İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

WİMAX TELSİZ AĞLARI ve İLETİŞİM SİSTEMİNİN BAŞARIM BENZETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan AKMAZ

Anabilim Dalı : Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Programı : Telekomünikasyon Mühendisliği

EYLÜL 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

WİMAX TELSİZ AĞLARI ve İLETİŞİM SİSTEMİNİN BAŞARIM BENZETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan AKMAZ
504061319

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31 Ağustos 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 24 Eylül 2009

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Selçuk PAKER (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Sema F. OKTUĞ (İTÜ)
Doç. Dr. İbrahim ALTUNBAŞ (İTÜ)

EYLÜL 2009

ÖNSÖZ

Bana bu konuda çalışmam için olanak sağlayan ve tezimin hazırlanmasında büyük katkısı olan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Selçuk Paker'e, yüksek lisans eğitimim süresince yapmış oldukları katkıdan dolayı TUBİTAK-BİDEB kurumuna, bana WiMAX konusunda çalışma olanağı veren değerli müdürlerim Sayın İhsan Özcan ve Sayın Ataç Tansug'a, benden yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma ve en son olarak tüm eğitim hayatım boyunca eğitimimi en iyi şekilde sürdürmem için elinden gelen her şeyi yapan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2009

Hakan Akmaz
Mühendis

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **xiii**
SUMMARY ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
2. WIMAX TELSİZ ŞEBEKELERİ **5**
2.1 WiMAX Standartları IEEE 802.16 6
2.2 WiMAX Şebeke Yapısı 7
2.3 Servis Kalitesi (QoS) 8
2.4 WiMAX Fiziksel Katman 9
2.4.1 WiMAX OFDM parametreleri 9
2.4.2 OFDMA 10
2.4.2.1 TDD çerçeve yapısı 10
2.4.3 WiMAX için uyarlamalı modülasyon ve kodlama 12
3. UYARLAMALI ANTEN SİSTEMİ **15**
3.1 DL Hüzme Şekillendirme 16
3.2 Hüzme Şekillendirme Örneği 18
3.3 Uyarlamalı Anten Örnekleri 18
4. BENZETİM ARACI İLE RADYO ŞEBEKESİ PLANLAMA **21**
4.1 Çalışma Ortamı 21
4.2 WiMAX Şebekelerinin Modellenmesi 22
4.2.1 Frekans ve band genişliğinin belirlenmesi 22
4.2.2 Çerçeve yapısının belirlenmesi 23
4.2.3 Radyo taşıyıcılarının belirlenmesi 24
4.2.4 Verici özellikleri 25
4.3 WiMAX Propagasyon Model Seçimi 27
4.3.1 COST-231 Hata propagasyon modeli 28
4.3.2 Standart propagasyon modeli (SPM) 28
4.4 Trafik Modellemesi 30
4.4.1 Bölge türleri ve ağırlıklarının tanımlaması 30
4.4.2 Kullanıcı profilinin tanımlaması 31
4.4.4 Kullanıcı mobilite türünün tanımlanması 33
4.4.5 Kullanıcı servis türlerinin tanımlanması 34
4.5 Coğrafi Verilerin Eklenmesi 34
5. WIMAX BAŞARIM BENZETİM SONUÇLARI **37**
5.1 Benzetimi Yapılan Ekipmanların Özellikleri 37
5.1.1 Baz istasyonu 37
5.1.2 Anten özellikleri 38
5.1.3 Kullanıcı cihazı özellikleri 38
5.2 Radyo Planlama Girdileri 39
5.2.1 Radyo frekans bilgileri 39
5.2.2 Saha bilgileri 39
5.3 Link Bütçesi (Link Budget) Hesabı 41

5.3.1 Uyarlamalı anten kullanılmama koşulunda link bütçesi hesabı 41
5.3.2 Uyarlamalı anten kullanılma koşulunda link bütçesi hesabı 42
5.4 Benzetim Sonuçları 43
6. SONUÇLAR 47
KAYNAKLAR 49

KISALTMALAR

2G : Second Generation (İkinci Nesil)
2,5G : 2,5. Generation (2,5. Nesil)
3G : Third Generation (Üçüncü Nesil)
AAA : Authentication-Authorization-Accounting (Kimlik Denetimi-Yetki-Ücretlendirme)
AAS : Adaptive Antenna System (Uyarlamalı Anten Sistemi)
AMC : Adaptive Modulation and Coding (Uyarlamalı Modülasyon ve Kodlama)
ASN : Access Service Network (Erişim Hizmet Şebekesi)
ASN GW : Access Service Network Gateway (Erişim Hizmet Şebekesi Ağ Geçidi)
BPSK : Binary Phase Shift Keying (İkili Faz Kaydırmalı)
BS : Base Station (Baz İstasyonu)
CDMA : Code Division Multiple Access (Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
C/N : Carrier/Noise (Taşıyıcı/Gürültü)
C/I : Carrier/Interference (Taşıyıcı/İnterferans)
COST : Cooperation in the field of Scientific and Research (Bilim ve Araştırma Alanında İşbirliği)
CPE : Costumer Premises Equipment (Müşteri Yerleşke Cihazı)
CSN : Connectivity Service Network (Bağlantı Hizmet Şebekesi)
dB : Decibel (Desibel)
DL : Downlink (Aşağı Link)
E2E : End-to-End (Baştan-Sona)
EIRP : Equivalent Isotropic Radiated Power (Eşdeğer İzotropik Yayılan Güç)
ERT-VR : Extended Real-time Variable Rate (Arttırılmış Gerçek Zamanlı Değişken Hız)
FFT : Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)
FTP : File Transfer Protocol (Dosya Aktarım Protokolü)
GHz : Gigahertz
GPRS : General Packet Radio Service (Genel Paket Radyo Servisi)
GSM : Global System for Mobile Communications (Mobil İletişim için Küresel Sistem)
GW : Gateway (Ağ Geçidi)
HA : Home Agent (Ana Aracı)
HPWB : Half-Power Beamwidth (Yarım Güç Hüzme Genişliği)
ID : Identity (Kimlik)
IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik-Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
IP : Internet Protocol (İnternet Protokolü)
kHz : Kilohertz
LOS : Line of Sight (Görüş Hattı)

