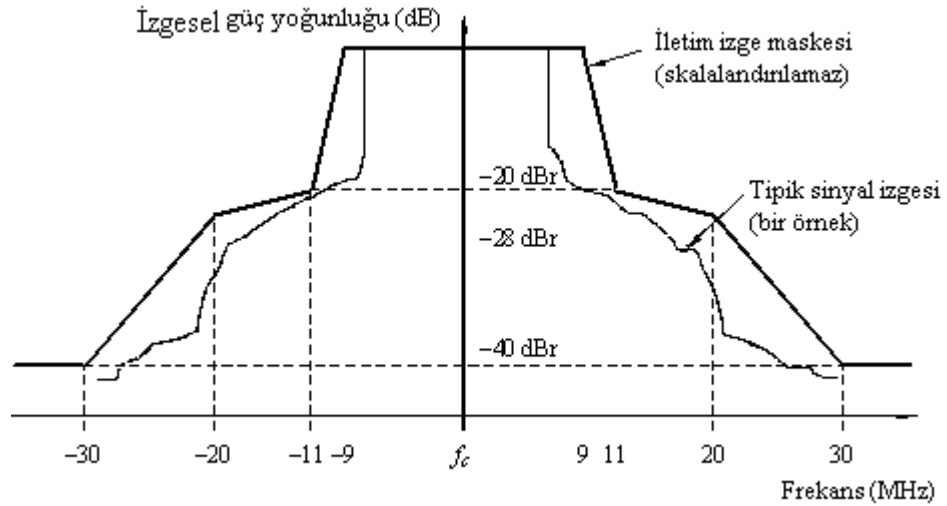
DFS, bütün elverişli frekans kanallarının eşit olasılıkla kullanılmasını sağlamak için gerçekleştirilebilir. Bu, ilettime hazır olduğu zaman kanalın düğüme elverişliliğini artırır. Birçok kullanıcı olduğu zaman, RF enerjinin bütün kanallara birbiriyle dağınılığını sağlar ve bu etken, toplam girişime duyarlı olabilen diğer servislerle paylaşımı herhangi bir kanalda mümkün kılar; uydu alıcıları gibi.

TPC, gereksiz aygıt güç tüketimini azaltmak için tasarlanmıştır, ayrıca RLAN düğümlerinin girişim menzilini azaltarak, tekrar tayf kullanımını kolaylaştırır (ITU-R Document 8/BL/9-E 2002).

2.1.3 Genişbant RLAN' larda modülasyon teknikleri

İletim izge gücü, 18 MHz bant genişliğinde 0 dBr'ye sahiptir. 11 MHz frekans sapmasında -20 dBr, 20 MHz frekans sapmasında -28 dBr, -30 MHz frekans sapması ve daha yukarısında -40 dBr'ye sahiptir. İletilen sinyalin izgesel yoğunluğu, izgesel maskenin içine düşmelidir. Buna göre, iletim izge maskesi Şekil 2.2'de gösterilmiştir (Mutti *et al.* 2004).

dBr (dB relative) : Herhangi bir referans noktasına göre yapılan logaritmik karşılaştırma dır. Örneğın, Şekil 2.2'de RLAN sinyalinin emisyon gücü, aynı sinyalin 18 MHz bant genişliğindeki emisyon gücüne göre karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.2 İletim izge maskesi (Mutti *et al.* 2004)

Genişbant RLAN sistemleri, bir bilgisayarın 20 Mbit/s'den daha yüksek hızlarda ofis, fabrika ve SOHO (Small Office Home Office) gibi belirli bir alanda taşınmasını mümkün kılar. Bu alandaki önemli gelişmeler sonucu, bilgisayar kullanıcıları 10 Base-T Ethernet gibi kablolu LAN' ların hızına eşit bit oranlarında serbest dolaşım talep etmektedirler.

Genişbant RLAN standartlarında kullanılan modülasyon tekniklerinin özellikleri aşağıda açıklamıştır:

- **Fiziksel katman :**

Genişbant radyo kanalı, zaman bölgesinde simgelerarası karışmaya (Intersymbol Interference, ISI) ve frekans bölgesinde derin çentiklere sebep olan frekans seçici olarak bilinir. Frekans seçici sönümlenen kanaldaki telsiz erişim sisteminde yüksek bit oranlarını gerçekleştirmek için kullanılan bir metot, sembol periyodunu azaltmaktır. 2. bir yol, çok-katlı modülasyon teknikleriyle bant genişliğini etkin bir şekilde kullanmaktır. 3. bir yol ise, çok-taşıyıcılı modülasyon kullanmaktır. Çok-yollu ortamlarda 1. ve 2. çözümlerin çok ciddi dezavantajları vardır. 1. çözümdede, sembol periyodu azaldığında, ISI ciddi bir problem haline gelmekte ve denkleştirme teknikleri gerekmektedir. 2. çözümdede, sinyal uzayında sembol uzaklığını azaltır ve böylece ısıl gürültü ve girişim için sınır azalır. Böylece, yüksek bit hızlı telsiz erişim sistemi için kabul edilemez performans düşüşüne sebep olur. 3. çözümdede, çok-yollu yayınımdan doğan ISI' yı dengelemek için sembol periyodunu arttırır. 1. ve 3. yöntemler aşağıda açıklanmışlardır:

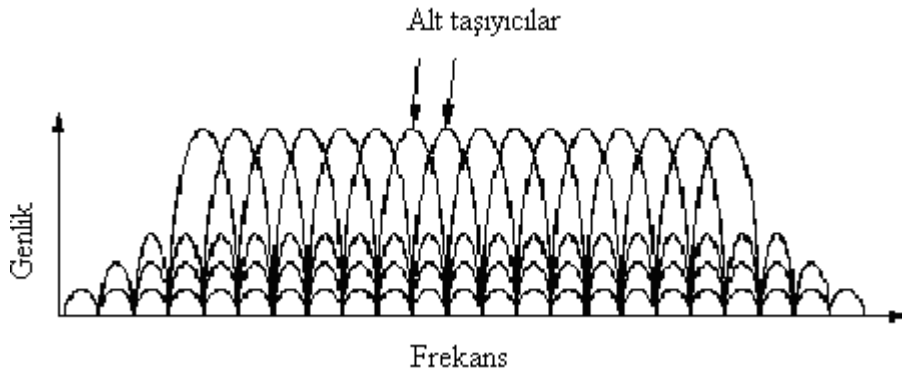
- **Denkleştirici ile tek taşıyıcı :**

Telsiz iletişiminde iletim, radyo kanalının zamanla değişen çok-yollu yayınımdan karakteristiklerinden etkilenir. Bu zamanla değişen karakteristikleri dengelemek için uyarlanırdan kanal denkleştirme kullanılmak gerekir. Uyarlanırdan kanal denkleştiriciler, en küçük ortalama kare (Least Mean Square, LMS) denkleştirici ve özyineli en küçük kare (Recursive Least Square, RLS) denkleştirici olmak üzere 2 ana gruba ayrılır. LMS algoritması, basitliğinden ve kararlılığından dolayı en çok kullanılan denkleştirici algoritmasıdır. Ana dezavantajı ise, diğer algoritmaya göre daha yavaş yakınsamasıdır. LMS, 100-1000 arası bir sembolde yakınsar. Daha hızlı denkleştirme algoritması RLS'dir. RLS'nin farklı karmaşıklık ve yakınsama kriterlerinde çeşitli versiyonları vardır. RLS'nin uygulanması LMS'ye göre daha zordur fakat LMS algoritmasına göre

daha az sembolde yakınsar. Hücresel sistemlerde, RLS ve LMS üzerinde birçok araştırma yapılmasına rağmen, bu algoritmalar yüksek bit hızlı telsiz erişim uygulamaları için karmaşıklık, kararlılık ve hızlı yakınsama gibi kriterlerden dolayı hala birer araştırma konusudurlar.

- **Çok taşıyıcılı dikgen frekans bölüşümlü çoğullama (Orthogonal frequency division multiplex, OFDM)**

Çok taşıyıcılı iletim yöntemi ile, anma frekans bandı her biri ikili evre kaydırmalı anahtarlama (Binary Phase Shift Keying, BPSK), dördün evre kaydırmalı anahtarlama (Quadrature Phase Shift Keying, QPSK), dördün genlik kiplenimi (Quadrature Amplitude Modulation, QAM) ... vb. ile modüle edilmiş, uygun sayıda alt taşıyıcılara bölünür. Genelde, çok taşıyıcılı bir sistemi boyutlandırırken, maksimum yol gecikmesi sembol zamanından daha kısadır. OFDM modülasyon yöntemi, çok taşıyıcılı modülasyon yöntemlerinin en etkinlerinden biridir. Bu modülasyonun güç tayfı Şekil 2.3'te verilmiştir. Hızlı ve güç tasarrufu sağlayan büyük çapta tümleşik devrelerin (Large Scale Integrated Circuit, LSIC) ve etkin algoritmaların geliştirilmesi ile birlikte sinyal işlemede Hızlı Fourier Dönüşümünün (Fast Fourier Transform, FFT) kullanımı bedel-etkin OFDM yöntemlerinin gerçekleştirimini mümkün kılar. Bu yöntemin avantajları, bant genişliğinin etkin kullanımı ve alınan sinyalin denkleştirilmesi için az işlem gücü gerektirmesidir.



Şekil 2.3 OFDM Tayfı (ITU-R Document 8/BL/9-E 2002)

OFDM ile gerçekleştirilen çok-taşıyıcı iletim modeli, toplamsal beyaz Gaus gürültüsüne benzer zarf dalgalanmalarına sebep olur ve girişim ortamındaki etkisi ihmal edilebilir (ITU-R Document 8/BL/9-E 2002).

2.1.4 5 GHz TES teknolojileri

5 GHz bandında kullanılan 4 TES teknolojisi vardır: En popüler olanı, Amerika'da 5150 - 5350 MHz ve 5725 - 5825 MHz bant aralıklarında çalışan IEEE 802.11a RLAN teknolojisidir. HIPERLAN/2 ve yüksek performanslı telsiz anakent alan ağı (High Performans Radio Metropolitan Area Network, HIPERMAN) 5150 - 5350 MHz ve 5470 - 5725 MHz bant aralıklarında Avrupa'da çalışan standartlardır. 4. TES sistemi, açık alanda, görüş çizgisi olmayan (Non-Line of Sight, NLOS) ortamlarda çalışması için tasarlanmış IEEE 802.16a standardıdır. IEEE 802.16a'nın lisans gerektirmeyen kısmı 5150 - 5725 MHz frekans bant eriminde çalışmaktadır.

Bu standartların benzer teknik gereksinimleri vardır ve bu standartları yapılandıran cihazların, taşınabilir bilgisayar iletişim uygulamalarını gerçekleştirmesi hedeflenir. Tüm bu standartlar çift yönlü zaman bölüşümü (Time Division Duplex, TDD) ve BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM modüleli tayfların OFDM tekniklerini kullanırlar. Kanal bant genişlikleri 5, 10 ve 20 MHz arasında değişebilir ve iletim bit oranları 6 MHz'den 75 Mbps'ye kadar değişebilir (Steinke *et al.* 2004, ITU-R Document 8A-9B/109-E 2002).

OFDM eşzamanlılığı ve sinyal güç ölçümü, TDD işlevinin bir parçası olarak patlama tabanlı (burst-by-burst) yapılır. Patlama trafiğini oluşturan her bir veri paketi, alınan sinyal düzeyini ayarlamak için kullanılan ve patlama trafiğini alan demodülatörün eşzamanlamasına katkıda bulunan temel verinin spesifik bir kısmını içerir. Bu kısım başlık olarak adlandırılır. IEEE 802.11a ve IEEE 802.16a standartlarında bu işlemler birinci OFDM sembolü içinde gerçekleştirilir. Tipik uygulama senaryolarında, sinyallerin güç düzeylerinin geniş bir aralıkta (-85 dBm'den -10 dBm'ye kadar 70 dB) dinamik olarak değiştiği göz önüne alındığında, TES uçbirimlerinin RF alıcı ön yüzleri,

en uygun (optimal) demodülasyon yapmak üzere alınan sinyal düzeyini çabucak ayarlamak için tasarlanmış bir veya iki otomatik kazanç kontrolü (Automatic Gain Control, AGC) halkaları ile donatılır (ITU-R Document 8A-9B/109-E 2002).

Genişbant RLAN uygulamalarının teknik özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir:

Çizelge 2.1 Genişbant RLAN uygulamalarının teknik parametreleri (ITU-R Document 8/BL/9-E 2002)

RLAN standardı	IEEE 802.11a	ETSI BRAN HIPERLAN tip 1 ETS 300-652 ⁽¹⁾	ETSI BRAN HIPERLAN tip 2	IEEE 802.16a
Erişim metodu	CSMA/CA	TDMA/EY-NPMA	TDMA/TDD	TDMA/TDD TDMA/FDD
Modülasyon	64-QAM-OFDM 16-QAM-OFDM QPSK-OFDM BPSK-OFDM 52 alt taşıyıcı	GMSK/FSK	64-QAM-OFDM 16-QAM-OFDM QPSK-OFDM BPSK-OFDM 52 alt taşıyıcı	256-QAM-OFDM 64-QAM-OFDM 16-QAM-OFDM QPSK-OFDM 256 alt taşıyıcı
Veri hızı	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 ve 54 Mbit/s	23 Mbit/s (HBR) 1.4 Mbit/s (LBR)	6, 9, 12, 18, 27, 36, 48 ve 54 Mbit/s	75 Mbit/s
Frekans bandı	5150 - 5250 MHz 5725 - 5825 MHz 5250 - 5350 MHz	5150 - 5350 MHz 5470 - 5725 MHz	5150 - 5350 MHz 5470 - 5725 MHz	5150 - 5250 MHz 5250 - 5350 MHz 5725 - 5825 MHz
Kanallaşma	20 MHz kanal aralığı (8+4) kanal	23.5294 MHz (HBR) 1.4 MHz (LBR)	20 MHz kanal aralığı 2 bantta 19 kanal	Frekans bandına göre 1.5-20 MHz kanal aralığı
En çok Tx Gücü	5150 - 5250 MHz 10 mW/MHz 20 MHz' lik kanallarda 200 mW e.i.r.p. 5 250-5 350 MHz 1 W e.i.r.p. 5 725-5 825 MHz 4 W e.i.r.p.	5150 - 5350 MHz Sadece kapalı alanda kullanım için en çok 200 mW e.i.r.p. 5470 - 5725 MHz 1 W e.i.r.p.	5150 - 5350 MHz Sadece kapalı alanda kullanım için en çok 200 mW e.i.r.p. 5470 - 5725 MHz 1 W e.i.r.p.	Frekans bandına göre değişir.
Paylaşım koşulları	- OFDM düşük güç tayf yoğunluğu sağlar. - CSMA/CA "konuşmadan önce dinle" erişim etiketini kullanır. - IEEE 802.11h, DCS ve TPC' yi standartlaştırır.	- 5150-5250 MHz frekans bandında e.i.r.p. yoğunluk sınırı, ITU-R M.1454 ⁽²⁾ Tavsiyesine bağlıdır. - 5250-5350 MHz ile 5470-5725 MHz band aralıklarında dinamik frekans seçimi ve iletim güç kontrolü yöntemleri gereklidir.	- OFDM düşük güç tayf yoğunluğu sağlar. - Dinamik frekans seçimi ve iletim güç kontrolü yöntemleri gereklidir.	
En az alıcı duyarlılığı	6 Mbit/s: - 82 dBm 54 Mbit/s: - 65 dBm 1000 bayt PDU başına % 10		6 Mbit/s: - 85 dBm 54 Mbit/s: - 68 dBm 54 bayt PDU başına % 10	

¹ ETS 300-652, kablosuz LAN' larda servis kalitesi, DCA (Dynamic Channel Assignment) ve FCA (Fixed Channel Assignment) altındaki HIPERLAN sistem performansı, IEEE 802.11 DCF erişim metodu için bir öncelik yöntemi, genişbant kablosuz ağlar için rasgele erişim, HIPERLAN kanal tahsis stratejileri gibi konuları açıklayan ETSI' nin bir standardıdır.

² ITU-R M.1454 Tavsiyesi, 5150-5250 MHz frekans bandında hareketli uydu servisindeki yerdurağan olmayan sistemlerin besleyici bağlantılarının korunması için RLAN' lar veya diğer kablosuz erişim vericileri için EIRP yoğunluk sınırlaması ve işlevsel kısıtlamaları açıklar.

2.2 5 GHz' de Kullanılan Radarlar ve Özellikleri

5250 MHz ile 5850 MHz arası bant genişliği birincil kullanıcı olarak, hava telsiz yöngüdüm servis (Aeronautical Radionavigation Service, ARNS) radarları ile telsizle konum belirleme servislerinde kullanılan radarlara ayrılmıştır. Bu bantta genel olarak hangi radarların çalıştığı Çizelge 2.2'de verilmiştir. Meteorolojik amaçlarla kullanılan yer radarları, 5600-5650 MHz frekans aralığında deniz telsiz yöngüdüm radarları ile birlikte birincil derecede kullanılırlar.

Çizelge 2.2 Radarlar ve her birine tahsis edilen frekanslar

Band (MHz)	Allocation
5 250-5 255	Telsiz ile konum belirleme
5 255-5 350	Telsiz ile konum belirleme
5 350-5 460	Hava telsiz yöngüdümü
5 460-5 470	Telsiz ile yöngüdüm
5 470-5 650	Deniz telsiz yöngüdümü
5 650-5 725	Telsiz ile konum belirleme
5 725-5 850	Telsiz ile konum belirleme

Telsizle konum belirleme radarları aşağıdaki işlevleri yerine getirirler:

- Geliştirilme ve işlevsel test aşamasındaki uzay gemisi araçlarının ve havacılıkla ilgili araçların izlenmesi;
- Deniz ve hava olaylarının gözetimi;
- Kasırga gibi hava olaylarının ve okyanus dalgalarının incelenmesi gibi çevresel ölçümler;
- Dünya görüntüleme;
- Ulusal savunma ve çok uluslu barışın sağlanması.

Hava telsiz yöngüdüm radarları, birincil olarak hava yolu ile meydana gelen aşınmaları önlemede ve rüzgar hızı ile yönünün yükseklik veya yatay uzaklıkla değişiminin algılanmasında kullanılırlar ve böylece bir güvenlik hizmeti gerçekleştirirler.

Meteoroloji radarları, kasırga, hortum, şiddetli yıldırım gibi şiddetli hava olaylarının algılanmasında kullanılır. Bu hava radarları ayrıca, olası sel baskınlarının hidrolojik tahmininde önemli olan nicel alan yağış ölçümleri de gerçekleştirirler. Bu veriler doğrultusunda toplumun bilinçlenmesi sağlanarak can güvenliği sağlanır.

2.2.1 Teknik özellikler

5250 MHz ve 5850 MHz bant aralığındaki radarlar, sabit yer tabanlı, deniz, hava ve taşınabilir platformlar gibi değişik platformlarda kullanılırlar.

Bu bant aralığında frekans hoplama tekniğini kullanan radarlar da vardır. Frekans hoplama tekniği, en yaygın elektronik savunma yöntemlerinden (Electronic-Counter-Counter-Measures, ECCM) birisidir. Düşmanca elektronik saldırı ortamlarında çalışması için tasarlanmış radarlar, ECCM tekniklerinden birisi olarak frekans hoplama tekniğini kullanırlar. Bu tip bir radar, kendisine ayrılan frekans bandını birçok kanala böler. Daha sonra iletim için tüm bu mevcut kanallardan birini rasgele seçer. Kanalın bu rasgele seçimi, aynı kanalda birçok vurumun iletildiği demet pozisyonu başına veya vurum başına olur. Radar sistemlerinin bu önemli yönü dikkate alınmalı ve paylaşım çalışmalarında frekans hoplama tekniğini kullanan radarların olası etkileri göz önünde bulundurulmalıdır.

2.2.2 İşlevsel karakteristikler

- **Meteoroloji radarları**

Hem hava yolu ile taşınan hem de yer platformunu kullanan meteoroloji radarları, 5250 MHz ile 5850 MHz frekans aralığında çalışırlar.

Yer platformlu hava radar sistemleri, önemli hava ve uçuş planlama etkinliklerinin algılanmasında kullanılır ve dünya çapında genellikle havalimanlarına yakın yerlerde konuşlanırlar. Dolayısıyla bu radarlar tüm gün boyunca çalışırlar.

Meteoroloji radarları nicel alan yağış ölçümlerinde kullanılırlar ve bir çok durumda ulusal veya bölgesel alanlarda benzer ölçümleri düzenleyen sistemlerle birlikte kullanılırlar. Doppler radar teknolojisini kullanan radar sistemleri ayrıca, türbülans ve rüzgar hızı ile yönünün yükseklik veya yatay uzaklıkla değişiminin algılanması gibi olaylar yanında kasırğa, hortum, şiddetli yıldırım gibi sert hava olaylarının varlığını ve hareketini işaret eden yağış hızını gözlemler. Her iki tipteki radardan elde edilen nicel ölçümler, hidrolojik, meteorolojik ve çevresel tahmin için tek ve kritik veri kaynağı olarak gerçek zamanlı kullanılır. Sayısal verilerin benzeşmesine rağmen, özellikle yıkıcı olayların olması durumunda, sel baskınları ile kirliliğin tahmini ve modellenmesi ile elde edilen veri, tahmin ve uyarıların doğruluk payını ve doğru zamanlamayı arttırır. Bu veri, örneğin şimşek riskini değerlendirmek için direk olarak kullanılabilir. Birçok uygulama, halkın can ve mal güvenliği ile askeri operasyonların güven ve gizliliği için kritik önem taşır.

Hava platformlu meteoroloji radarları, kasırğa araştırmalarında ve askeri keşif amaçlı kullanılırlar. Uçaklar, 1500 (457 m) fitten 20000 (6096 m) fit yüksekliğe kadar tekrar tekrar görüş duvarına nüfuz ederler. Kasırğa yoğunluğunu ve kıyıya yaklaşan gemicilerin karayı ilk görüşlerini tahmin eden bilgisayar modelleri için kritik verileri toplarlar. Diğer uçaklar, kasırğa gözünün konumunu belirlemek için daha yüksek ve

daha az türbülanslı yüksekliklerde (30000 – 45000 fit, 9144 – 13716 m) kasırgalara nüfuz ederler.

- **Hava telsiz yöngüdü radarları**

5350 – 5470 MHz frekans aralığında, ARNS’de çalışan radarlar, birincil olarak uçuş güvenliği için kullanılan hava platformlu sistemlerdir. Uçak 2400 fitin (732 m) altına indiğinde otomatik olarak çalışan rüzgar hızı ile yönünün yükseklik veya yatay uzaklıkla değişimini algılama radarları gibi uçuş boyunca sürekli çalışan hava algılama ve sakınma radarları da kullanımdadır. Her iki radar benzer karakteristiklere sahiptir ve genellikle uçağın uçuş yolu çevresini tarayan ileri bakan radarlardır. Bu sistemler, verilen bir yan açı ve yükselme açısı eriminde otomatik olarak taranırlar ve tipik olarak yükselme açısı bazında, yöngüdümsel karar verebilmek için değişik yükselme açısı dilimleri isteyen pilot tarafından el ile ayarlanabilirler.

- **Telsiz ile konum belirleme radarları**

5250-5850 MHz frekans aralığında telsizle konum belirleme servisinde çalışan değişik işlevler gerçekleştiren bir çok radar tipi vardır.

Test erim düzenleme radarları, uzay gemisi araçları ile gelişme ve test aşamasındaki hava araçları hakkında yüksek doğrulukta pozisyon verisi elde ederler. Bu radarlar, yüksek verici güçlerine ve çok yakın kalem demetli geniş aralıklı parabolik yansıtıcı antenlere göre sınıflandırılırlar. Bu radarların, ilgilenilen nesnede yüzey veya fener (beacon) taraması yapan otomatik izleme antenleri vardır (Radar işaret vericileri normalde 5400-5900 bandına ayarlanabilir, 50-200 W-tepe aralığında verici güçleri vardır ve alınan radar sinyalinin yeniden yayınları). Çalışma periyodu, test programına göre birkaç dakikadan 4-5 saate kadar sürebilir. Çalışmalar, ayarlanan zamana göre günde 24 saatte bir, haftada 7 günde bir yönetilir.

Gemi güvertesinde konuşlanan deniz ve hava gözetim radarları, gemileri korumak için kullanılır ve hem gemi limana yaklaşırken ve limandan ayrılırken hem de seyahat halindeyken sürekli çalışırlar. Bu gözetim radarları genellikle, kısmen yüksek verici güçleri ve yükselme açısında elektronik olarak, yan açıda ise mekanik olarak tam 360 derece tarama yapabilen antenler kullanırlar. Çalışma şekli, birçok geminin bu radarları bir coğrafik alanda aynı anda çalıştırması gibi olabilir.

5250-5850 MHz frekans bandında özel amaçlı radarlar da çalışır. Q radarı, kara haritalanması ve görüntülenmesi, karasal ve çevresel kullanım amaçlı ve ilgili diğer araştırma aktivitelerinde kullanılan bir yapay açıklık radarıdır (Synthetic Aperture Radar, SAR). Çeşitli yüksekliklerde ve belirli ölçümlere bağlı olarak birkaç saate varan periyotlar boyunca, değişik aşağı bakan açılarla sürekli olarak çalışır (Recommendation ITU-R M.1638 2003).

- **Deniz telsiz yöngüdü radarları**

Deniz telsiz yöngüdü radarları, ağırlıklı olarak Kuzey Amerika'da hem askeri hem sivil gemicilik amaçlı, Avrupa'da ise deniz yüzeyi ve hava araştırma gibi sınırlı askeri amaçlı kullanılırlar. Kuzey Amerika'da kullanımı coğrafi olarak, büyük limanlara, kıyısız alanlara ve olası bazı iç kısımlara varan su yollarına sınırlanmıştır. Avrupa'da ise, büyük liman çevrelerinde ve deniz kuvvetlerine ait alanlarda sınırlı olarak kullanılmaktadır (ITU-R Document 8A-9B/149-E 2002).

2.3 Dinamik Frekans Seçimi (Dynamic Frequency Selection, DFS)

RLAN'lar 5 GHz frekans bandında radarlarla birlikte çalışabilmelidirler. Bu bölümde, 5 GHz RLAN standartlarında girişimle mücadele tekniklerinden spesifik olarak belirlenmiş DFS yöntemi açıklanmıştır.

DFS tekniği, 5 GHz RLAN standartlarında başlangıçta düzensiz RLAN grupları arasında girişimi azaltmak ve yüksek kapasiteli yüksek bit oranlarında veri iletimi için en makul tayf verimi elde etmek üzere geliştirilmiştir.

5 GHz bandında çalışan radarlar ve TES'ler, birbirlerinin eriminde ve aynı frekansta çalıştıkları zaman girişime sebep olacaklardır. Bu girişimi önlemek için geliştirilen DFS metodu aşağıdaki amaçlarla düşünölmüştür:

- Sabit Uydu Servisi (Fixed Satellite Service, FSS) (besleyici bağlantıları) ve EESS (aktif) uydularına olan girişimle mücadele etmek için bir uydu görüş alanı altında RLAN' lara ayrılan tayfta yüklemesini yayabilmesini sağlamak;
- RLAN' ların özellikle radar sistemleri gibi diğer sistemlerle aynı kanalda çalışmasını önlemek.

DFS kullanımının burada tanımlandığı gibi yaygınlaştırılması, RLAN' ların telsizle belirleme servisleriyle olan girişimini engelleyecektir. Uygulanan genel prensip, RLAN' ların girişimi algılaması ve radar girişimini tanınması sonucu, radar tarafından kullanılan bu frekansları kullanmamasıdır. RLAN' larda DFS'in kullanımının asıl amacı, 5 GHz bandındaki radarları korumaktır (ITU-R Document 8A-9B/127-E 2002).

2.3.1 DFS için kullanılan terimler ve açıklamaları

Uygun kanal - Available Channel : "Yeniden Kanal Onaylama Periyodu" içinde "Kanal Uygunluk Testi" nin uygulandığı ve testin herhangi bir radarın varlığını algılamadığı bir radyo kanalüdür.

Kanal Uygunluk Testi - Channel Availability Check : RLAN' ın belirli bir radyo kanalını, çalışan bir radar olup olmadığını belirlemek için, dinlemesi boyunca yapılan testtir. Bu test, örneğin tek bir zaman periyodu boyunca sürekli veya örneğin birçok kısa zaman periyotları boyunca kesikli olabilir.

Yeniden Kanal Onaylama Periyodu - Channel Revalidation Period : Bir ‘‘Uygun Kanal’’ da ardışık ‘‘Kanal Uygunluk Testi’’ arasındaki maksimum zamandır.

Servis İçi Gözleme - In Service Monitoring : ‘‘Meşgul Kanal’’ ın, aynı kanala radarın girmediğini veya RLAN’ ın eriminde çalışmaya başlamadığını kontrol etmek için gözlemlenmesidir.

Algılanan Radar Sinyali - Received Radar Signal : Algılanan sinyalin şiddet eşiği, vuruş süresi ve vuruş tekrarlama oranı gibi parametreleri içeren sinyaldir.

Meşgul Kanal - Operating Channel : RLAN, bir ‘‘Uygun Kanal’’ da çalışmaya başladığı zaman bu kanal ‘‘Meşgul Kanal’’ haline gelir.

Kanalda Kalma Zamanı - Channel Vacation Time : RLAN’ ın ‘‘Meşgul Kanal’’ daki normal iletimini kesmesi için gereken zamandır. Bu ‘‘Kanalın İletimi Kapama Zamanı’’ ndan farklıdır.

Kanalın İletimi Kapama Zamanı - Channel Closing Transmission Time : ‘‘Meşgul Kanal’’ da bir radar sinyalinin algılanması ve kanalın normal iletimini kesmesinden hemen sonraki kontrol sinyalleşmesinin toplam zamanıdır.

Kanal Taşınma Zamanı - Channel Move Time : RLAN’ ın ‘‘Meşgul kanal’’ daki tüm iletişimini kesmesi için gereken zamandır.

2.3.2 DFS yordamı

- **Başlangıçta uygun bir kanal bulmak**

RLAN, iletme geçmeden önce ve henüz “Uygun Kanal” bulunamamışken, iletimde kullanılmadan önce bir radyo kanalında “Kanal Uygunluk Testi” ni gerçekleştirir. Sonuçta, bir ağ kurulduğu ve ağa ilk güç verildiğinde en az bir tane “Uygun Kanal” bulmak üzere “Kanal Uygunluk Testi” gerçekleştirilir. Uygun kanal bulunduktan sonra, RLAN bu kanalda iletişime başlar; diğer “Uygun Kanal” ları bulmak için diğer radyo kanallarının test edilmesi isteğe bağlıdır.

- **İletişimin başlaması**

RLAN, bir “Uygun Kanal” da iletişime başladıktan sonra bu kanal “Meşgul Kanal” haline gelir.

- **Meşgul kanalın gözlemlenmesi**

Servis gözlemlenme, RLAN’ ın erimine giren radar sinyallerinin aynı kanalda olma veya “Meşgul Kanal” da çalışma olasılığına karşı, “Meşgul Kanal” ı yeniden kontrol etmek için gerçekleştirilir.

- **“Uygun Kanal” ların gözlemlenmesi**

“Meşgul Kanal” olarak kullanılmayan bir “Uygun Kanal” ın, “Yeniden Kanal Onaylama Periyodu” içinde “Kanal Uygunluk Testi” gerçekleştirilerek uygunluğunun doğrulanması gerekir (ITU-R Document 8A-9B/127-E 2002).

2.3.3 DFS algoritması

Her DFS gerekleştirmi satıcıdan satıcıya farklılık göstermekle birlikte, genel DFS algoritması, aygıtlar arasında DFS bilgisinin iletilmesi için gereken protokolleri tanımlar. DFS algoritması 4 durumlu olarak düşünölebilir:

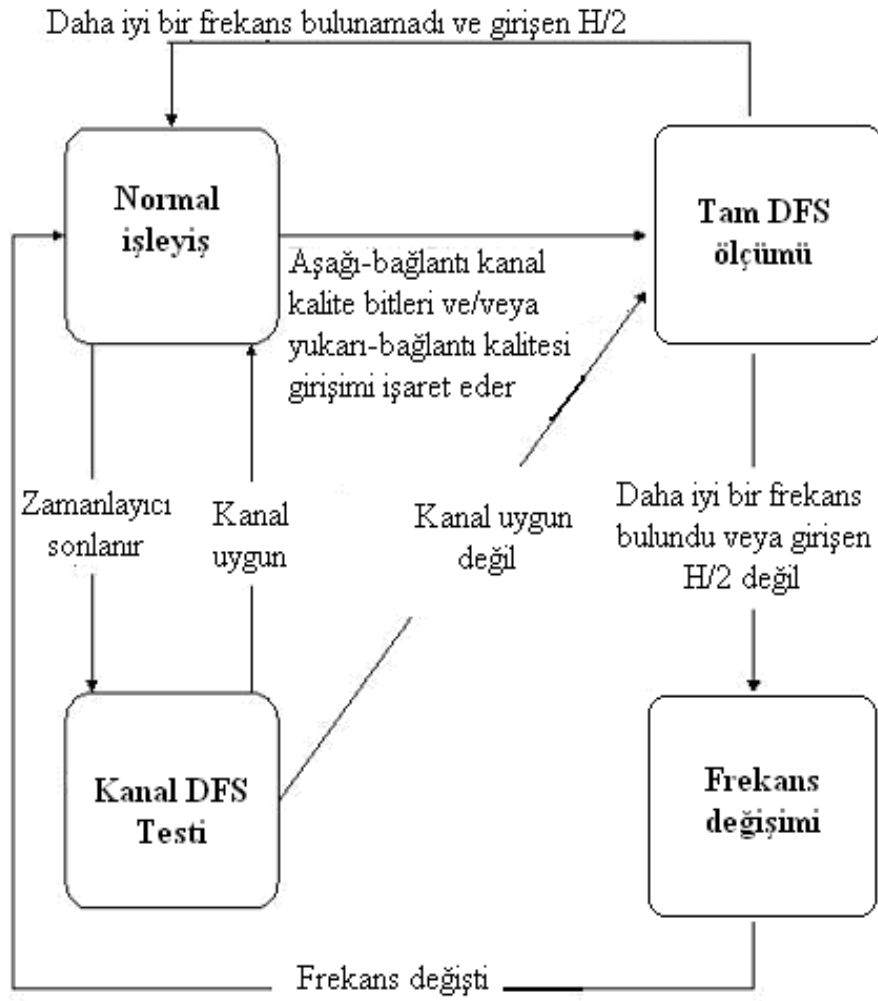
- Normal işleyiş durumu,
- Kanal DFS testi,
- Tam DFS ölçümü,
- Frekans değişimi.