LTE : Long Term Evolution (Uzun Vadeli Dönüşüm)
MAPL : Maximum Allowable Path Loss (En Fazla İzin Verilebilen Yol Kaybı)
Mbit/s : Megabit/second (Megabit/saniye)
MHz : Megahertz
MIMO : Multiple Input Multiple Output (Çok-Girişli Çok-Çıkışlı)
NRTPS : Non-real-time Polling Services (Gerçek Zamanlı Olmayan Sorgulama Servisi)
OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklama)
OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiple Access (Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklu Erişim)
PUSC : Partial Usage of Subcarriers (Alt taşıyıcıların Parçalı Kullanımı)
QAM : Quadrature Amplitude Modulation (Dörtlü Genlik Modülasyonu)
QoS : Quality of Service (Servis Kalitesi)
QPSK : Quadrature Phase Shift Keying (Dörtlü Faz Kaydırmalı)
PL : Path Loss (Yol Kaybı)
RTG : Recive to transmit Guard Time (Alıcı Gönderici Arası Koruma Zamanı)
RTPS : Real-time Polling Services (Gerçek Zamanlı Sorgulama Servisi)
SNR : Signal Noise Ratio (Sinyal Gürültü Oranı)
SOFDMA : Scalable OFDMA (Ölçeklenebilir OFDMA)
SPM : Standard Propagation Model (Standart Propagasyon Modeli)
TDD : Time Division Duplex (Zaman Bölmeli Çoklama)
TD-SCDMA : Time Division- Synchronous CDMA
TTG : Transmit to Transmit Guard Time (Gönderici-Gönderici Arası Koruma Zamanı)
Tx/Rx : Transmitter/Receiver (Verici/Alıcı)
UGS : Unsolicited Grant Services (İstenilmeden Verilmiş Servis)
UL : Uplink (Yukarı Link)
UMTS : Universal Mobile Telecommunications System (Uluslararası Mobil İletişim Sistemi)
VoIP : Voice over IP (IP Üzerinden Ses İletimi)
WCDMA : Wideband Code Division Multiple Access (Genişband Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
WiMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access (Mikrodalga Erişim için Dünya Çapında Birlike Çalışabilirlik)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : IEEE 802.16 standartları. **6**
Çizelge 2.2 : WiMAX sistem profilleri. **7**
Çizelge 2.3 : WiMAX'te kullanılan OFDM parametreleri. **10**
Çizelge 2.4 : Mobil WiMAX veri hızları. **13**
Çizelge 3.1 : Andrew ve RFS uyarlamalı anten parametreleri. **19**
Çizelge 4.1 : Cost-213 Hata modeli ile SPM'nin karşılaştırılması. **29**
Çizelge 4.2 : SPM 2.5 GHz ile 3.5 GHz parametreleri..... **30**
Çizelge 5.1 : Saha bilgileri. **40**
Çizelge 5.2 : Bina için AAS olmadan link bütçesi hesabı. **41**
Çizelge 5.3 : Bina içi AAS aktif link bütçesi hesabı. **42**
Çizelge 5.4 : Sinyal seviyelerine göre kapsama alanları. **44**
Çizelge 5.5 : C/(I+N) seviyelerine göre kapsama alanları..... **45**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : WiMAX şebeke yapısı. **8**
Şekil 2.2 : TDD OFDMA çerçeve yapısı. **12**
Şekil 3.1 :Çok demetli anten..... **15**
Şekil 3.2 : Uyarlamalı anten dizileri ve anten ışıma modeli..... **15**
Şekil 3.3 : Uyarlamalı anten sistemi. **16**
Şekil 3.4 : Uyarlamalı anten gösterimi. **17**
Şekil 3.5 : Hüzme şekillendirme örnek model..... **18**
Şekil 4.1 : Proje seçimi. **21**
Şekil 4.2 : WiMAX çalışma ortamı. **22**
Şekil 4.3 : Frekans seçimi. **23**
Şekil 4.4 : Çerçeve yapısının belirlenmesi. **24**
Şekil 4.5 : Taşıtıcı parametreleri..... **25**
Şekil 4.6 : Radyo koşullarına göre taşıyıcı seçimi..... **25**
Şekil 4.7 : Verici parametreleri..... **26**
Şekil 4.8 : Hücre parametreleri. **27**
Şekil 4.9 : Propagasyon modelleri. **27**
Şekil 4.10 : Trafik modellemesi. **31**
Şekil 4.11 : Bölge türü özellikleri..... **32**
Şekil 4.12 : Kullanıcı profil özellikleri. **32**
Şekil 4.13 : Kullanıcı cihaz özellikleri. **33**
Şekil 4.14 : Kullanıcı mobilite tanımlaması. **33**
Şekil 4.15 : Kullanıcı servis özellikleri. **34**
Şekil 4.16 : Koordinat bölgesinin seçilmesi. **35**
Şekil 4.17 : Planlama aracına eklenen harita türleri. **35**
Şekil 5.1 : Kathrein anten yatay ve dikey örüntü modeli. **38**
Şekil 5.2 : Bina dışı AAS'siz sinyal seviyesi benzetimi (Ölçek: 1/10,000). **43**
Şekil 5.3 : Bina dışı AAS aktif sinyal seviyesi benzetimi (Ölçek: 1/10,000)..... **44**
Şekil 5.4 : Bina dışı AAS'siz C/(I+N) DL seviyesi benzetimi (Ölç.: 1/10,000). **45**
Şekil 5.5 : Bina dışı AAS aktif C/(I+N) DL seviyesi benzetimi (Ölçek: 1/10,000).. **46**