Başlangıçta, tüm “Uygun Kanal” lardan rasgele bir frekans tahsis edilir. RLAN’ın ana düğümü normal işleyiş moduna girer ve tüm hareketli uçbirimlere kendi varlığını bildirmek ve diğer uçbirimlerle haberleşmek için yayına başlar.

- Normal işleyiş durumu, trafik gönderme ve alma gibi normal görevleri içerir. Bu işleyiş, ya ölçüm zamanlayıcısı sonlanana ya da yukarı bağlantı hata oranları ve sinyal şiddeti girişim algılandığını belirtene kadar sürer. Zamanlayıcı sonlandığında durum, kanal DFS testine geçer. Eğer girişim algılanmışsa, durum tam DFS ölçümüne geçer.
- Kanal DFS Testi durumu, AP’nin AP_ABSENCE mesajını diğer tüm cihazlara yayınlamasıyla başlar. AP, kullanılan frekansta girişimi ölçer. Bu sonuca göre, kanalın işleyişini devam ettirmek için yeterince iyi olup olmadığına kara verir. Eğer, yeterince iyiyse durum normal işleyişe geri döner, tersi durumda tam DFS ölçümüne geçilir.
- Tam DFS ölçümü durumunda, AP önce ölçülecek frekansı belirler. Daha sonra tüm kanalları ölçmek üzere bir yordama göre AP_ABSENCE mesajını diğer tüm cihazlara yayınlamaya başlar. Bu mesaj hareketli uçbirimlerden istenen kayıtları içerebilir. Girişimin hiç olmadığı (böyle bir durumda bu en iyi frekanstır) ya da böyle bir frekans bulunamıyorsa, H/2 trafiğin algılandığı bir frekansa karar verir. Eğer kendi

frekansı en iyiye işleyiş, normal işleyiş durumuna dönerek devam eder, yoksa frekans değişimi moduna geçilir.

- Frekans değişimi modunda, AP normal işleyişindeki tüm hareketli uçbirimleri uyarır ve tüm hareketli uçbirimlere yeni frekansın ne olduğu ve iletişimin ne zaman başlayacağını bildiren CHANGE FREQUENCY mesajını yayınlar (ITU-R Document 8B/110-E 2001).



Şekil 2.4 DFS Algoritması (ITU-R Document 8B/110-E 2001)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

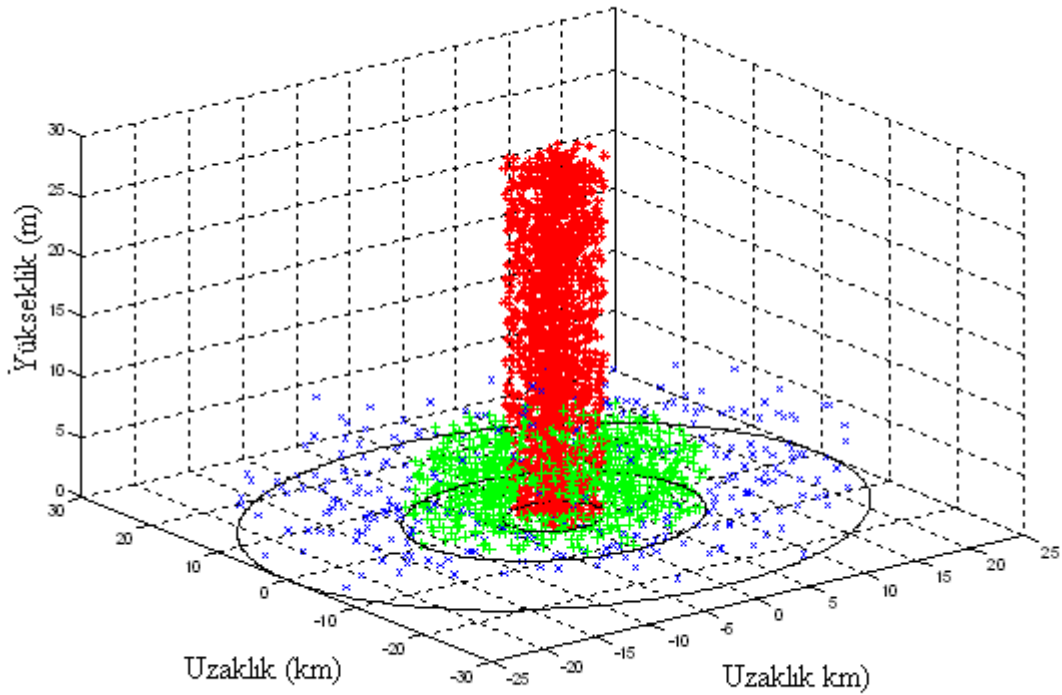
3.1 Materyal

3.1.1 Uçbirim karakteristikleri ve konuşlandırma modeli

Benzetimlerde büyük ölçekli bir şehir nüfusuna (nüfusu 3-4 milyon civarında) göre oranlama yapılmıştır. Analiz edilen coğrafik alan, banliyö ve kırsal nüfusla çevrili bir kent merkezidir. Bu bölgelerde kullanıcı yoğunlukları farklı olduğundan, toplam TES uçbirimi sayısı, her biri birbiçimli dağıtılan eşmerkezli halkalarla modellenmiştir ve gelecek 10 sene için öngörülen telsiz yerel alan ağı kullanımı göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca, herhangi bir anda TES uçbirimlerinin sadece belli bir oranının açık olacağı varsayılmıştır. Çalışmada 25 km yarıçaplı daire biçiminde bir şehir planı göz önüne alınmıştır. Bu şehir planı, merkezden 4 km'ye kadar kent merkezi, 4 ile 12 km arası banliyö ve 12 ile 25 km arası da kırsal kesim olarak ele alınmış ve toplam 2753 tane TES uç birimi bu bölgelere bir biçimli dağılımlı yerleştirilmiştir: Uç birimlerin %60'ı kent merkezine, %30'u banliyöye ve %10'u da kırsal kesime dağıtılmıştır. Şekil 3.1'de örnek bir dağılım gösterilmektedir.

Kent merkezi için seçilen bu yoğunluk, böyle bir merkezin büyüklüğüne göre makul düzeydedir. Yerel bölgelerde (bir ofis binasında örneğin) yoğunluk bu değeri aşacaktır ve bu, ayrı tayf gereksinim çalışmalarında kullanılan yoğunluklara tekabül ederken, bu yüksek yoğunluklar sadece çok sınırlı bir coğrafik alanda görülebilir. Bu ölçekte, bazı alanlar yüksek yoğunluğa sahipken, diğer alanlar (sokaklar, kaldırımlar, ara yollar, bina içi aralıklar, parklar vb.) çok düşük yoğunluklara sahiptir. Geniş bir coğrafik alana yayılmış RLAN cihazlarının toplamının radarlarla olası girişim düzeylerini analiz ettiğimizden, kullanım için uygun nüfus yoğunlukları, bu coğrafik alanlara karşılık gelir ve bu yüksek ve alçak yoğunluk alanlarının ortalamasını gösterir.

Kent merkezindeki TES'lerin yükseklikleri 0-30 metre, diğer bölgelerdekilerin yükseklikleri ise 0-6 metre arasında olacak şekilde bir biçimli dağılımlı belirlenmiştir. Ayrıca toplam TES uç birimlerinden rasgele seçilen %5'i 1000 mW, %25'i 200 mW, %40'ı 100 mW ve %30'u da 50 mW gücünde olacak şekilde belirlenmiştir. Tipik olarak RLAN cihazları, 23 dBm' den daha fazla güçte yayım yapmazlar. Fakat ITU'nun son düzenlemelerime göre bu sınır 30 dBm olarak değiştirilmiştir. Bu da 1000 mW'lık bir güce karşılık gelmektedir.



Şekil 3.1 Bölge sınırları ve TES uç birimleri için dağılım örneği

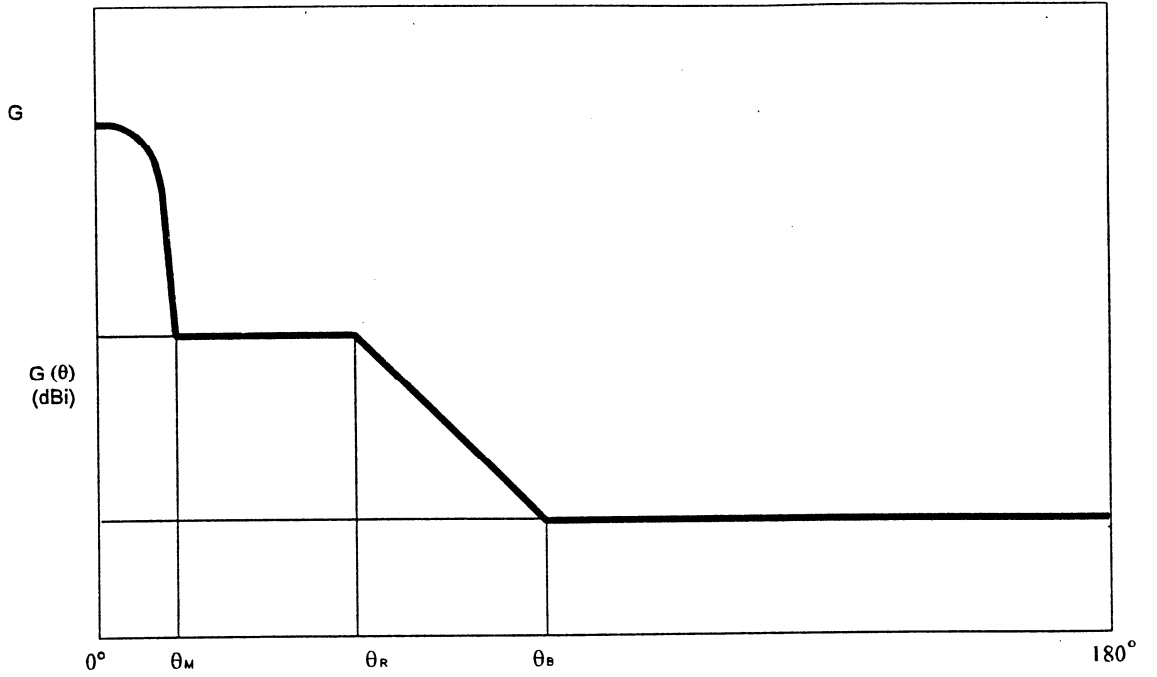
3.1.2 Girişim parametreleri

- Radarın gücü (P_T)

Bir radarın gücü, o radarın türünü ve tipini belirlemede en önemli unsurlardan biridir.

- Radarın ana demet anten kazancı ($G_T(\theta)$)

Bir radarın ana demet anten kazancı da, o radarın türünü ve tipini belirlemede en önemli unsurlardan biridir. Simülasyonlarda, bir istatistiksel kazanç anten modeli, yan açı ve yükselme açısı bazındaki radar anten kazancını belirlemek için kullanılır. Bu model, anten kazancını, verilen ana demet anten kazancı (Gain, G) için, eksenden ayrılma açısının (θ) bir fonksiyonu olarak verir. Model, çok yüksek kazanç ($G \geq 48$ dBi), yüksek kazanç ($22 \leq G < 48$ dBi) ve orta kazanç ($10 \leq G < 22$ dBi) antenler için ayrı algoritmalar içerir. Şekil 3.2, genel anten kazanç dağılımını örnekler.



Şekil 3.2 Anten kazanç dağılımı

dBi : Bir antenin, radyo frekansındaki bir izotropik yayıcıya göre kazancıdır. Örneğin, bir A anteni belli bir yönde I_A mW/m² yoğunluğunda bir elektromanyetik alan üretsin. Bir Q anteni de her yöne eşit yoğunlukta I_Q mW/m² kadar bir elektromanyetik alan üretsin. Bu durumda, A antenin dBi cinsinden kazancı, $G = 10 \cdot \log_{10} (I_A / I_Q)$ olacaktır.

Şekil 3.2'deki grafikte;

θ_M : Birinci Yankulakçık Şelfi

θ_R : Yakın Yankulakçık Bölgesi

θ_B : Uzak Yankulakçık Bölgesi' dir.

Bu açılar için eşitlikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Açılımları

Çok Yüksek Kazanç ($G \geq 48$ dBi)	Yüksek Kazanç ($22 \leq G < 48$ dBi)	Orta Kazanç ($10 \leq G < 22$ dBi)
$\theta_M = 50(.25G + 7)^{0.5}/10^{G/20}$ $\theta_R = 27.466 \cdot 10^{-0.3G/10}$ $\theta_B = 48$	$\theta_M = 50(.25G + 7)^{0.5}/10^{G/20}$ $\theta_R = 250/10^{G/20}$ $\theta_B = 48$	$\theta_M = 50(.25G + 7)^{0.5}/10^{G/20}$ $\theta_R = 250/10^{G/20}$ $\theta_B = 131.8257 \cdot 10^{-G/50}$

Eksenden ayrılma açısının bir fonksiyonu olarak anten kazancı, çok yüksek kazançlı antenler için Çizelge 3.2'de, yüksek kazançlı antenler için Çizelge 3.3'te, orta kazançlı antenler için Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.2 Çok yüksek kazançlı antenler ($G \geq 48$ dBi) için eşitlikler

Açısal Aralık (Derece)	Kazanç (dBi)
0 ile θ_M	$G - 4 \times 10^{-4} \times (10^{G/10}) \times \theta^2$
θ_M ile θ_R	$0.75 \times G - 7$
θ_R ile θ_B	$29 - 25 \times \text{Log}(\theta)$
θ_B ile 180	-13

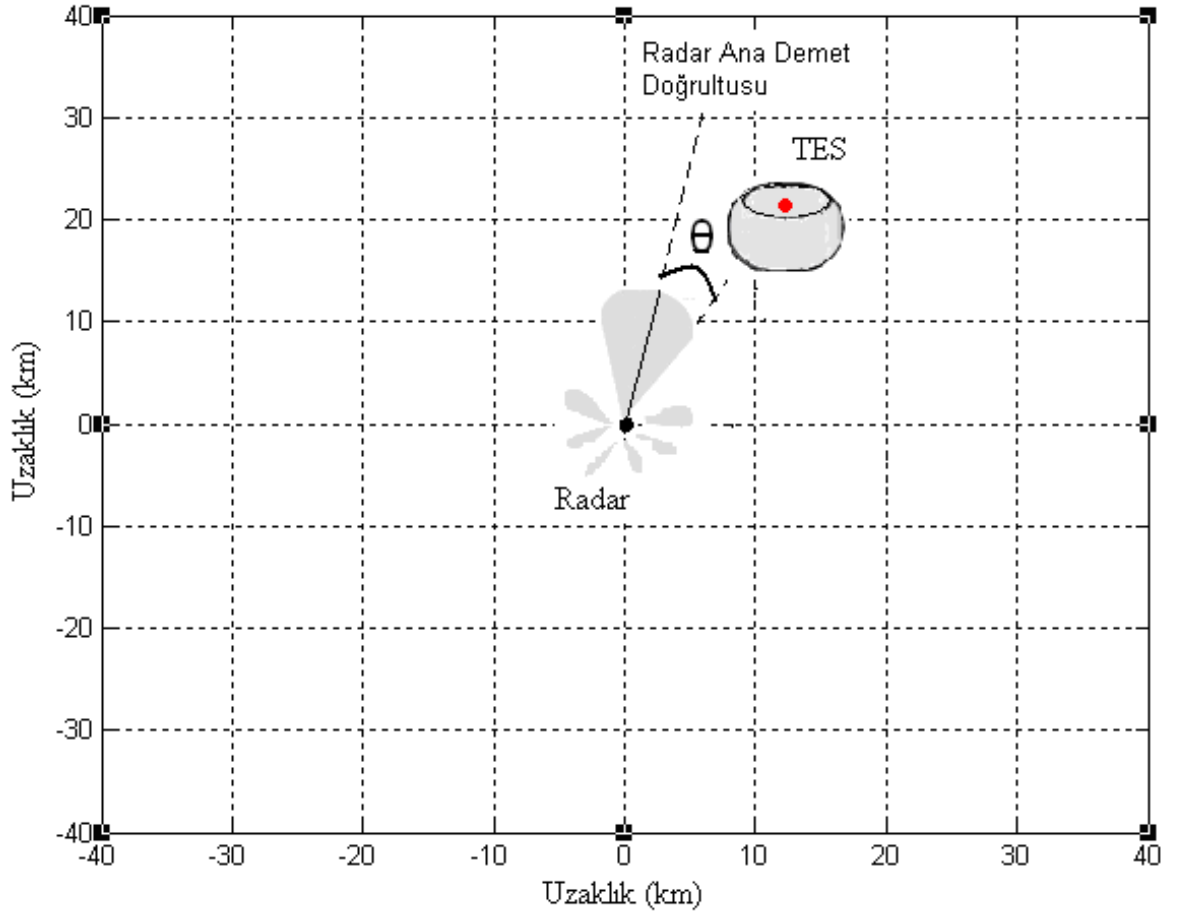
Çizelge 3.3 Yüksek kazançlı antenler ($22 \leq G < 48$ dBi) için eşitlikler

Açısal Aralık (Derece)	Kazanç (dBi)
0 ile θ_M	$G - 4 \times 10^{-4} \times (10^{G/10}) \times \theta^2$
θ_M ile θ_R	$0.75 \times G - 7$
θ_R ile θ_B	$53 - (G/2) - 25 \times \text{Log}(\theta)$
θ_B ile 180	$11 - G/2$

Çizelge 3.4 Orta kazançlı antenler ($10 \leq G < 22$ dBi) için eşitlikler

Açısal Aralık (Derece)	Kazanç (dBi)
0 ile θ_M	$G - 4 \times 10^{-4} \times (10^{G/10}) \times \theta^2$
θ_M ile θ_R	$0.75 \times G - 7$
θ_R ile θ_B	$53 - (G/2) - 25 \times \text{Log}(\theta)$
θ_B ile 180	0

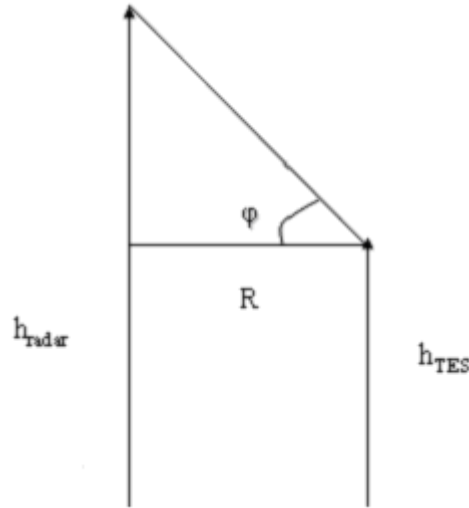
Simülasyonlarda, daha önce bahsedilen, 5 GHz bandında çalışan, bir ölçüm (K), bir araştırma (P) ve iki meteoroloji radarı (C ve I) ile 5 GHz bandında çalışan, TES' ler arasındaki girişim incelenmiştir. Girişimlerin hesaplanmasında kullanılan anten kazançları, radarın ışına yaptığı ana demet doğrultusu ile TES'in konumu arasındaki açıya bağlı olarak azalmaktadır. Bu açı Şekil 3.3'te gösterilen açıdır.