WİMAX TELSİZ AĞLARI ve İLETİŞİM SİSTEMİNİN BAŞARIM BENZETİMİ

ÖZET

Son yıllarda telsiz iletişim sistemlerinin giderek yaygılaşmasıyla beraber telsiz iletişimi daha etkin bir şekilde gerçekleştirme çalışmaları da giderek artmıştır. GSM ile yaygınlaşmaya başlayan telsiz iletişim, gereksinimlerin giderek artmasıyla beraber 3. nesil (3G) gibi birçok hizmetin aynı anda verilebildiği sistemlerle gelişimini sürdürmüştür. Birçok hizmetin aynı anda verilebilmesi için yüksek veri hızlarına gereksinim duyulmaktadır. Veri iletim hızını arttırmak için daha hızlı veri iletimine olanak veren modülasyon teknikleri ve hava ara yüzü iletim yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Veri iletim hızının artmasına olanak veren bu modülasyon tekniklerini kullanabilmek için radyo sinyal kalitesinin arttırılması gerekmektedir. Bunun için uyarlamalı anten sistemleri (AAS) ve çok girişli-çok çıkışlı (MIMO) gibi anten teknolojileri kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca bu yeni anten teknolojileri kullandıkları yeni teknikler sayesinde hücre kapsama alanının da artmasına olanak sağlamaktadırlar.

WiMAX'te son yıllarda ortaya çıkan telsiz haberleşme sistemlerinden bir tanesidir. Telsiz haberleşme sistemlerinde, WiMAX'te olduğu gibi kullanılan yeni anten teknolojileriyle daha hızlı veri iletimine ve kapsama alanının artmasına olanak sağlanmaktadır. Bu tezde bu anten teknolojilerinden biri olan uyarlamalı anten teknolojisi kullanılma durumunda WiMAX telsiz iletişim sisteminde ne gibi kazançlar sağlanacağı planlama aygıtı yardımıyla gözlemlenmiştir. Bu gözlemlerden çıkarsamalar yapılarak uyarlamalı anten başarımının WiMAX telsiz ağları üzerinden gösterilmesi planlanmıştır.

Planlama yapılırken Brüksel'de trafiğin yoğun olduğu bir bölge seçilmiştir. İlk olarak AAS kullanma ve kullanmama durumuna göre link bütçesi hesabı yapılmış bu hesap sonuncuna göre her iki durum için de hücre çapları hesaplanmıştır. Buna göre AAS kullanmanın hücre çapını %50 oranında arttırabileceği sonucuna varılmıştır. Radyo planlama aygıtında dört saha seçilerek planlama yapılmıştır. Planlama aygıtında sahaların konumu belirlendikten sonra AAS kullanılma ve kullanılmama durumları, trafiğe bağımlı olma ve trafikten bağımsız olma şeklinde dört farklı kestirim sonucu elde edilmiştir. Bu kestirimler ile AAS kullanmanın hücre kapsama alanında %40-%50 oranında artışa neden olduğu sonucuna varılmıştır.

PERFORMANCE SIMULATION OF THE WIMAX WIRELESS NETWORK SYSTEMS

SUMMARY

Nowadays, workings are increased on the wireless communication to provide more efficient wireless system due to wireless communication systems become more and more widespread. Wireless communication, which starts to develop with GSM technology, continues to develop with the other wireless technologies like 3G, which provides a few services at the same time. Reaching high data rates is required to provide a few services at the same time. New modulation techniques and access methods are used to reach high data rates. Signal quality has to be increased to use these modulation techniques. AAS and MIMO are used to increase signal quality. In addition to this, these antenna technologies provides to increase coverage of the cell.

WiMAX is one of these wireless technologies, which occurs in recent years. New antenna technologies, which are used for wireless technologies such as WiMAX, provide more capacity and coverage. In this thesis, effects of the using AAS on WiMAX wireless system are observed through radio planning tool. The intention of this thesis is to indicate adaptive antenna success on WiMAX systems.

Dense urban region is selected in Brussels as a planning area. Firstly, link budget is calculated according to with-AAS and without-AAS situations on the WiMAX system. After that, cell radiuses are calculated according to results of the link budget calculations. %50 cell range extension is observed in case of AAS usage. Four sites are selected for simulation on the radio planning tool. After selection these sites, four cases which are traffic dependent with AAS, traffic dependent without AAS, traffic independent with AAS, traffic independent without AAS are predicted. As a result, usage of the AAS increases cell coverage approximately %40-%50.

1. GİRİŞ

Kablolu iletişim ile dünya çapında yaygınlaşan iletişim teknolojileri, gereksinimler doğrultusunda son yıllarda telsiz iletişim teknolojileri ile gelişimini devam ettirmektedir. Telsiz iletişim sistemleri ses iletiminde büyük başarı sağlayan mobil iletişim için küresel sistem (GSM) teknolojisiyle beraber bütün dünyada yaygınlaşmaya başlamıştır. Kablosuz olarak veri iletiminin öneminin giderek artmasıyla beraber GSM'in veri iletim hızının yeterli olmadığı görülmüş ve genel paket radyo servisi (GPRS) ile birlikte devre bağlaşmalı veri iletiminden paket bağlaşmalı veri iletimine geçiş başlamıştır. 2. nesil (2G) olarak ifade edilen GSM'den sonra 2,5. nesil (2,5G) olan GPRS'e geçiş ile 3. nesil (3G) iletişim sistemlerinin temeli atılmıştır. Genişband kod bölmeli çoklu erişim (WCDMA) hava ara yüzü teknolojisini kullanan 3G teknolojisi olan uluslararası mobil iletişim sistemi (UMTS) genişband iletişim teknolojisi yüksek hızlarda veri iletimine olanak sağladığı için giderek yaygınlaşmaya başladı. GSM ile başlayan GPRS ve UMTS ile devam eden telsiz iletişim teknolojilerinde veri iletim hızı açısından büyük ilerleme kaydedilmiş olsa da bu gereksinimleri karşılayacak düzeye hala ulaşamamıştır. Bu noktada ortogonal frekans bölmeli çoklu erişim (OFDMA) hava ara yüzü iletim tekniğini kullanarak yüksek modülasyon seviyelerini ulaşmaya olanak sağlayan mikrodalga erişim için dünya çapında birlikte çalışabilirlik (WiMAX) teknolojisi ile veri iletim hızı yüksek seviyelere çıkartılmıştır.