Şekil 3.3 TES' in konumu ile radar ana demet doğrultusu arasındaki açı

- TES' in anten kazancı ($G_R(\varphi)$)

Simülasyonlarda, yer platformlu radarlar için, RLAN aygıtlarının verici kazancı 0 dBi alınmıştır. Bu durum, RLAN sinyalinin birincil olarak yatay yönde amaçlandığı durumdur. Yan açı yöneliminde TES anten modeli tümyönlüdür. Yükselme açısı yöneliminde ise, TES anten modeli Çizelge 3.5'teki gibi tanımlanmıştır. TES aygıtlarının herhangi bir kazancı yoktur. Radar ile TES antenleri aynı yükseklikte veya yükseklikler arasında az bir fark var ise, kazanç sıfır çıkmakta ve bu durumda herhangi bir kayıp olmamaktadır. Ancak, TES aygıtı ile radarın anten yüksekliklerinin aynı olmaması durumunda, iki anten arasındaki açığa (yükselme açısı) bağlı olarak, TES' in iletilen gücünde bir kayıp söz konusudur. Bahsedilen açı Şekil 3.4'te, bu açığa bağlı olarak TES' in anten kazancı da Çizelge 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 TES ile radar antenleri arasındaki yükselme açısı

h_{TES} : TES Yüksekliği (m)

h_{radar} : Radar Yüksekliği (m)

R : Radar ile TES antenleri arasındaki uzaklık (km)

φ : $\text{Arctan}((h_{radar} - h_{TES}) / (R * 1000))$

Çizelge 3.5 TES yükselme açısı anten modeli

Yükselme Açısı (Derece)	Kazanç (dBi)
45 ile 90	-4
35 ile 45	-3
0 ile 35	0
-15 ile 0	-1
-30 ile -15	-4
-60 ile -30	-6
-90 ile -60	-5

Burada şu hususu not etmek gerekir ki, aynı EIRP gücünde ve yönlü TES antenlerinin kullanımı, telsizle belirleme alıcısında daha az girişime sebep olacak; fakat ana demetlerinin karşılıklı gelmesi durumunda çok yüksek girişim seviyeleri oluşacaktır (ITU-R Document 8/1025-E 2003).

- Kayıplar

- Serbest uzay yayılma yol kaybı (Free space propagation path loss, L_{FS})

Yol kaybı, serbest uzaya bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$L_{FS} = 20 \cdot \log (F_C) + K \cdot \log (R) + 32.44$$

L_{FS} : Yayılma yol kaybı (dB)

F_C : Taşıyıcı frekans (MHz)

K : 20 dB ile 35 dB arasında bir biçimli seçilen rasgele bir zayıflama (dB)

R : Alıcı-verici arasındaki uzaklık (km)

Buradaki K parametresi, hava koşullarına (yağmur, sis, kar, dolu, vb.) bağlı bir kayıptır.

- Yapı kaybı (Building loss, L_B)

Kent ve banliyö çevrelerinde, RLAN ve radarları içeren yapılar arasında büyük engeller olacaktır. Herhangi bir radar ve RLAN topluluğu arasındaki yayılım yolu, alandaki değişik yüzey nesnelere nedeniyle direk bir yol olmayacaktır. Yoğun kent çevrelerinde, özellikle yer platformlu radarlar için bu etki büyüktür. Bu etki, hava radarlarındaki yayılım yolu için ise, uzaklığa, yüksekliğe ve radar anteninin aşağı bakan açısına bağlı olarak daha azdır. Dolayısıyla, serbest uzay kayıp modeli kullanarak, yayılım etkileri arasına yapı kaybı da eklenir.

Yapı kaybı, çevrenin bina, arazi vb. gibi değişik doğasına bağlı olarak 0 dB ile 20 dB arasında bir biçimli olacak şekilde rasgele seçilen bir zayıflamadır.

- **Vericideki ek kayıp (Transmitter loss, L_T)**

RLAN vericisinden, antenine kadar olan, vericinin kendi iç donanımından (direnc, kapasitör, bobin, transistör,...) kaynaklanan bir kayıptır. Anma değeri 2 dB'dir. Simülasyonlarda 0 dB olarak kabul edilmiştir.

- **Alıcıdaki ek kayıp (Receiver loss, L_R)**

Radar anteninden, alıcısına kadar olan, alıcının kendi iç donanımından (direnc, kapasitör, bobin, transistör,...) kaynaklanan bir kayıptır. Anma değeri 2 dB'dir. Simülasyonlarda 0 dB olarak kabul edilmiştir.

- **Frekansa bağlı bastırma (Frequency dependent rejection, FDR_{IF})**

Bir radar, bant genişliği RLAN'ın bant genişliğinden daha az olan uyumlanmış bir filtre ile çalışabilir. RLAN'ın anma bant genişliği 18 MHz'dir. Benzetimlerde 20 MHz olarak kullanılmıştır. Radar frekansında çalışan bir RLAN için, radar, alıcı uyumlanmış filtredeki değil, kendi antenindeki tüm RLAN gücünü algılayacaktır. Bu zayıflama RLAN sinyaline eklenen etkin bir kayıptır. RLAN iletim bant genişliğinden daha geniş radar bant genişlikleri için bu kayıp 0 dB'dir (WP8B-JRG8A-9B_DFS_04 2002).

Alıcının bant genişliğinin vericinin band genişliğinden dar olması durumunda, alıcı vericinin gönderdiği sinyalin tamamını alamaz ve bu durumda "frekansa bağlı bastırma" denen kayıp aşağıdaki biçimde hesaplanır:

$$FDR_{IF}(\Delta f) = OTR + OFR(\Delta f)$$

FDR_{IF} : İstenmeyen verici salım tayfında, alıcının ara frekans (Intermediate Frequency, IF) seçicilik eğrisi tarafından üretilen frekansa bağlı bastırma (dB)

OTR (On-tune Rejection) : Radar ile RLAN için aynı frekanstaki FDR_{IF} değeri (dB)

OFR (Off-frequency Rejection) : Radar ile RLAN için farklı frekanstaki FDR_{IF} değeri (dB)

Benzetimler, radarların ve RLAN'ların frekanslarının aynı olduğu durumda yapıldığından OFR 0 dB alınmıştır. Buna göre FDR_{IF} aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$FDR_{IF} = OTR = \max(0, 20 \cdot \log(B_T/B_R))$$

B_T : Verici bant genişliği (MHz)

B_R : Alıcı bant genişliği (MHz) (ITU-R Document 8A-9B/154-E 2002)

3.1.3 TES uçbirimlerine girişimin hesaplanması

Bir radardan herhangi bir TES cihazına girişim aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$I_{TES} = P_T + G_T(\theta) + G_R(\varphi) - L_B - L_T - L_R - L_{FS} - FDR_{IF}$$

I_{TES} : TES alıcı girişindeki istenmeyen sinyalin tepe güç değeri (dBm)

P_T : Radar vericisinin tepe güç değeri (dBm)

$G_T(\theta)$: Radar vericisinin TES terminali yönündeki anten kazancı (dBi)

$G_R(\varphi)$: TES' in radar yönündeki anten kazancı (dBi)

L_B : 0 ile 20 dB arasında çevrenin yapı/arazi koşullarına bağlı bir zayıflama (dB)

L_T : Vericideki ek kayıp (dB)

L_R : Alıcıdaki ek kayıp (dB)

L_{FS} : Alıcı-verici antenler arasındaki serbest uzay yayılma yol kaybı (dB)

FDR_{IF} : İstenmeyen verici salım tayfında, alıcı IF seçicilik eğrisi tarafından üretilen frekansa bağlı bastırma (dB)

dB : Aynı birimdeki iki gücün, akımın, voltajın vb. logaritmik karşılaştırılmasıdır.

dBm : Herhangi bir gücün 1 mW' a göre logaritmik karşılaştırılmasıdır.

3.1.4 Radara girişimin hesaplanması

Her bir TES uç biriminin radarda oluşturacağı girişim aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$I_{\text{radar}} = P_T + G_T(\theta) + G_R(\varphi) - L_B - L_T - L_R - L_{FS} - FDR_{IF}$$

I_{radar} : Radar alıcı girişindeki istenmeyen sinyalin tepe güç değeri (dBm)

P_T : TES vericisinin tepe güç değeri (dBm)

$G_T(\theta)$: TES vericisinin radar istasyonu yönündeki anten kazancı (dBi)

$G_R(\varphi)$: Radarın TES uçbirimi yönündeki anten kazancı (dBi)

Radara maruz kaldığı toplam girişim, en kötümser durum (tüm bileşenler aynı fazda) varsayılarak, yayın yapan bütün TES uç birimlerinin sebep olduğu girişimlerin toplanması ile elde edilir (ITU-R Document 8A-9B/153-E 2002).

3.1.5 Radara özgü gürültü düzeyi

Radara alıcısının çalışması sırasında kendi iç donanımındaki devre elemanlarının ısınmasından ve sayısal-analog dönüştürücüdeki nicemlemeden kaynaklanan kendine özgü bir gürültü düzeyi vardır ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$N = P_N + 10 * \log (B_{IF}) + NF$$

N : Alıcıya özgü gürültü düzeyi (dBm)

B_{IF} : Alıcı IF bant genişliği (KHz)

NF : Alıcı gürültü kazancı (dB)

P_N : İdeal bir alıcının gürültü gücü (dBm)

$$P_N = k \cdot T \cdot B$$

k : Boltzman sabiti ($1,380622 \times 10^{-23} \text{ jK}^{-1}$)

T : Sistemin gürültü sıcaklığı (°K)

B : Bant genişliği (Hz)

1 KHz bant genişliği ve 290 °K sıcaklıkta ısı gürültü gücü hesaplandığında ideal bir alıcının gürültü gücü -144 dBm olarak hesaplanır. Benzetimlerde bu değer kullanılmıştır (Tunay *vd.* 2005).

3.2 Benzetim Yöntemi

Benzetimler yapılmadan önce maksimum görüş mesafesi belirlenir. Radar ve TES uç birimleri için radyo görüş ufku, $R = 130 \cdot \sqrt{h}$ olarak hesaplanır. Burada h, anten yüksekliğidir (km). Kırsal bölgenin sınırında konuşlanmış maksimum anten yüksekliğine sahip (merkezden 25 km uzaklıkta ve 6 m yükseklikte) bir TES uç birimi göz önüne alındığında, TES görüş ufku maksimumdur. Benzer şekilde verilen radar yüksekliği için de aynı eşitlik kullanılarak radar ufku belirlenir. Radar ve TES ufku toplanarak maksimum görüş uzaklığı belirlenir. Her bir benzetim için TES uç birimleri bölüm 3.1.1’de tarif edilen şekilde konuşlandırılır. Rasgele seçilen bir konuma radar yerleştirilir. Radar yerleştirilirken kırsal kesimin sınırına olan uzaklık maksimum görüş mesafesi ile sınırlandırılır. Radar ile her bir uç birim arasındaki mesafe maksimum görüş mesafesinden fazla ise yol kaybı fazla olacağından ilgili TES uç birimi hesaplamalarda kullanılmaz.

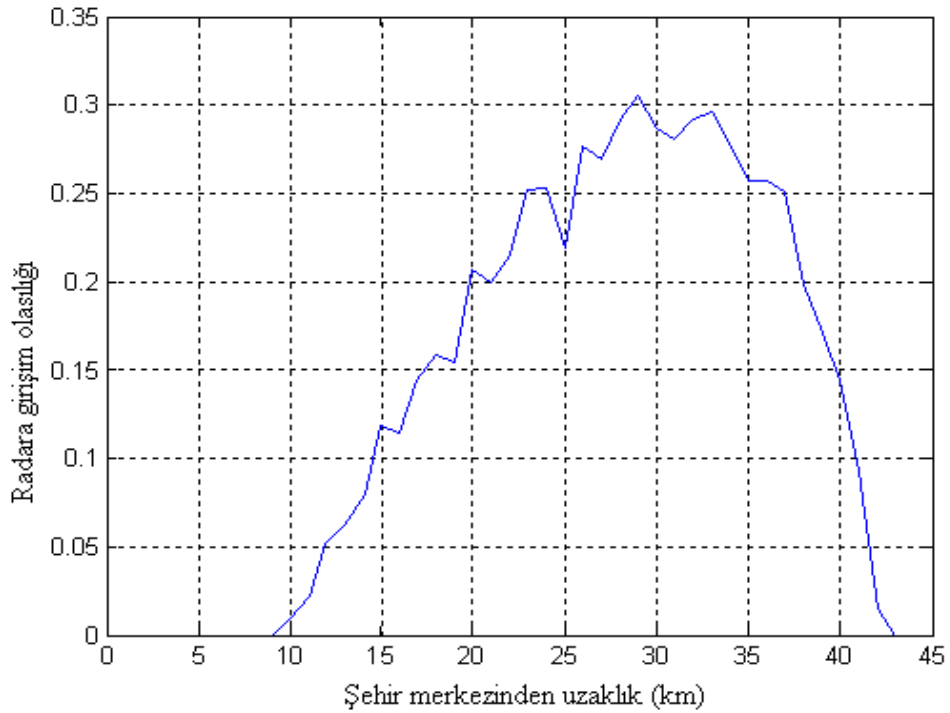
Radara 360 derecelik tam bir dönme yaptırılır. Her 1 derecelik dönmede açılara bağlı kazanç değerleri bulunur ve her bir TES uç birimine olan girişim Bölüm 3.1.3'teki gibi hesaplanır.

Eğer girişim seviyesi belirlenen eşik değerinden fazla ise ilgili TES uç birimi kapatılır. Radar tekrar 360 derece döndürülür. Bu dönme sırasında açık kalan her bir TES uç biriminin radar üzerinde oluşturduğu girişim Bölüm 3.1.4'teki gibi hesaplanır. Radardan her bir TES uçbirimine ve her bir TES uçbiriminden radara olan girişimler aynı ortamda incelendiğinden hesaplamada kullanılan parametrelerin değerleri ilk dönmede kullanılan değerler ile aynı seçilir. Hesaplanan her bir girişim değeri toplanarak toplam girişim değeri elde edilir. Elde edilen girişim değeri Bölüm 3.1.5'teki gibi hesaplanan gürültü değerine oranlanarak I/N (Interference-to-Noise Ratio _ Girişim-Gürültü oranı) hesaplanır. Radarın korunması için bu oranın -6 dB'den küçük olması gerekmektedir (Recommendation ITU-R M.1461 2000).

Test edilen eşik değerinde radara bir girişim olmuşsa, eşik değeri azaltılarak benzetimler tekrarlanır. Seçilen eşik değerinde yapılan birbirinden bağımsız 5000 benzetim sonucunda radara girişim olmamış ise eşik değeri tespit edilir.

Elde edilen sonuçların istatistiksel olarak anlamlı olması için benzetim sayısının mümkün olduğunca fazla olması gerekmektedir. Yapılan benzetimlerde radara girişim olasılığının seçilen radarın konumu ile ilintili olduğu gözlenmiştir. Radar şehir merkezine yakın olduğunda çok sayıda TES uç birimi kapanmakta ve bu nedenle radara girişim olasılığı azalmaktadır. Benzer şekilde, radar merkezden çok uzakta olduğunda çok sayıda TES uç birimi açık kalmasına rağmen yol kaybından dolayı bunların radar üzerinde bir girişim oluşturma olasılığı azalmaktadır. Bu gözlemden faydalanarak benzetim sayısını artırmadan girişim olasılığını artırmak amacı ile radar konumu için belli bir aralık tespit edilmiştir. Bu aralığın tespiti için, radar, şehir merkezi ile görüş mesafesi arasında 1 km aralıklarla yerleştirilmiş ve her konumda 1000 benzetim yapılarak radara girişim sayısı hesaplanmıştır. Bu denemelerde sabit bir eşik değeri kullanılmış ve bu eşik değeri büyük seçilerek (-30 dBm) girişim sayısının fazla olması

sağlanmıştır. Girişim sayıları toplam benzetim sayısına oranlanarak her konumdaki girişim olasılığı tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, radar şehir merkezinden 20 ile 40 km uzaklıkta konumlandığında girişim olma olasılığı artmaktadır. Bu nedenle, eşik değerlerinin test edildiği benzetimlerde radar konumu, merkezden 20-40 km uzaklıkta olacak şekilde rasgele belirlenmiştir.



Şekil 3.5 Radarın şehir merkezine uzaklığı ile radara girişim olma olasılığı arasındaki ilişki

Radar algılama eşikleri farklı tip radarlar için tespit edilmiştir. ITU-R, kullanımda olan tüm radarları genel olarak karakterize etmiş ve özelliklerini (Recommendation ITU-R M.1638 2003)'te vermiştir; ayrıca bu karakteristikler Ek-1'de ve Ek-2'de verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan radarların listesi ve karakteristik özellikleri Çizelge 3.6'da sunulmuştur.

Çizelge 3.6 Benzetimlerde kullanılan radarların özellikleri

	Radar C	Radar I	Radar K	Radar P
İşlev	Meteoroloji	Meteoroloji	Ölçüm	Araştırma
Platform	Yer	Yer	Yer	Gemi
Frekans (MHz)	5 600-5 650	5 600-5 650	5 300	5 300
Tepe anten gücü (kW)	250	250	250	360
Kazanç (dBi)	44	40-50	38.3	28
Anten yüksekliği(m)	10	6-30	20	40
IF bant genişliği (MHz)	20	0.1-3	1	1.5
Gürültü Kazancı (dB)	4	1.5-8	6	5

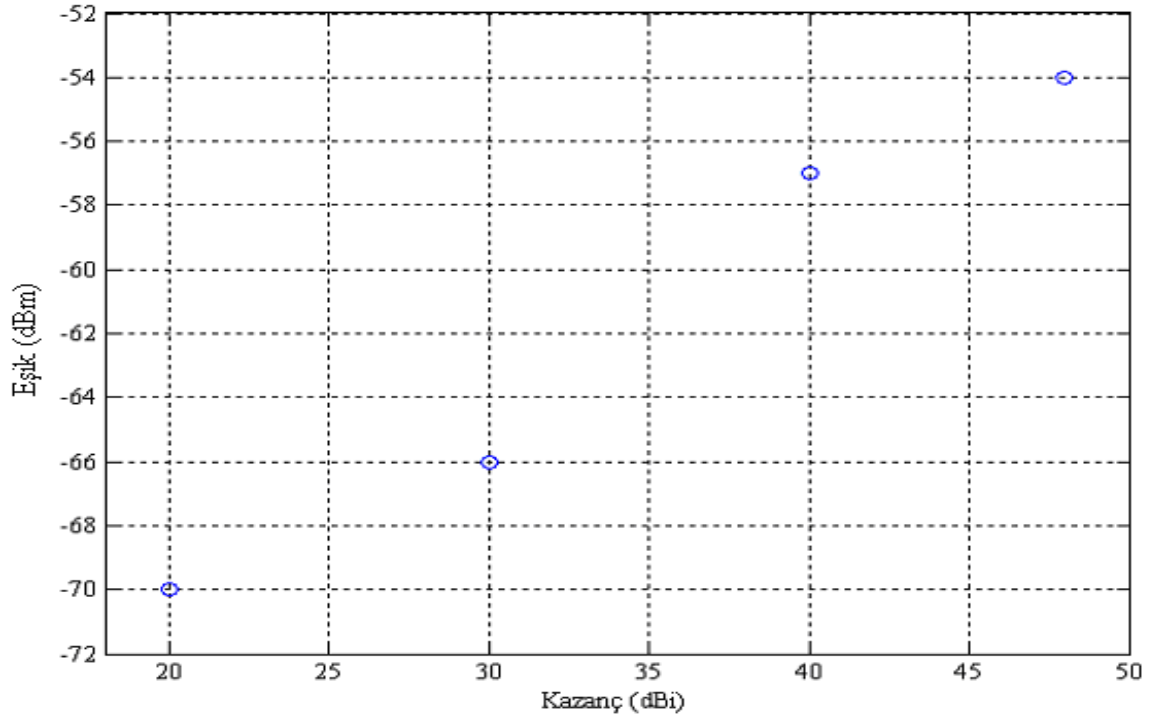
Eşik seviyelerini belirlemede kullanılan MATLAB benzetim programı Ek 3'te verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

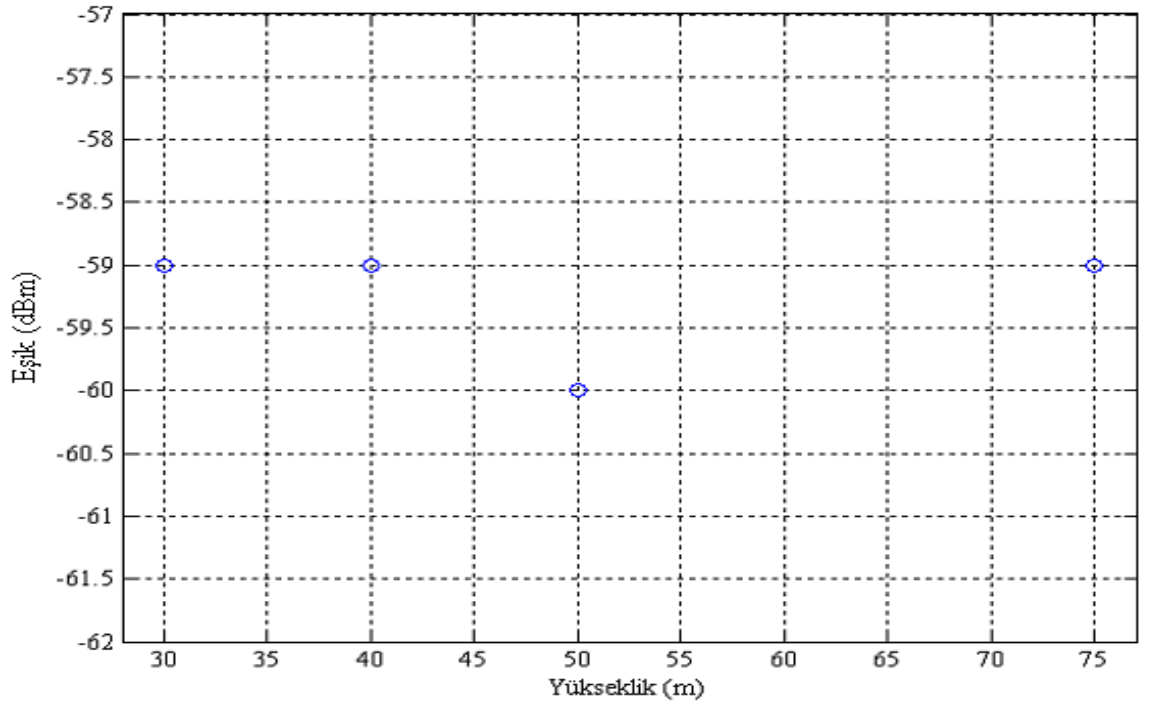
Çizelge 3.6'da özellikleri verilen radarlar için benzetimler yapılmış; C, I, K ve P radarları için sırasıyla -55, -54, -51 ve -57 dBm eşik değerleri tespit edilmiştir. Sözkonusu radarların kendi karakteristiklerinde bulunan bu eşik seviyeleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Eşik değerlerinin anten kazancı ve yüksekliği ile nasıl etkileneceğini incelemek için farklı ana demet kazancı ve anten yüksekliklerinde de benzetimler yapılmıştır. Bu benzetimler her bir radar için 20, 30, 40 ve 48 dBi anten kazançlarında ve 30, 40, 50 ve 75 m anten yüksekliklerinde yapılmıştır. Her birim durum için 5000 Monte Carlo benzetimi (belli bir aralıkta, birbiriçimli, üçgen, normal, lognormal vb. dağılıma sahip, rasgele değişkenler için rasgele değerler üretilerek tekrar tekrar yapılan istatistiksel bir benzetim modeli (<http://www.decisioneering.com/monte-carlo-simulation.html>, 2005)) yapılmış, elde edilen eşik değerleri grafiksel olarak, I radarı için Şekil 4.1 - Şekil 4.3'te, C radarı için Şekil 4.4 - Şekil 4.6'da, K radarı için Şekil 4.7 - Şekil 4.9'da, P radarı için Şekil 4.10 - Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Çizelge halinde ise, sırasıyla Çizelge 4.2 - Çizelge 4.5'te sunulmuştur.

Çizelge 4.1 Radarların kendi karakteristiklerinde elde edilen eşik seviyeleri

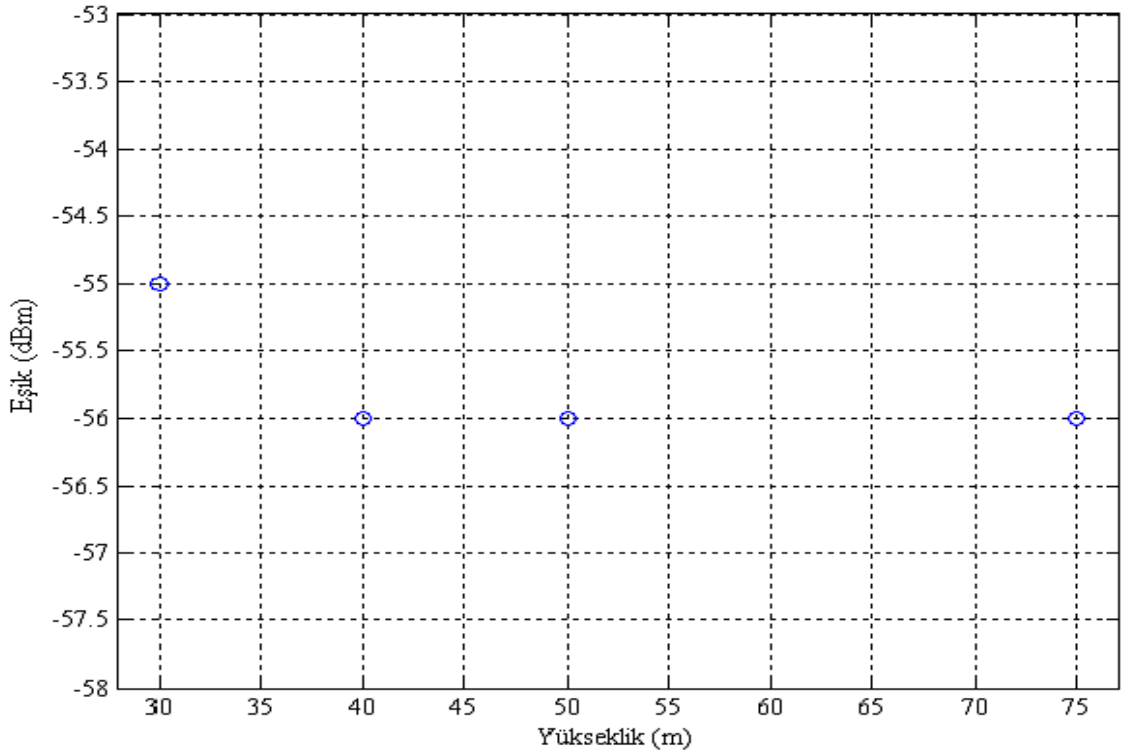
Radar	Kazanç (dBi)	Yükseklik (m)	Eşik (dBm)
C	44	10	-55
I	40-50	6-30	-54
K	38.3	20	-52
P	28	40	-57



Şekil 4.1 C radarı için 10 m (metre) radar anten yüksekliğinde farklı ana demet anten kazançlarındaki eşik seviyeleri



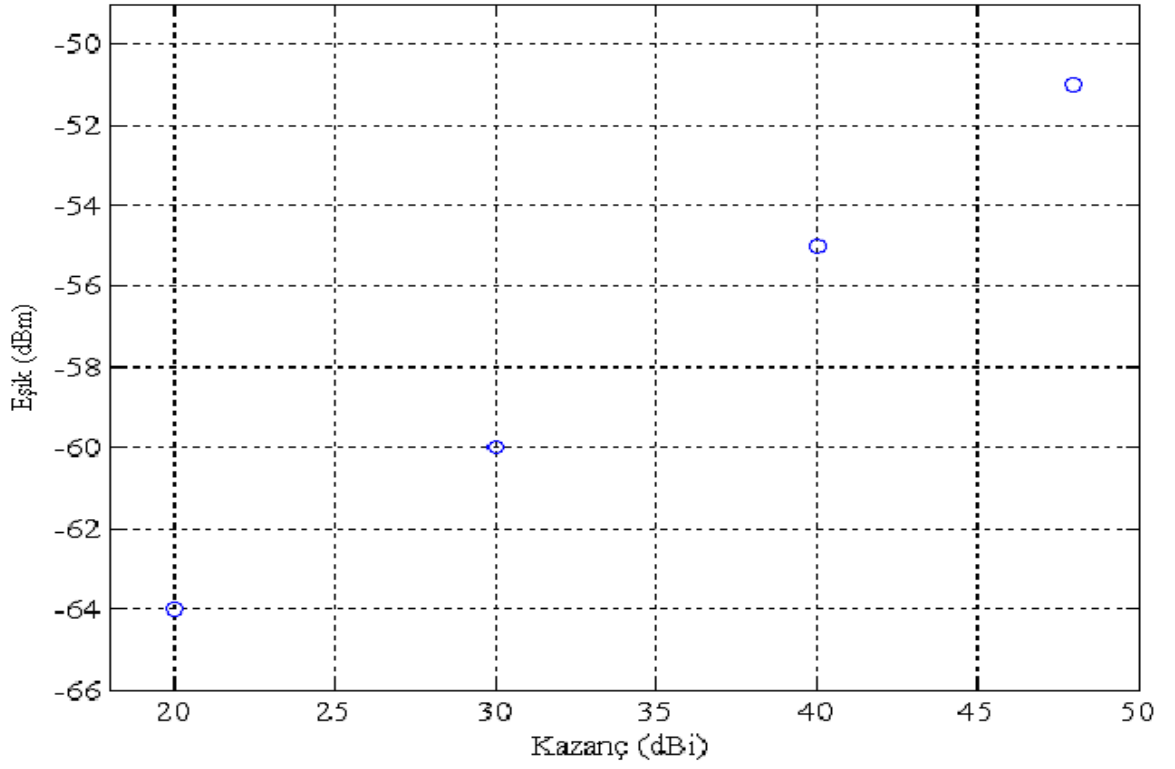
Şekil 4.2 C radarı için 40 dBi ana demet anten kazancında farklı anten yüksekliklerindeki eşik seviyeleri



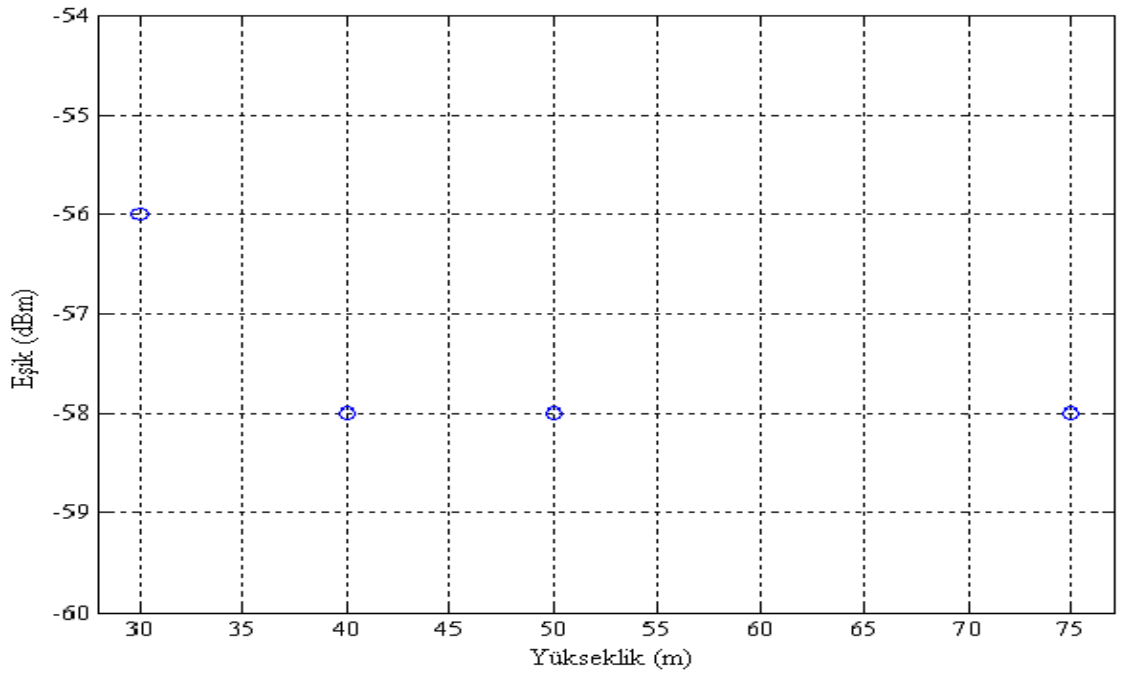
Şekil 4.3 C radarı için 48 dBi ana demet anten kazancında farklı anten yüksekliklerindeki eşik seviyeleri