WiMAX için özellikle Avrupa'da kullanılan 3.5GHz'lik frekans bandının mobil haberleşme için birçok dezavantajının olması, tam mobiliteyi sağlayacak standartların geliştirilememesi ve WiMAX ile benzer teknikleri kullanan fakat frekans, mobilite ve standartlaşma açısından WiMAX'e göre daha avantajlı olan uzun vadeli dönüşüm (LTE) teknolojisinin ilerde daha da yaygınlaşacağı öngörüsü WiMAX'in yerini LTE teknolojisine bırakacağını göstermektedir. GPRS'in 2.Nesil ile 3.Nesil arasında bir geçiş olduğu düşünülecek olursa, WiMAX'de 3.Nesil ile 4.Nesil arasında bir geçiş teknolojisi olarak değerlendirilebilir. WiMAX'in OFDMA

tabanlı iletişimi gerçekleştirmesi ve baştan sona IP tabanlı bir teknoloji olması özellikleri, LTE gibi bir sonraki teknolojilere aktarılmıştır.

Telsiz iletişimde daha yüksek veri iletim hızlarına erişebilmek için farklı anten teknolojileri geliştirilmiştir. Akıllı anten teknolojisi olarak bilinen uyarlamalı anten sistemi (AAS) de hızı artırmak için kullanılan anten teknolojilerinden bir tanesidir. AAS, WiMAX haberleşme sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. AAS ile beraber diğer gelişmiş anten teknolojisi olan çok-girişli çok-çıkışlı (MIMO) anten teknolojisinin LTE gibi mobil iletişim teknolojilerinin giderek yayılmasıyla beraber yaygınlaşacağı düşünülmektedir.

Bu tezde, AAS kullanımının sinyal kalitesinde nasıl bir etki ortaya çıkardığı dolayısıyla kapsama alanının ne oranda arttırdığı benzetim aracı ile Brüksel'de bir bölgede benzetim çalışması yapılarak ortaya konulmuştur. Yapılan benzetim çalışmasıyla uyarlamalı anten başarımının WiMAX telsiz iletişim ağları üzerinden gösterilmesi planlanmıştır. Uyarlamalı antenlerin kullanmış oldukları algoritmalardaki katsayıların başarıma etkisiyle ilgilenilmemiştir. Ayrıca MIMO anten teknolojisi de hedef olarak alınmamıştır.

İkinci bölümde, WiMAX teknolojisi genel olarak tanıtılmıştır. Bu bölümde ilk olarak WiMAX standartları anlatılmış daha sonra şebeke yapısı, kullanılan servisler açıklanmış en son olarak OFDMA çerçeve yapısı anlatılmışıdır.

Üçüncü bölümde, AAS anten teknolojisinin özellikleri ve matematik modellemeleri anlatılmış, hüzme şekillendirmeye örnek verilmiş ve bazı uyarlamalı anten modellerinin özellikleri belirtilmiştir.

Dördüncü bölümde, benzetimin yapılacağı planlama aygıtı tanıtılmıştır. Aygıt tanıtımı yapılırken benzetimde kullanılacak olan parametreler de belirlenmiştir. Bu bölümde ayrıca benzetimde kullanılacak olan propagasyon modeli anlatılmıştır.

Beşinci bölümde, Brüksel'de seçilen bölge ve bölgede kullanılan saha özellikleri tanımlandıktan sonra bölge üzerinde benzetim çalışması yapılmıştır. İlk olarak AAS kullanma ve kullanmama durumlarına göre link bütçesi hesabı yapılmış ve her iki duruma göre hücre yarıçapları belirlenmiştir. Daha sonra planlama aygıtı kullanılarak Brüksel'de seçilen bölge üzerinde benzetim çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada AAS kullanma ve kullanmama, trafik bağımlı, trafik bağımsız olma durumları ele alınmıştır.

Sonuç bölümünde, WiMAX şebekesinde AAS anten başarımının ne ölçüde olduğu benzetim sonuçlarından faydalanılarak belirtilmiştir.

1.1 Telsiz İletişim Sistemlerinde AAS Başarım Benzetim Çalışmaları

Telsiz sistemlerdeki başarım için çeşitli benzetim çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar yapılırken WiMAX telsiz sistemi kullanıldığı gibi WiMAX haricindeki telsiz sitemlerde kullanılmıştır. Lerbour, Kurt, Le Helloco ve Breton'un yapmış olduğu çalışmada OFDM ve OFDMA çerçeve yapılarının interferans ve kapasiteye etkisi karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma yapılırken anten teknolojisi olarak uyarlamalı anten teknolojisi kullanmıştır. Sonuç olarak ise OFDMA çerçeve yapısının, birden fazla çok taşıyıcı kullanılmasından dolayı interferansı azalttığı dolayısıyla kapasiteyi arttırdığı sonucuna varmışlardır [1].

Şafak, Özdem ve Uyanık yapmış oldukları WiMAX sisteminin başarım analizi çalışmasında çeşitli algoritmaların, kullanıcı hızlarının, kullanılan frekansın ve OFDM sembol süresinin başarıma etkisini incelemişlerdir. Başarım analizinde anten tipi olarak uyarlamalı anten tipini seçmişlerdir. Sonuç olarak uyarlamalı antenin başarımı arttırdığı ama yüksek frekanslarda, kullanıcı hızının artmasıyla ve OFDM sembol süresini artmasıyla başarımın olumsuz yönde etkilendiği bulgusuna varmışlardır [2].

Huang, Chang, Chen, Wu Mobil WiMAX sistemlerinde AAS in aktif olma ve olmama durumuna göre başarım analizi yapmışlardır. Bu başarım analizinde FTP servisini kullanan kullanıcıların veriminin AAS aktif olduğu durumda daha fazla olduğunu sonucuna varmışlardır. VoIP kullanıcıların da ise yüksek interferans olduğu durumlarda AAS aktif olma durumunun başarımı arttırdığı sonucuna varmışlardır [3]. Yine bazı çalışmalarda WiMAX sisteminde uyarlamalı anten kullanımının interferansı azaltıcı etki yaptığı benzetim araçları yoluyla gözlemlenmiştir [4].

Uyarlamalı anten tipi WiMAX sistemlerinde kullanılabileceği gibi diğer mobil sistemlerde de kullanılabilinmektedir. Göransson, Hagerman, Barta uyarlamalı antenin WCDMA sitemlerinde başarımını incelemişlerdir. Kullanıcı yoğunluğu ve kullanılan anten dizisine göre anten kazancını hesaplamışlardır. Buna göre kullanıcıların yoğun olduğu bölgelerde anten kazancının, 8 dizili bir uyarlamalı antende 6 dB'ye kadar çıkabileceği sonucuna varmışlardır [5].

Bütün bu çalışmalar ele alındığı zaman ortaya çıkan sonuç; uyarlamalı anten teknolojisi kullanmanın interferansı azalttığı dolayısıyla sinyal seviyesini arttırdığı olmuştur. Sinyal seviyesindeki artış yüksek modülasyon tekniklerinin kullanılmasına olanak sağlamıştır. Bundan dolayı uyarlamalı anten teknolojisi, kullanıcıların ulaşabileceği hızın artmasına neden olmuştur. Ayrıca sinyal seviyesindeki bu artış daha uzak noktalara sinyalin ulaşmasını ve dolayısıyla uzak noktalardaki kullanıcıların hizmet alabilmesini sağladığı için kapsama alanı da artmıştır. Kısaca uyarlamalı anten kullanımı hücre kapasitesinin ve kapsama alanının artmasına neden olarak sistem başarımının artmasını sağlamaktadır.

2. WIMAX TELSİZ ŞEBEKELERİ

Geniş bant telsiz iletişim olanağı veren WiMAX, kullanıcılara yüksek hızda internet erişimi ve yüksek kalitede sesli iletişim olanağı sağlamak için IEEE 802.16 standardı altında WiMAX forum tarafından geliştirilmeye başlandı. WiMAX standartları iki ana standart olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan birincisi mobiliteyi desteklemeyen Sabit WiMAX standardı olan IEEE 802.16-2004 diğeri ise mobiliteyi destekleyen ve Mobil WiMAX olarak karşımıza çıkan IEEE 802.16e standardıdır.

WiMAX Forum'un belirlemiş olduğu standartlar çerçevesinde Mobil WiMAX şebeke yapısı üç ana bölüme ayrılmıştır. Bunlardan birincisi kullanıcı cihazlarının bulunduğu kullanıcı cihazları bölümüdür. İkinci bölüm erişim hizmet şebekesi (ASN)'dir. Bu kısımdaki şebeke elemanları ise baz istasyonu (BS) ve erişim hizmet şebekesi ağ geçidi (ASN GW) olmak üzere iki tanedir. Üçüncü bölüm ise bağlantı hizmet şebekesi (CSN)'dir. Bu kısımdaki elemanlar da genel olarak kimlik denetimi-yetki-ücretlendirme (AAA) sunucusu, Ana Aracı (HA), ağ geçidi (GW) olmak üzere üç tanedir.

Kullanıcıların kullanmış olduğu servislerde optimum kaliteyi elde etmeleri için her bir servis içi farklı servis akışları tanımlanmıştır. Bu servis akışları servis kalitesi (QoS) parametrelerine göre sınıflandırılmışlardır.

WiMAX şebekelerinde hava arayüzünde erişim metodu olarak OFDMA metodu kullanılmıştır. Çerçeve yapısı olarak zaman bölmeli çoklama (TDD) en çok kullanılan erişim metodu olmuştur.

Daha geniş kapsama alanının sağlanması ve baz istasyonunun kapasitesinin artması için AAS ve çok-girişli çok-çıkışlı (MIMO) anten sistemleri WiMAX şebekelerinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise WiMAX şebekesinde kullanılmak üzere AAS anten tipi seçilmiştir.

2.1 WiMAX Standartları IEEE 802.16

IEEE 802.16 çalışma grubu ilk olarak 1998'de kablosuz genişband için bir hava arayüzü standardı geliştirmek için toplandı. Grup ilk olarak 10Ghz-66Ghz görüş hattı (LOS) tabanlı bir noktadan-çok noktaya kablosuz genişband sistemi üzerinde yoğunlaştı. Bu çalışmaların ardından ilk 802.16 standardı Kasım 2001'de tamamlandı.

IEEE 802.16 çalışma grubunun daha sonraki çalışmaları sonucunda ortogonal frekans bölmeli çoklama (OFDM) tabanlı fiziksel arayüzü kullanan sabit WiMAX diye adlandırılan 802.16-2004 standardı ortaya çıktı.