Çizelge 4.2 C radarı için değişik ana demet anten kazançları ve yüksekliklerindeki eşik seviyeleri

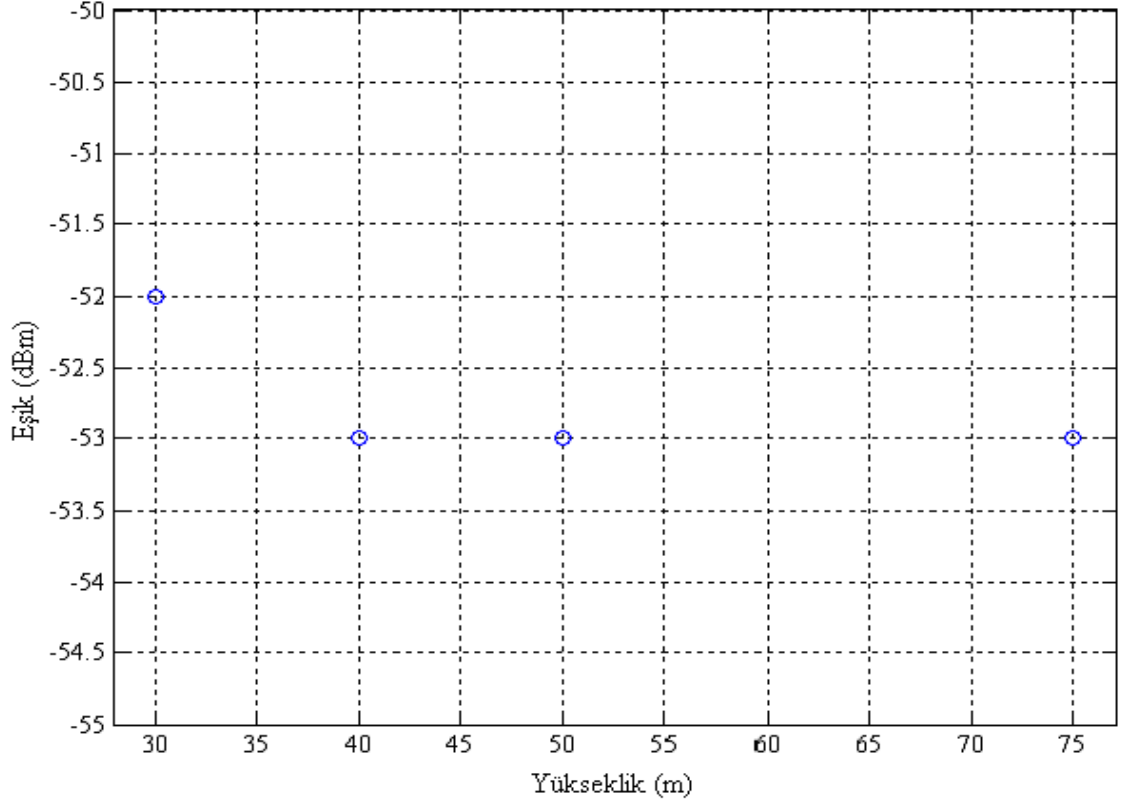
Ana Demet Anten Kazancına Göre			Anten Yüksekliğine Göre		
Kazanç (dBi)	Yükseklik (m)	Eşik (dBm)	Kazanç (dBi)	Yükseklik (m)	Eşik (dBm)
20	10	-70	40	30	-59
30	10	-66	40	40	-59
40	10	-57	40	50	-60
48	10	-54	40	75	-59
			48	30	-55
			48	40	-56
			48	50	-56
			48	75	-56



Şekil 4.4 I radarı için 6-30 m radar anten yüksekliğinde farklı ana demet anten kazançlarındaki eşik seviyeleri



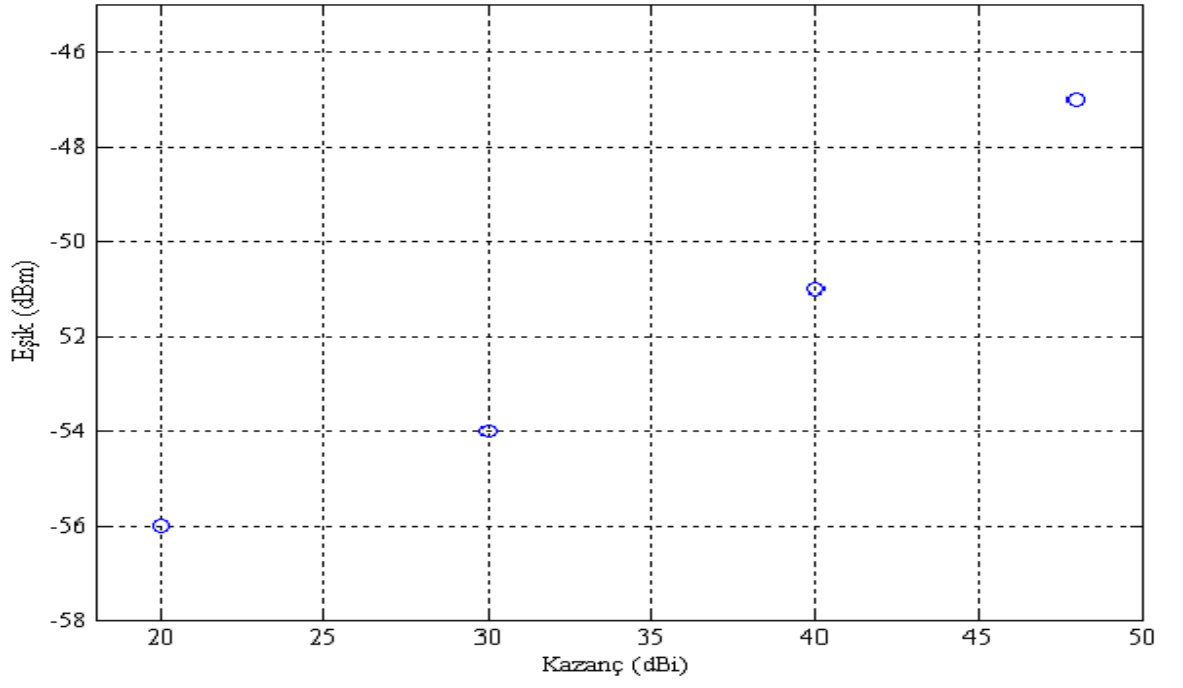
Şekil 4.5 I radarı için 40 dBi ana demet anten kazancında farklı anten yüksekliklerindeki eşik seviyeleri



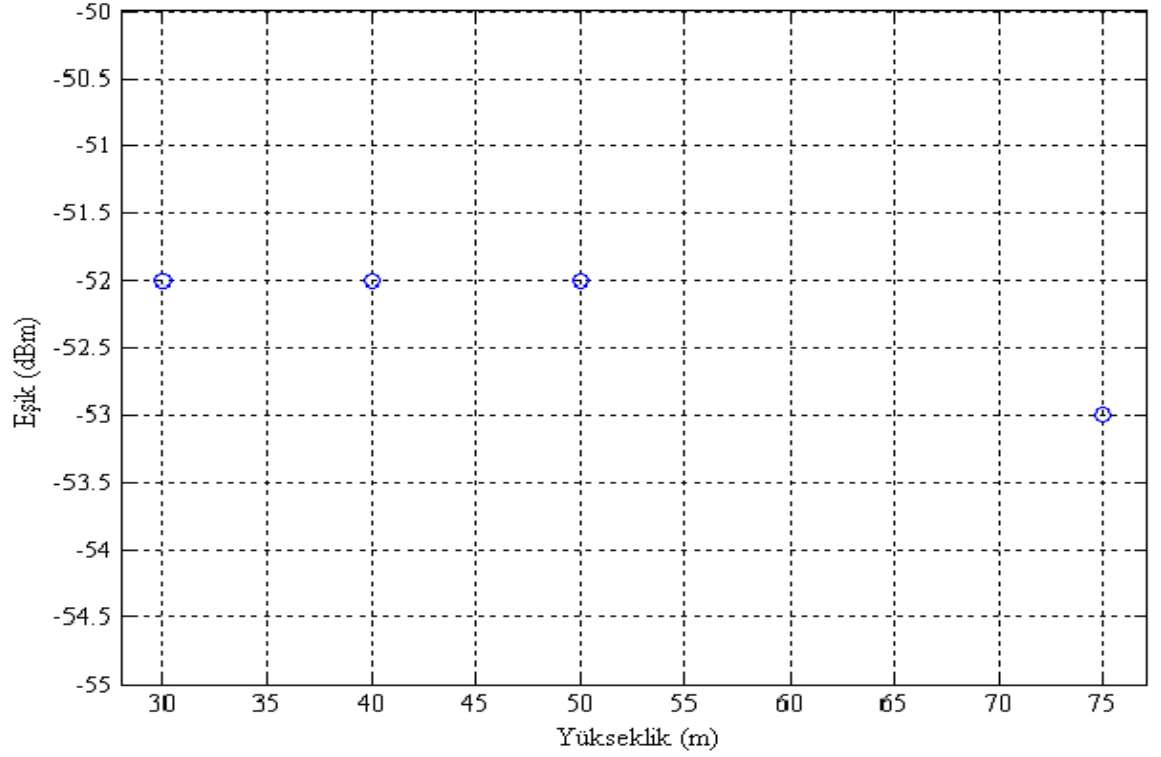
Şekil 4.6 I radarı için 48 dBi ana demet anten kazancında farklı anten yüksekliklerindeki eşik seviyeleri

Çizelge 4.3 I radarı için değişik ana demet anten kazançları ve yüksekliklerindeki eşik seviyeleri

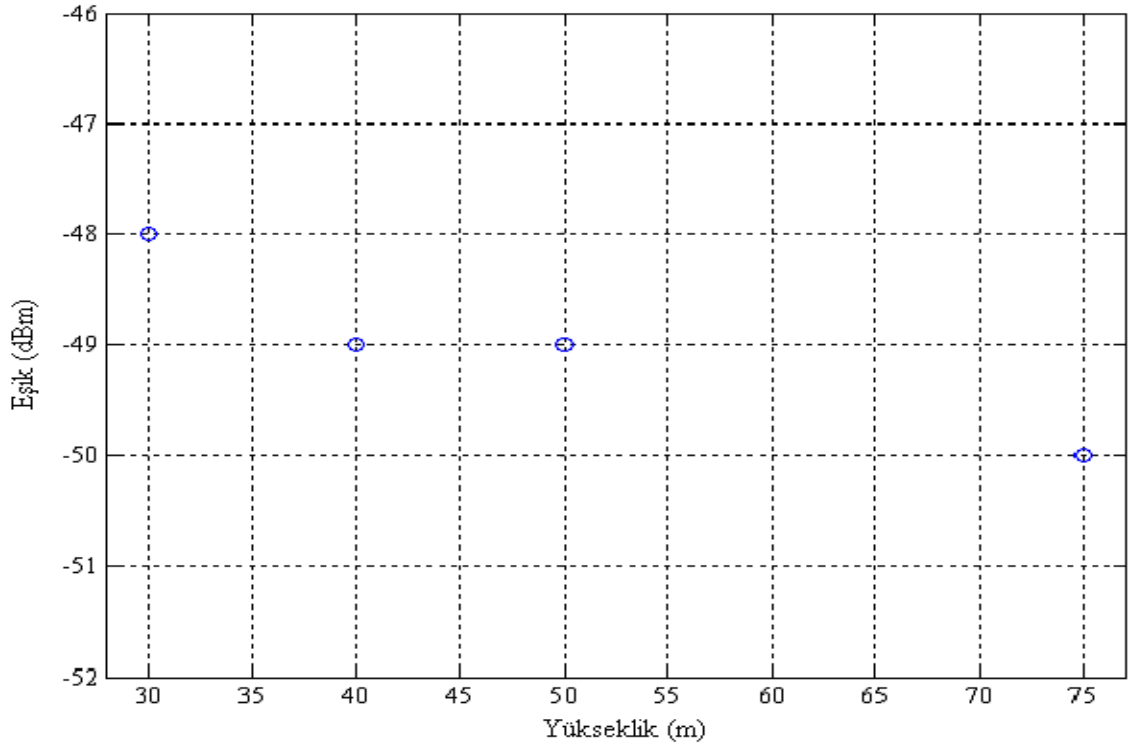
Ana Demet Anten Kazancına Göre			Anten Yüksekliğine Göre		
Kazanç (dBi)	Yükseklik (m)	Eşik (dBm)	Kazanç (dBi)	Yükseklik (m)	Eşik (dBm)
20	6-30	-64	40	30	-56
30	6-30	-60	40	40	-58
40	6-30	-55	40	50	-58
48	6-30	-51	40	75	-58
			48	30	-52
			48	40	-53
			48	50	-53
			48	75	-53



Şekil 4.7 K radarı için 20 m radar anten yüksekliğinde farklı ana demet anten kazançlarındaki eşik seviyeleri



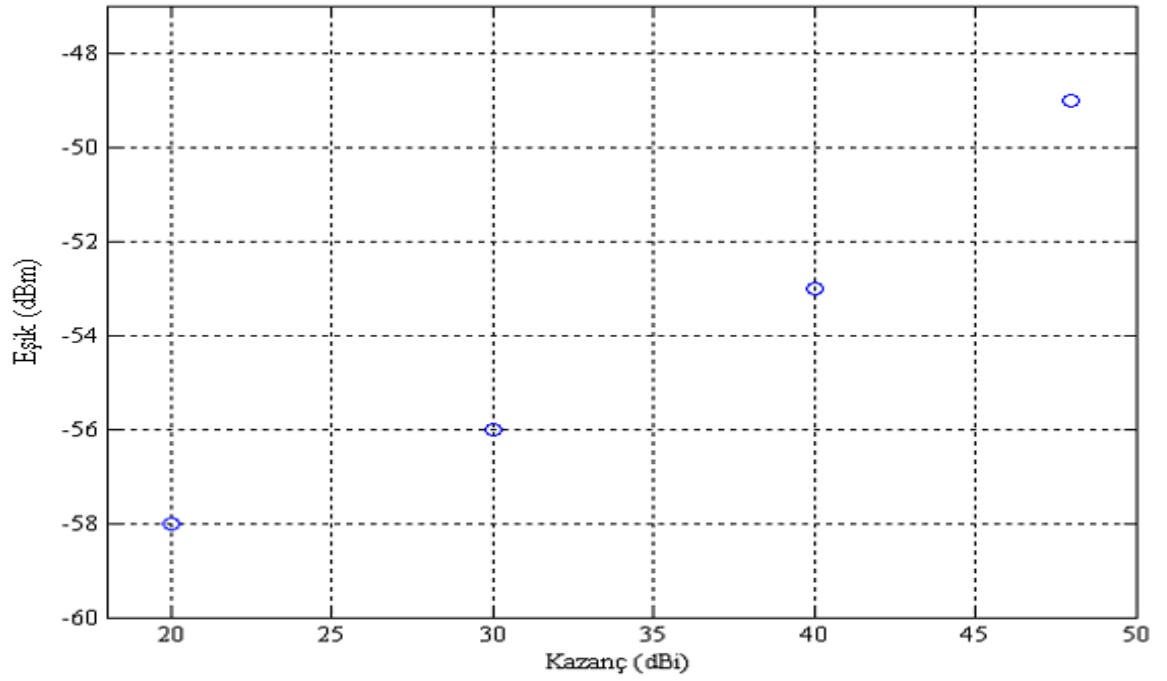
Şekil 4.8 K radarı için 40 dBi ana demet anten kazancında farklı anten yüksekliklerindeki eşik seviyeleri



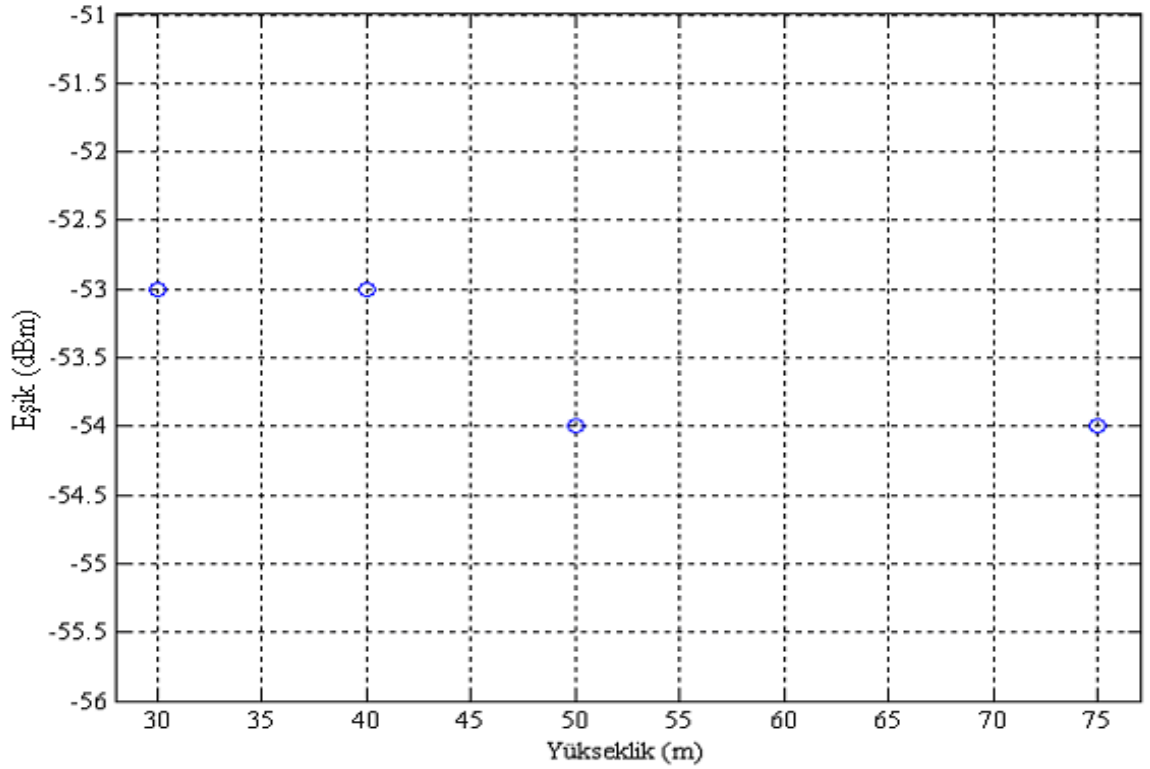
Şekil 4.9 K radarı için 48 dBi ana demet anten kazancında farklı anten yüksekliklerindeki eşik seviyeleri