En son olarak ta 802.16-2004 standardına mobilitenin de eklenmesiyle IEEE 802.16e-2005 standardı Aralık 2005 yılında tamamlandı. Bu standart Mobil WiMAX diye adlandırılmaktadır [6]. IEEE 802.16 standartları Çizelge 2.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1 : IEEE 802.16 standartları.

	802.16	802.16-2004	802.16e-2005
Tamamlanma zamanı	Aralık-2001	Haziran-2004	Aralık-2005
Frekans bandı	10GHz-66Ghz	2GHz-11Ghz	2GHz-11GHz Sabit 2GHz-6GHz Mobil
Uygulama	Sabit LOS	Sabit LOS	Sabit ve Mobil NLOS
Modülasyon	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Veri hızı	32Mbit/s-134.4Mbit/s	1Mbit/s-75Mbit/s	1Mbit/s-75Mbit/s
Bölmeleme yöntemi	TDD, FDD	TDD, FDD	TDD, FDD
Band genişlikleri	20MHz, 25MHz, 28MHz	1.75MHZ, 3.5MHz, 7MHz, 14MHz, 1.25MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 8.75MHz	1.75MHZ, 3.5MHz, 7MHz, 14MHz, 1.25MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 8.75MHz
Çoklama yöntemi	TDM/TDMA	TDM/TDMA/OFDMA	TDM/TDMA/OFDMA
WiMAX uygulaması	Yok	Sabit WiMAX için 256-OFDM	Mobil WiMAX için SOFDMA

2.1.1 WiMAX sistem profilleri

Teknik çalışma gurubu (TGW) tarafından hazırlanan ve WiMAX forum tarafından onaylanan WiMAX sistem profilleri Çizelge 2.2'de gösterilmiştir. Planlama çalışmaları yapılırken bu profillere uygun frekanslar seçilmeli ve kullanılacak baz istasyonları bu profilleri desteklemelidir.

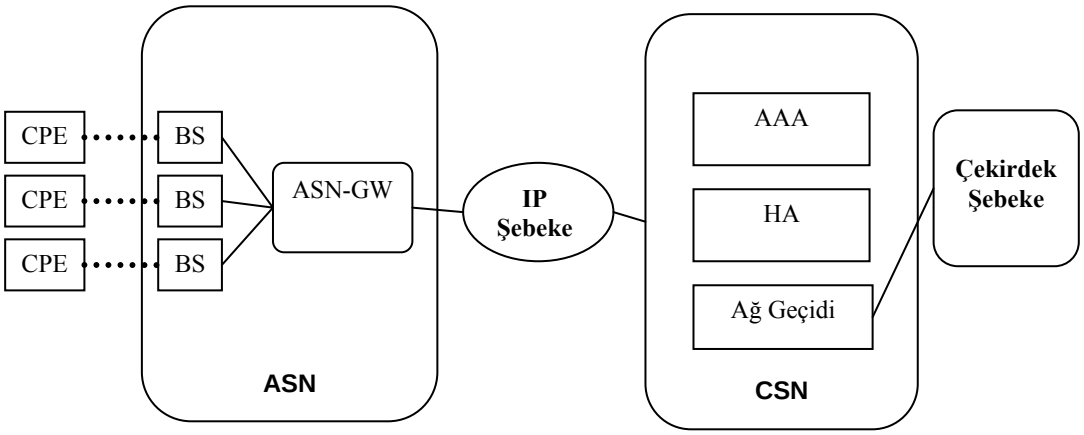
Çizelge 2.2 : WiMAX sistem profilleri.

Sistem Profilleri	Spektrum	Bölmeleme Metodu	Kanal Genişliği
Sabit WiMAX (IEEE 802.16-2004, OFDM)	3.4 – 3.6 Ghz	TDD	3.5 MHz
	3.4 – 3.6 Ghz	TDD	7 MHz
	3.4 – 3.6 Ghz	FDD	3.5 MHz
	3.4 – 3.6 Ghz	FDD	7 MHz
	5.725 – 5.850 Ghz	TDD	10 MHz
IEEE 802.16e-2005, OFDM	4.935 - 4.990 GHz	TDD	5 MHz
	2.3 - 2.4 GHz	TDD	5, 10 MHz (dual)
Mobil WiMAX (IEEE 802.16e-2005, OFDMA)	2.3 - 2.4 GHz	TDD	8.75 MHz
	2.496 - 2.690GHz	TDD	5, 10 MHz (dual)
	3.4 - 3.6 GHz	TDD	5 MHz
	3.4 - 3.6 GHz	TDD	7 MHz

2.2 WiMAX Şebeke Yapısı

IEEE 802.16e-2005 çalışma grubu hava ara yüzünün geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar yaparken baştan-sona (E2E) şebeke yapısına ilişkin bir tanımlamada bulunmamıştır. Bu çalışmaları WiMAX forum üstlenmiştir. WiMAX forum WiMAX şebeke yapısı ve protokollerini geliştirmiş daha sonra bir standart haline getirmiştir.

WiMAX şebeke yapısı genel olarak üç bölümden oluşmaktadır (Şekil 2.1). Bunlardan birincisi mobil kullanıcının WiMAX şebekeye erişimini sağlayan müşteri yerleşke cihazı (CPE) denilen kullanıcı cihazlarıdır. İkinci bölüm bir veya birden fazla baz istasyonu ve ASN-GW'den oluşan ASN'dir. Üçüncü bölüm ise diğer şebekelerle internet protokolü (IP) bağlantısını sağlayan ve kullanıcıların WiMAX şebekeye erişebilmesi için gerekli olan fonksiyonları gerçekleştiren CSN'dir [6].



Şekil 2.1 : WiMAX şebeke yapısı.