Çizelge 4.4 K radarı için değişik ana demet anten kazançları ve yüksekliklerindeki eşik seviyeleri

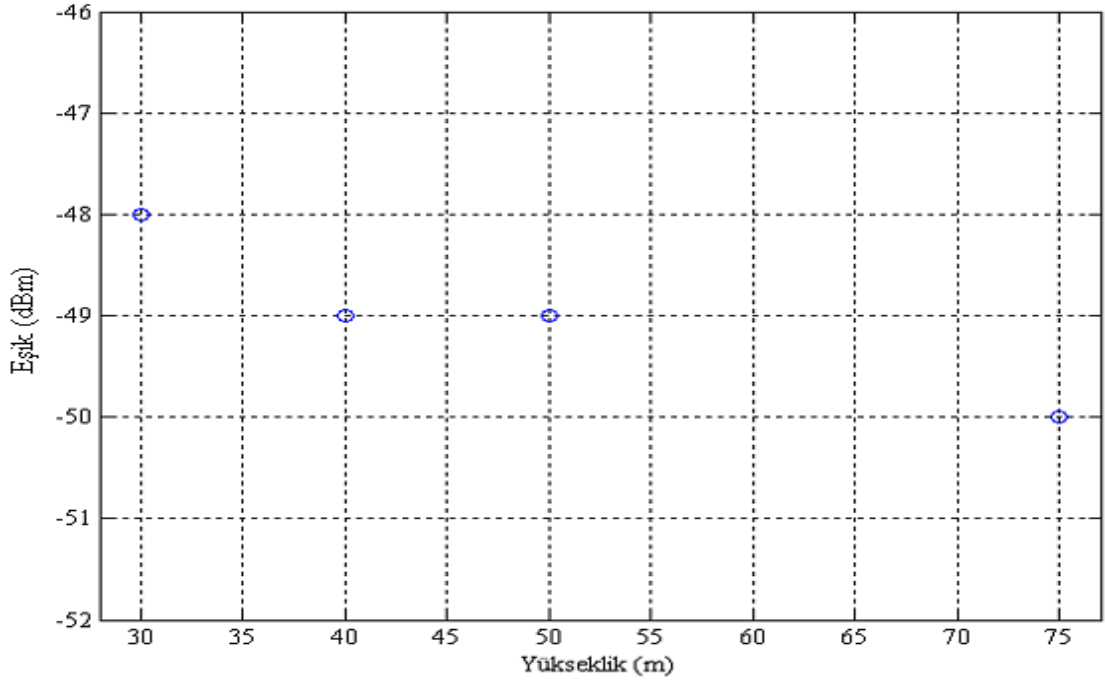
Ana Demet Anten Kazancına Göre			Anten Yüksekliğine Göre		
Kazanç (dBi)	Yükseklik (m)	Eşik (dBm)	Kazanç (dBi)	Yükseklik (m)	Eşik (dBm)
20	20	-56	40	30	-52
30	20	-54	40	40	-52
40	20	-51	40	50	-52
48	20	-47	40	75	-53
			48	30	-48
			48	40	-49
			48	50	-49
			48	75	-50



Şekil 4.10 P radarı için 40 m radar anten yüksekliğinde farklı ana demet anten kazançlarındaki eşik seviyeleri



Şekil 4.11 P radarı için 40 dBi ana demet anten kazancında farklı anten yüksekliklerindeki eşik seviyeleri

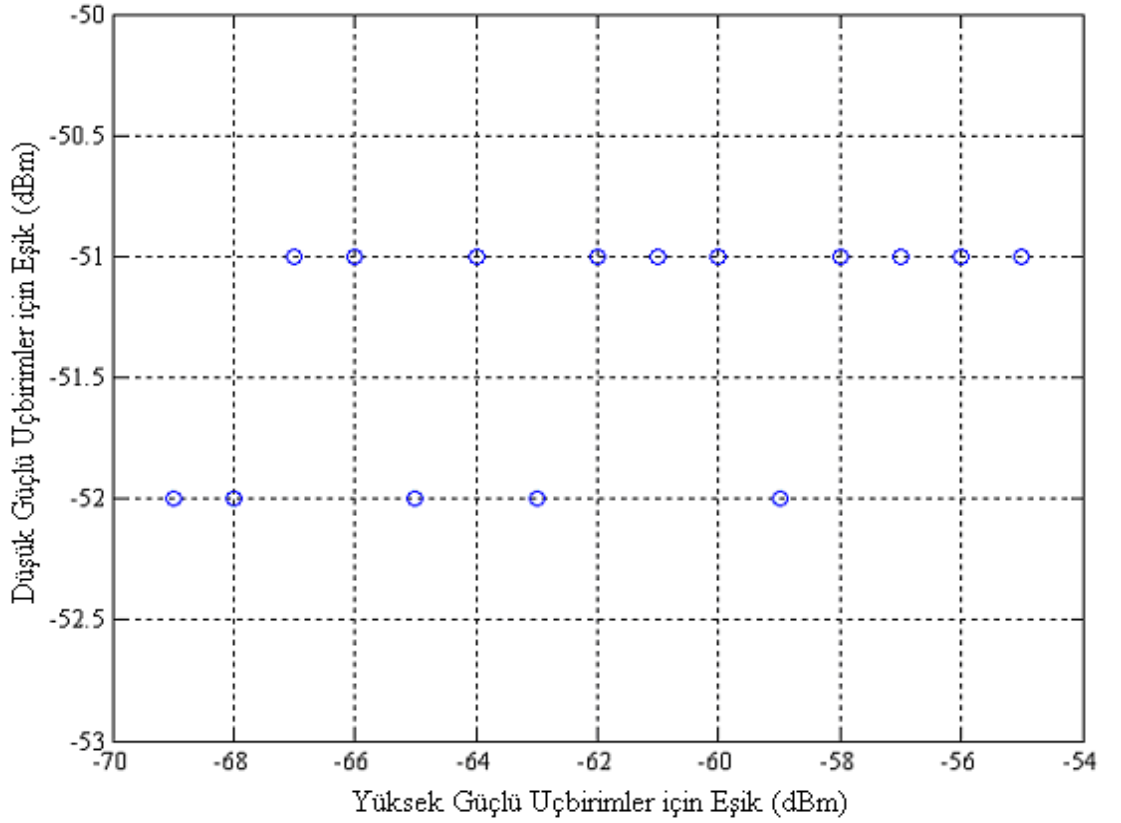


Şekil 4.12 P radarı için 48 dBi ana demet anten kazancında farklı anten yüksekliklerindeki eşik seviyeleri

Çizelge 4.5 P radarı için değişik ana demet anten kazanç ve yüksekliklerindeki eşik seviyeleri

Ana Demet Anten Kazancına Göre			Anten Yüksekliğine Göre		
Kazanç (dBi)	Yükseklik (m)	Eşik (dBm)	Kazanç (dBi)	Yükseklik (m)	Eşik (dBm)
20	40	-58	40	30	-53
30	40	-56	40	40	-53
40	40	-53	40	50	-54
48	40	-49	40	75	-54
			48	30	-48
			48	40	-49
			48	50	-49
			48	75	-50

Yüksek çıkış gücüne sahip uçbirimlerinin eşik değeri düşük tutularak düşük çıkış gücüne sahip uçbirimlerinin eşik değerlerini yüksek tutmanın mümkün olup olmayacağını belirlemek için benzetimler yapılmıştır. Bu benzetimlerde I radarı ele alınmıştır. Çalışmada yüksek güçlü uç birimler (100, 200 ve 1000 mW) için bir eşik tespit edildiğinde, 50 mW gücündeki uç birimler için ayrı bir eşik bulmak üzere benzetimler yapılmıştır. Bunun için yüksek güçlü uç birimlerin eşik seviyesi -55 dBm den itibaren birer dBm azaltılarak her seferinde düşük güçlü uç birimler için eşik değeri aranmıştır. Her bir eşik denemesi için 5000 Monte Carlo benzetimi yapılmış, sonuçlar grafiksel olarak Şekil 4.13'te, çizelge olarak Çizelge 4.6'da sunulmuştur.



Şekil 4.13. I radarı için yüksek güçlü uçbirimlerin eşik değerlerinin sabit tutulması durumunda düşük güçlü uçbirimler için elde edilen eşik seviyeleri

Çizelge 4.6. I radarı için yüksek güçlü uçbirimlerin eşik değerlerinin sabit tutulması durumunda düşük güçlü uçbirimler için elde edilen eşik seviyeleri

1000,200,100 mW için eşik (dBm)	50 mW için eşik (dBm)
-55	-51
-56	-51
-57	-51
-58	-51
-59	-52
-60	-51
-61	-51
-62	-51
-63	-52
-64	-51
-65	-52
-66	-51
-67	-51
-68	-52
-69	-52

Buraya kadar yapılan benzetim modellerinde radarın maruz kaldığı toplam girişim hesaplanırken en kötümser durum (tüm bileşenler aynı fazda) göz önüne alınmıştır. Daha gerçekçi bir benzetim modeli, radar ve her bir TES uçbirimi için tüm bileşenlerin farklı fazda olması ve yayın yapan bütün TES uç birimlerinin sebep olduğu girişimlerin fazlarıyla birlikte toplanması ile elde edilir. Bu şekilde, C, I, K ve P radarlarının her biri için kendi karakteristiklerinde yapılan 5000 Monte Carlo benzetimi sonucunda elde edilen eşik seviyeleri Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Radarların kendi karakteristiklerinde elde edilen fazlı eşik seviyeleri

Radar	Kazanç (dBi)	Yükseklik (m)	Eşik (dBm)
C	44	10	-51
I	40-50	6-30	-45
K	38.3	20	-40
P	28	40	-43

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada incelenen tüm radarlar ve farklı anten kazançları göz önüne alındığında; Çizelge 4.1 - Çizelge 4.5'ten de anlaşılacağı gibi telsiz yerel alan ağlarının radarlara zararlı bir girişime sebep olmaması için radar algılama eşliğinin en az -70 dBm olarak seçilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6'da I radarı için yapılan benzetimlerde, iki farklı eşik tespiti durumunda, tek eşik tespitine oranla düşük güçlü uç birimlerin eşik değerinin 2-3 dBm yükseldiği görülmektedir.

Benzetimler sonucunda, farklı tip radarlar için eşik seviyelerinin, kullanılan radarın gücüne, ana demet anten kazancına ve ara frekans bant genişliğine göre önemli değişiklikler gösterdiği; aynı tip radarın farklı ana demet anten kazançlarında elde edilen eşik seviyelerinin ise anten yüksekliklerinin 30-75 m aralığında değişmesi durumundakine göre daha fazla değişim gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 4.7'den de görüleceği gibi girişimlerin fazlı olarak hesaplandığı durumda elde edilen eşik seviyeleri, her bir radar için farklı ölçekte artış göstermektedir.

Benzetimlerde kullanılan radarlar girişime karşı en hassas radarlardır. Bu nedenle çalışmada tespit edilen eşik değerleri kullanımda olan diğer radarları da koruyacaktır.

Çalışmada radar ve TES uç birimlerinin aynı frekansta çalıştıkları durum ele alınmıştır. Sistemlerin komşu kanallarda işlemesi durumunda da girişim analizi yapılması gereklidir.

KAYNAKLAR

- Brandão, A.L., Sydor, J. and Brett, W. 2005. 5 GHz RLAN Interference on Active Meteorological Radars. IEEE VTC2005-Spring, 5 s., Stockholm, Sweden.
- Crystal Ball Risk Analysis Software & Solutions. 2005. Web sitesi. <http://www.decisioneering.com/monte-carlo-simulation.html>. Erişim Tarihi: 09.11.2005.
- ITU-R Document 8B/179-E. 2001. Preliminary Interference Analysis on Certain Meteorological Radars from Wireless Access Systems in the Band 5 600-5 650 MHz. ITU-R, 8 s., İsviçre.
- ITU-R Document 8B/110-E. 2001. Preliminary Analysis of Airborne Radiolocation System Interference arising from the Implementation of 5 GHz Hyperlan II RLANs. ITU-R, 9 s., İsviçre.
- ITU-R Document 8A-9B/127-E. 2002. Dynamic frequency selection (DFS) in wireless access systems including RLANs for the purpose of radar interference avoidance in the frequency bands 5 250-5 350 and 5 470-5 725 MHz. ITU-R, 15 s., İsviçre.
- ITU-R Document 8B/245-E. 2002. Preliminary Interference Analysis on Certain Meteorological Radars from Indoor Wireless Access Systems Including RLANs in the Band 5 600-5 650 MHz. ITU-R, 9 s., İsviçre.
- ITU-R Document 8/BL/9-E. 2002. Characteristics of Broadband Radio Local Area Networks (RLANs). ITU-R, 19 s., İsviçre.
- ITU-R Document 8A-9B/109-E. 2002. An Examination of the Technical Requirements for Wireless Access Systems (WAS) Co-existing with Radiolocation Systems in the 5 GHz Band. ITU-R, 12 s., İsviçre.
- ITU-R Document 8A-9B/149-E. 2002. Sharing between an Aggregate of Radio Local Area Networks (RLANs) and Radar Systems in the 5 GHz Band. ITU-R, 46 s., İsviçre.
- ITU-R Document 8A-9B/154-E. 2002. Analysis of the Potential for Sharing between Wireless Access Systems (WAS) and Other Services Allocated to the Frequency Bands 5 150-5 350 MHz and 5470-5 725 MHz. ITU-R, 10 s., İsviçre.

- ITU-R Document 8A-9B/153-E. 2002. Analysis of Potential Sharing between Radiodetermination Systems and Wireless Access Systems (WAS) in the 5250-5350 and 5470-5725 MHz Bands. ITU-R, 34 s., İsviçre.
- ITU-R Document 8/1025-E. 2003. Dynamic Frequency Selection in Wireless Access Systems including Radio Local Area Networks for the Purpose of Protecting the Radiodetermination Service in the 5 GHz Band. ITU-R, 19 s., İsviçre.
- Mutti, C., Bauer, F., Schoo, K., Monti, M., Platbrood, F., Pollini, A., Gerrits, J., Ayadi, J. and Siaud, I. 2004. Requirement Specification for PHY-Layer. MAGNET, (507102); 115 s., Danimarka.
- NTIA, 2003. Web sitesi. <http://www.ntia.doc.gov/osmhome/newsletr/spring03/5GHz.htm>. Erişim Tarihi: 25.11.2003.
- Recommendation ITU-R M.1461. 2000. Procedures for Determining the Potential for Interference between Radars Operating in the Radiodetermination Service and Systems in Other Services. ITU-R, 7 s., İsviçre.
- Recommendation ITU-R M.1638. 2003. Characteristics of and Protection Criteria for Sharing Studies for Radiolocation, Aeronautical Radionavigation and Meteorological Radars Operating in the Frequency Bands between 5250 and 5850 MHz. ITU-R, 10 s., İsviçre.
- Steinke, B., Brakensiek, J., Walter, S., Burger, T., Dellsperger, T., Dolwin, C., Burgess, R., Bisiaux, A., Bronzel, M., Seidel, H. and Halimic, M. 2004. Requirement and Scenario Definition. End-to-End Reconfigurability – E²R, (IST-2003-507995/E2R/WP4/D4.1/040725); 61 s., Fransa.
- Tunay, B., Üreten, O., Serinken, N. ve Telatar, Z. 2005. 5 GHz Bandını Paylaşan Telsiz Erişim Sistemleri için Radar Algılama Eşiğinin Tespitine Yönelik bir Benzetim Çalışması. SİU-2005, 4 s., Kayseri.
- WECA Document WP8B-JRG8A-9B_DFS_04. 2002. Parameters for an Aggregate Model Analysis of Sharing between Radio Local Area Network (RLAN) Devices and Meteorological, Radiolocation and Aeronautical Radionavigation Radars Operating in the Range 5250-5725 MHz. 5GHz-Spectrum, (43)-02-r0; 15 s., ABD.