BS kullanıcı cihazının WiMAX şebekeye erişmesi için hava arayüzünü kullanmasını sağlayan birimdir. Ek olarak mobilitenin gerçekleşmesinde, QoS'in sağlanmasında rol alan şebeke elemanıdır. ASN-GW baz istasyonlarının yönetiminden, kullanıcı cihazlarının şebekeye bağlanması için gerekli olan kimlik denetiminin yapılmasından, Mobil IP'nin kullanıcılar için tedarik edilmesinden ve QoS yönetiminden sorumludur. AAA sunucusu kullanıcı bilgilerinin bulunduğu ve kullanıcıların WiMAX şebekesine bağlanacağı zaman kimlik denetimin yapıldığı sunucu birimidir. HA kullanıcılara Mobil IP sağlayan şebeke elmanıdır. Mobil IP kullanıcı bir baz istasyonundan diğer baz istasyonuna bağlanacağı zaman IP'sinin değişmeden bağlantısının devam etmesine olanak veren bir protokoldür.

2.3 Servis Kalitesi (QoS)

Servis kalitesi parametreleri kullanıcıların kullanmış oldukları servisleri kaliteli bir şekilde almalarını sağlayan parametreleridir. Bu parametreler kullanılan servise göre farklılık göstermektedir. Kullanılan servisler için çeşitli servis akışları tanımlanmıştır. Bu servis akışları diğer bir ifadeyle servis sınıfları 5 tane olmak üzere şu şekildedir:

- **İstenilmeden verilmiş servis (UGS) :** Bu servis sınıfı sabit hızda veri akışına olanak veren ve paket boyutunun sabit olduğu IP üzerinden ses (VoIP) uygulamalarında kullanılmaktadır.
- **Gerçek zamanlı sorgulama servisi (RTPS) :** Bu servis sınıfı video iletimi gibi gerçek zamanlı uygulamaların kaliteli bir şekilde sağlanması için geliştirilmiştir.

- **Gerçek zamanlı olmayan sorgulama servisi (NRTPS) :** Bu servis sınıfı dosya aktarım protokolü (FTP) gibi gerçek zamanlı olmayan veri iletimi için kullanılabilmektedir.
- **En iyi çaba (Best effort) :** Minimum servis garantisi olmayan internet erişimi uygulaması için kullanılan servis sınıfıdır.
- **Arttırılmış gerçek zamanlı değişken hız (ERT-VR) :** Gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılan fakat değişik hızda veri transferine olanak sağlayan, servis kalitesi için gerekli olan hızı garanti eden servis sınıfıdır.

2.4 WiMAX Fiziksel Katman

WiMAX fiziksel katman OFDM tabanlıdır. OFDM yüksek hızda veri iletimine olanak sağlayan ve dolayısıyla ses ve görüntü uygulamalarının kaliteli bir şekilde verilmesini sağlayan bir iletim tekniğidir.

2.4.1 WiMAX OFDM parametreleri

WiMAX'te kullanılan farklı OFDM uygulamaları vardır. IEE 802.16-2004 standartlı Sabit WiMAX 256 FFT-tabanlı OFDM tekniğini kullanıyorken IEEE 802.16e-2005 standartlı Mobil WiMAX FFT büyüklüğü 128 bit ile 2.048 bit arasında değişen ölçeklenebilir OFDMA (SOFDMA) tekniğini kullanmaktadır. Çizelge 2.3'de OFDM ve OFDMA tekniklerine ilişkin parametreler verilmiştir [7].

Sabit WiMAX OFDM'de FFT büyüklüğü sabit ve 256'dır. Bunun 192'si veri iletimi için, 8 tanesi eşzamanlılığı sağlamak ve kanalları ayırt etmek için kullanılan pilot alt taşıcılar olarak, geri kalanı ise koruma bandı olarak kullanılmaktadır. FFT büyüklüğü sabit olduğu için alt taşıyıcılar arasındaki frekans boşluğu frekans arttıkça artmaktadır. Bu spektrumun etkin olarak kullanılmasına engel olmaktadır. Bu etkinliğin artması için Mobil WiMAX'te ölçeklenebilir OFDMA kullanılmıştır. Buna göre FFT büyüklüğü band genişliğine göre 128 ile 1048 arasında değişmektedir. Fakat alt taşıyıcı frekans boşluğu her band genişliğinde 10.94kHz olarak sabit kalmaktadır.

Çizelge 2.3 : WiMAX'te kullanılan OFDM parametreleri.

Parametreler	Sabit WiMAX OFDM	Mobil WiMAX OFDMA			
FFT büyüklüğü	256	128	512	1024	2048
Kullanılan alt taşıyıcı sayısı	192	72	360	720	1440
Pilot alt taşıyıcı sayısı	8	12	60	120	240
Koruma bandı alt taşıyıcı sayısı	56	44	92	184	268
Koruma zamanı (Tg/Tb)	1/32, 1/16, 1/8, ¼				
Band genişliği (MHz)	3.5	1.25	5	10	20
Alt taşıyıcı frekans genişliği (kHz)	15.625	10.94			
Kullanışlı sembol süresi (μs)	64	91.4			
Koruma bandı süresi (μs)	8	11.4			
OFDM sembol süresi (μs)	72	102.9			
5ms'lik çerçevede OFDM sembol sayısı	69	48			

2.4.2 OFDMA

Alt taşıyıcıların farklı guruplar halinde ayrılarak alt kanalları oluştururlar. Farkı kanallar farklı kullanıcılara atanır. Bu çalışma prensibine çoklu erişim metodu denir. Bu şekildeki çoklu erişim metodu OFDMA olarak adlandırılır.