EKLER

EK 1 Hava Telsiz Yöngüdüü ve Meteoroloji Radar Sistemlerinin Karakteristikleri

EK 2 Telsiz ile Konum Belirleme Sistemlerinin Karakteristikleri

EK 3 Matlab Programı

EK 3 Matlab Programı

```
% ANA PROGRAM
```

```
anawas.m
```

```
clc
```

```
close all
```

```
clear all
```

```
tic
```

```
global N;          % TES uçbirimleri sayısı
```

```
global Fc;        % Kullanılan frekans
```

```
global L;         % Kayıplar
```

```
global FDR;       % Frekansa bağlı bastırma
```

```
global was;       % TES uçbirimleri
```

```
global radar;     % Radar
```

```
stepsize = 1;
```

```
araci = zeros(2753,360);
```

```
yukselme = zeros(2753,360);
```

```
G_radar = zeros(2753,360);
```

```
G_was = zeros(2753,360);
```

```
k = 0;
```

```
INR = -10;
```

```
threshold = -42;          % Eşik (dBm)
```

```
sayac = 0;
```

```
guc = 250000;           % Güç (W)
```

EK 3 Matlab Programı (Devam)

```
yuk = 6+24*rand; % Yükseklik (m)
band = 0.1+2.9*rand; % Bant genişliği (Mhz)
kazanc = 40+10*rand; % Ana demet anten kazancı (dBi)
noise = 1.5+6.5*rand; % Gürültü gücü (dB)
frekans = 5600;
fid = fopen('C:\girisim.txt','wt');

while INR<-6
    sayac = sayac + 1
    fprintf(fid,'Benzetim numarası.....:%d\n\n',sayac);
    disabledwas = [ ];
    setparameters(guc,yuk,band,kazanc,noise,frekans); % Girişim parametreleri
    was.DL = threshold;

% cizim;

    fprintf(fid,'Eşik değeri...:%d\n',was.DL);
    fprintf(fid,'Radarın konumu...:(%g,%g)\n',radar.x,radar.y);
    fprintf(fid,'Frekans...:%d\n',Fc);
    fprintf(fid,'Radarın gücü...:%d\n',radar.P);
    fprintf(fid,'Radarın kazancı...:%g\n',radar.G);
    fprintf(fid,'Radarın IF bandı...:%g\n',radar.BW);
    fprintf(fid,'Radarın noise figürü...:%g\n',radar.NF);
    fprintf(fid,'Radarın yüksekliği...:%g\n',radar.h);

    for radar_angle = 96:stepsize:264
        index = radar_angle - 95;
% Radar ile TES terminalleri arasındaki açıları bul
```

EK 3 Matlab Programı (Devam)

```
[araci(:,index),yükselme(:,index)] = aci(radar_angle);
% Radar anten kazancı
G_radar(:,index) = ram(araci(:,index)) ;
% TES anten kazancı
G_was(:,index) = wam(yükselme(:,index));
% TES uçbirimine girişim
I_was = 10*log10(radar.P*1000) + G_radar(:,index).' + G_was(:,index).' - L.b -
L.t - L.r - L.fs - FDR;
% Eşikten dolayı kapanan TES' ler
disabledwas = [disabledwas find(I_was>was.DL)];
end

% Yayınım ufkundan dolayı kapanan TES Uçbirimleri
[out_of_range_terminals] = radiohorizon;

disabledwas = [disabledwas out_of_range_terminals];
disabledwas = unique(disabledwas);

% Kapanan toplam TES uçbirimleri
fprintf(fid,'Disabledwas...:%d\n',length(disabledwas));

% Canlı kalan was terminalleri
enabledwas = setxor(1:N,disabledwas);
fprintf(fid,'Enabledwas...:%d\n',length(enabledwas));

% Radarı tekrar döndür

for radar_angle = 96:stepsize:264
```

EK 3 Matlab Programı (Devam)

```
index = radar_angle - 95;
% Alıcıya özgü gürültü düzeyi(dBm)
Noise = -144 + 10*log10(radar.BW*1000) + radar.NF;
Noise = 10^(Noise/10); % mW
% Frekansa bağlı bastırma (dB)
FDR_if = max(0,20*log10(was.BW/radar.BW));

if length(enabledwas)~=0
    I_radar = 10 * log10(was.P(enabledwas)) + G_radar(enabledwas,index).'+
G_was(enabledwas,index).'- L.b - L.t - L.r - L.fs(enabledwas) - FDR_if;
    I = sum(10.^(I_radar/10)); % Toplam girişim (mW)
    INR(index) = 10*log10(I/Noise); % dB
else
    INR = nan; % Canlı TES yok, radara girişim yok
end
end

fprintf(fid,'Max(INR)...:%g\n',max(INR));
if isnan(max(INR))
    INR = -10;
end
if max(INR)>-6
    threshold = threshold-1;
    display('Girişim var.')
    fprintf(fid,'Radara girişim var.\n\n');
    INR = -10;
    sayac = 0;
else
```


EK 3 Matlab Programı (Devam)

```
fprintf(fid,'Radara girişim yok.\n\n');
end
if sayac==50
    if k==0
        guc = 360000;
        kazanc = 28;
        yuk = 40;
        band = 1.5;
        noise = 5;
        threshold = -41;
        frekans = 5300;
    elseif k==1
        guc = 250000;
        kazanc = 44;
        yuk = 10;
        band = 20;
        noise = 4;
        threshold = -49;
        frekans = 5600;
    elseif k==2
        break;
    end
    sayac=0;
    k = k + 1;
end
end
fclose(fid);
toc
```

EK 3 Matlab Programı (Devam)

```
% PARAMETRELER
```

```
function setparameters(guc,yuk,band,kazanc,noise,frekans)
```

```
global N;          % TES terminalleri sayısı  
global Fc;        % Kullanılan frekans  
global L;        % Kayıplar  
global FDR;      % Frekansa bağlı bastırma  
global was;      % TES uçbirimleri  
global radar;    % Radar
```

```
Fc = 5600;        % MHz
```

```
N = 2753;
```

```
was = struct('x',[ ],'y',[ ],'h',[ ],'R',[ ],'P',[ ],'BW',[ ],'DL',[ ]); % TES yapı oluştur  
radar = struct('x',[ ],'y',[ ],'h',[ ],'P',[ ],'BW',[ ],'G',[ ],'NF',[ ]); % Radar yapı oluştur
```

```
% Radar parametreleri
```

```
rand('state',sum(100*clock))
```

```
% x = (12*rand+28)*exp(j*2*pi*rand);
```

```
radar.P = guc;          % Güç (W)
```

```
radar.x = (12*rand+28); % x-ekseni (km)
```

```
radar.y = 0;           % y-ekseni (km)
```

```
radar.h = yuk;         % Yükseklik (m)
```

```
radar.BW = band;      % Bant genişliği (Mhz)
```

```
radar.G = kazanc;     % Ana demet anten kazancı (dBi)
```

```
radar.NF = noise;     % Gürültü gücü (dB)
```

EK 3 Matlab Programı (Devam)

```
set_was_terminals;
```

```
% Kayıp parametrelerini ayarla
```

```
L = struct('t',[ ],'r',[ ],'b',[ ],'K',[ ],'fs',[ ]); % Kayıp yapı oluştur  
L.t = 0; % Vericideki ek kayıp (dB)  
L.r = 0; % Alıcıdaki ek kayıp (dB)  
L.b = 20*rand; % Yapı kaybı (dB)  
L.K = 20 + 15*rand; % Atmosfer koşullarına bağlı kayıp (dB)  
L.fs = 20*log10(Fc) + (L.K).*log10(was.R) + 32.44; % Yayılma yol kaybı (dB)
```

```
% Frekansa bağlı bastırma (dB)
```

```
FDR = max(0,20*log10(radar.BW/was.BW));
```

```
return
```

EK 3 Matlab Programı (Devam)

% TES UÇBİRİMLERİNİN TANIMLANMASI

```
function set_was_terminals;
```

```
global N;
```

```
global was;
```

```
global radar;
```

```
% N: Toplam TES uçbirimi sayısı
```

```
N1 = round(.6*N);           % 1. bölgedeki uçbirimlerin sayısı
```

```
N2 = round(.3*N);           % 2. bölgedeki uçbirimlerin sayısı
```

```
N3 = round(.1*N);           % 3. bölgedeki uçbirimlerin sayısı
```

```
r1 = 4;                       % 1. bolgenin yarıçapı
```

```
r2 = 12;                       % 2. bolgenin yarıçapı
```

```
r3 = 25;                       % 3. bolgenin yarıçapı
```

```
% TES anten yukseklikleri (m)
```

```
h1 = 30;
```

```
h2 = 6;
```

```
h3 = 6;
```

```
% TES uçbirim güçleri (mW)
```

```
P1 = 1000;
```

```
P2 = 200;
```

```
P3 = 100;
```

```
P4 = 50;
```

EK 3 Matlab Programı (Devam)

```
% Güce göre TES uçbirim sayısı
nP1 = round(5*N/100);      % P1 Gücündeki TES uçbirimlerinin sayısı
nP2 = round(25*N/100);    % P2 Gücündeki TES uçbirimlerinin sayısı
nP3 = round(40*N/100);    % P3 Gücündeki TES uçbirimlerinin sayısı
nP4 = round(30*N/100);    % P4 Gücündeki TES uçbirimlerinin sayısı

rand('state',sum(100*clock))

% 1. Bölgedeki TES' lerin dağılımı
p(1:N1) = r1*rand(1,N1).*exp(j*2*pi*rand(1,N1));

% 2. Bölgedeki TES' lerin dağılımı
p(N1+1:N1+N2) = (r1 + (r2-r1) * rand(1,N2)).*exp(j*2*pi*rand(1,N2));

% 3. Bölgedeki TES' lerin dağılımı
p(N1+N2+1:N1+N2+N3) = (r2 + (r3-r2) * rand(1,N3)).*exp(j*2*pi*rand(1,N3));

% Uçbirim konumları
was.x = real(p);
was.y = imag(p);

% Uçbirim yükseklikleri (m)
was.h(1:N1) = rand(1,N1)*h1;
was.h(N1+1:N1+N2) = rand(1,N2)*h2;
was.h(N1+N2+1:N1+N2+N3) = rand(1,N3)*h3;

% Uçbirimlerin radara uzaklıkları (km)
was.R = sqrt((was.x-radar.x).^2 + (was.y-radar.y).^2 + (1e-3*was.h - 1e-3*radar.h).^2);

% Rasgele seçim
r = randchoice(N);
```

EK 3 Matlab Programı (Devam)

```
% Terminal güçleri (mW)
was.P(r(1:nP1)) = P1;
was.P(r(nP1+1:nP1+nP2)) = P2;
was.P(r(nP1+nP2+1:nP1+nP2+nP3)) = P3;
was.P(r(nP1+nP2+nP3+1:nP1+nP2+nP3+nP4)) = P4;

was.BW = 20; % TES Bant genişliği (MHz)

was.DL = [ ]; % TES duyarlılığının azalma seviyesi (dBm)
return
```

EK 3 Matlab Programı (Devam)

`% RASGELE SEÇİM`

`function r = randchoice(N);`

`x = 1:N;`

`k = 1;`

`rand('state',sum(100*clock))`

`while N>0`

`p = randint(1,1,N)+1;`

`r(k) = x(p);`

`x = [x(1:p-1) x(p+1:N)];`

`N = length(x);`

`k = k+1;`

`end`

`return`

EK 3 Matlab Programı (Devam)

```
% GRAFİK
```

```
function cizim
```

```
global N;
```

```
global was;
```

```
global radar;
```

```
N1 = round(.6*N); % 1. bolgedeki terminallerin sayisi
```

```
N2 = round(.3*N); % 2. bolgedeki terminallerin sayisi
```

```
N3 = round(.1*N); % 3. bolgedeki terminallerin sayisi
```

```
figure,plot(was.x(1:N1),was.y(1:N1),'*r')
```

```
    grid
```

```
    hold
```

```
    plot(was.x(N1+1:N1+N2),was.y(N1+1:N1+N2),'+g')
```

```
    plot(was.x(N1+N2+1:N1+N2+N3),was.y(N1+N2+1:N1+N2+N3),'xb')
```

```
    plot(radar.x,radar.y,'k*')
```

```
r(1) = 4;
```

```
r(2) = 12;
```

```
r(3) = 25;
```

```
for j=1:3
```

```
    k=1;
```

```
    for i=0:0.01:2*pi
```

```
        x(k)=r(j)*cos(i);
```

```
        y(k)=r(j)*sin(i);
```

```
        k=k+1;
```

```
    end
```

```
    plot(x,y,'k')
```

```
end
```

```
return
```


EK 3 Matlab Programı (Devam)

% YAN AÇI ve YÜKSELME AÇISI

```
function [araci,yukselme] =aci(radar_angle);
```

```
global N;
```

```
global was;
```

```
global radar;
```

```
farkx=was.x-radar.x;
```

```
farky=was.y-radar.y;
```

```
w2r=180*atan2(farky,farkx)/pi;
```

```
w2r(find(w2r<0)) = w2r(find(w2r<0)) + 360;
```

```
yukselme = atan2(radar.h-was.h,1e3*was.R)*180/pi; % Yükselme açısı
```

```
araci = abs(w2r-radar_angle);
```

```
araci(find(araci>180)) = 360 - araci(find(araci>180)); % Yan aç
```

```
return
```

EK 3 Matlab Programı (Devam)

```
% RADAR ANTEN MODELİ
```

```
function G_t = ram(araci)
```

```
global N;
```

```
global radar;
```

```
if radar.G >= 48 % Çok yüksek kazançlı antenler için açılar
```

```
    teta_M = 50 * (0.25*radar.G + 7)^0.5 / 10^(radar.G/20);
```

```
    teta_R = 27.466 * 10^(-0.3*radar.G/10);
```

```
    teta_B = 48;
```

```
elseif radar.G >= 22 % Yüksek kazançlı antenler için açılar
```

```
    teta_M = 50 * (0.25 * radar.G + 7)^0.5 / 10 ^ (radar.G/20);
```

```
    teta_R = 250 / 10 ^ (radar.G/20);
```

```
    teta_B = 48;
```

```
elseif radar.G >= 10 % Orta kazançlı antenler için açılar
```

```
    teta_M = 50 * (0.25 * radar.G + 7)^0.5 / 10^(radar.G/20);
```

```
    teta_R = 250 / 10^(radar.G/20);
```

```
    teta_B = 131.8257 * 10^(-radar.G/50);
```

```
end
```

```
M = find(araci >=0 & araci <= teta_M);
```

```
R = find(araci >teta_M & araci <= teta_R);
```

```
B = find(araci >teta_R & araci <= teta_B);
```

```
C = find(araci >teta_B & araci <= 180);
```

```
if radar.G >= 48 % Çok yüksek kazançlı antenler için kazanç
```

```
    G_t(M) = radar.G - 4 * (10^-4) * (10^(radar.G/10)) * araci(M).^2;
```

EK 3 Matlab Programı (Devam)

```
G_t(R) = 0.75 * radar.G - 7;  
G_t(B) = 29 - 25 * log10(araci(B));  
G_t(C) = -13;  
elseif radar.G >= 22                                % Yüksek kazançlı antenler için kazanç  
    G_t(M) = radar.G - 4 * 10^-4 * (10 ^ (radar.G/10)) * araci(M).^2;  
    G_t(R) = 0.75 * radar.G - 7;  
    G_t(B) = 53 - (radar.G/2) - 25 * log10(araci(B));  
    G_t(C) = 11 - radar.G/2;  
elseif radar.G >= 10                                % Orta kazançlı antenler için kazanç  
    G_t(M) = radar.G - 4 * 10^-4 * (10^(radar.G/10)) * araci(M).^2;  
    G_t(R) = 0.75 * radar.G - 7;  
    G_t(B) = 53 - (radar.G/2) - 25 * log10(araci(B));  
    G_t(C) = 0;  
end  
  
return
```

EK 3 Matlab Programı (Devam)

```
% TES ANTEN MODELİ
```

```
function [G_r] = wam(yukselme)
```

```
global N;
```

```
Y45 = find(yukselme>=45);
```

```
Y35 = find(yukselme>=35 & yukselme<45);
```

```
Y0 = find(yukselme>=0 & yukselme<35);
```

```
Y15 = find(yukselme>=-15 & yukselme<0);
```

```
Y30 = find(yukselme>=-30 & yukselme<-15);
```

```
Y60 = find(yukselme>=-60 & yukselme<-30);
```

```
Y90 = find(yukselme>=-90 & yukselme<-60);
```

```
% TES anten kayıpları
```

```
G_r(Y45) = - 4;
```

```
G_r(Y35) = - 3;
```

```
G_r(Y0) = 0;
```

```
G_r(Y15) = - 1;
```

```
G_r(Y30) = - 4;
```

```
G_r(Y60) = - 6;
```

```
G_r(Y90) = - 5;
```

```
return
```

EK 3 Matlab Programı (Devam)

```
% TELSİZ YAYINIM UFKU
```

```
function out_of_range_terminals = radiohorizon;
```

```
global was;
```

```
global radar;
```

```
washorizon = 130*sqrt(1e-3*was.h);           % TES ufku  
radarhorizon = 130*sqrt(1e-3*radar.h);       % Radar ufku  
horizon = washorizon + radarhorizon;  
out_of_range_terminals = find(was.R>(washorizon+radarhorizon));
```

```
return
```

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Başar Tunay

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Tarihi : 21.07.1980

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve yıl)

Lise : Sincan Süper Lisesi 1994-1998

Lisans : Ankara Üniversitesi 1998-2002

Çalıştığı Kurum ve Yıl

Türk Telekom Genel Müdürlüğü Kasım 2003-Aralık 2004

Türk Telekom Ankara İl Telekom Müdürlüğü Aralık 2004-....

Yayınları

5 GHz Bandını Paylaşan Telsiz Erişim Sistemleri için Radar Algılama Eşiğinin

Tespitine Yönelik bir Benzetim Çalışması, SIU-KAYSERİ 2005