Farklı şekillerde alt kanal yapıları olmakla beraber Mobil WiMAX alt taşıyıcıların parçalı kullanımı (PUSC) alt kanal yöntemini kullanmaktadır. Bu yöntem bir alt kanalın belirli kısımlarının belirli kullanıcılara ait alt taşıyıcılar tarafından kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

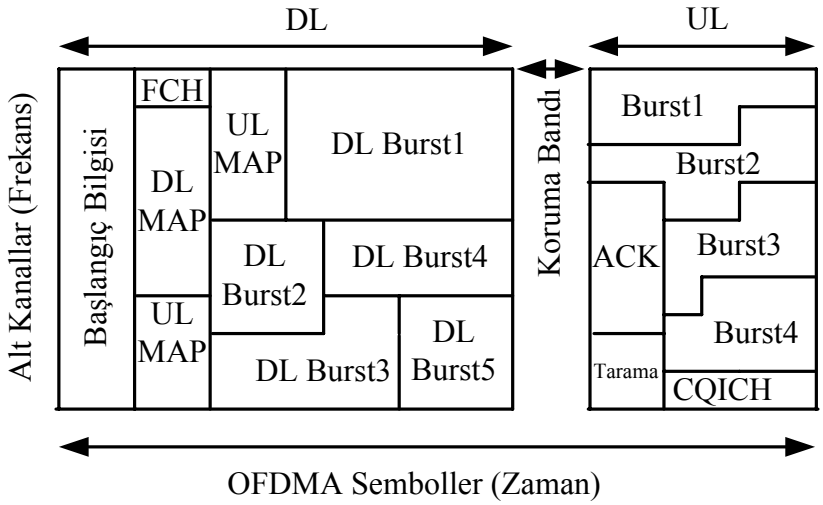
2.4.2.1 TDD çerçeve yapısı

IEEE 802.16e standardı ilk başlarda sadece TDD çerçeve yapısını desteklemesine rağmen en son olarak FDD çerçeve yapısını da desteklemeye başlamıştır. Her iki sistemin de birbirine karşı üstünlükleri olmakla beraber TDD çerçeve yapısının tercih edilme nedenlerini şöyle sıralayabiliriz:

- TDD downlink/uplink oranını ayarlamaya olanak sağlamaktadır. FDD'de ise her zaman sabit bir dowlink/uplink oranı kullanılmaktadır. Bu oranı değiştirebilmemiz spektrum bandını daha etkin bir şekilde kullanmamıza olanak sağlamaktadır.
- Link adaptasyonun önemli olduğu ileri anten teknolojilerinde TDD yapısını kullanmak daha elverişlidir.
- FDD'nin aksine TDD'de hem downlink hem de uplink için tek kanal kullanmak yeterlidir. Bu da spektrum tahsisinde esneklik kazandırmaktadır.
- TDD yapıda alıcı/verici tasarım daha basit olduğundan dolayı daha az maliyetlidir.

Şekil 2.2'de bu yapı TDD çerçeve yapısı gösterilmektedir [8]. Her bir çerçeve DL ve UP olmak üzere iki ana parçaya bölünmüştür. DL ve UP bölümleri arasında girişimi engellemek için ikisi arasında TTG ve RTG olmak üzere koruma bandları kullanılmaktadır. İletişimin sorunsuz bir şekilde sağlanması için kullanılan kontrol bilgileri şunlardır:

- **Başlangıç:** Başlangıç bilgisi senkronizasyonu sağlamak OFDM çerçevesinin ilk sembolünde bulunur.
- **Çerçeve kontrol başlığı (FCH):** Başlangıç bilgisinden sonra gelen FCH MAP mesajlarının uzunluğu ve kullanılan alt-kanallar gibi çerçeve konfigürasyon bilgilerini içermektedir.
- **DL-MAP ve UP-MAP:** DL-MAP ve UL-MAP alt kanal atama ve kontrol bilgilerini sağlamaktadır.
- **UL Tarama:** Mobil istasyon için frekans, güç ayarlama ve bandgenişliği isteklerini içermektedir.
- **UL CQICH:** Mobil istasyon için gerekli olan bilgilerin geribildirimi için kullanılan kanaldır.
- **UL ACK:** Mobil istasyonu atanmış olup DL HARQ geribildirim bilgilendirmesini içermektedir.



Şekil 2.2 : TDD OFDMA çerçeve yapısı.

2.4.3 WiMAX için uyarlamalı modülasyon ve kodlama

Kanal koşullarına bağlı olarak WiMAX farklı modülasyon ve kodlama yöntemlerini desteklemektedir. Radyo koşullarının iyi olduğu yani gürültünün az olduğu radyo koşulunda 64 dörtlü genlik modülasyonu (QAM) yöntemini kullanmakta ve radyo koşullarına göre sırasıyla 16 QAM ve dörtlü faz kaydırmalı (QPSK) modülasyon yöntemlerini desteklemektedir. Bu şekilde farklı radyo koşuluna göre farklı modülasyon ve kodlama yöntemini kullanabilme tekniğini AMC yöntemi diye adlandırılır. Bu yöntem spektrumun daha etkin bir şekilde kullanılmasına olanak sağlayarak verimi arttırmaktadır. Yani kullanıcıların daha yüksek hızlara erişmesine olanak sağlamaktadır.

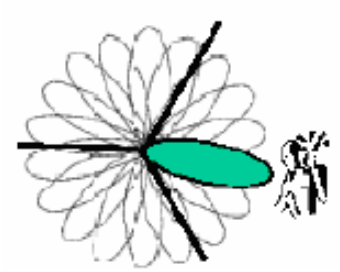
Kullanılan band genişliği, modülasyon ve kodlama tekniği, TDD durumunda downlink-uplink oranı bir hücrede ulaşılabilecek maksimum veri hızını belirleyen faktörlerdir. Buna göre Çizelge 2.4'de 5 MHz ve 10 MHz'lik band genişliklerinde ulaşılabilecek maksimum hızlar karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir [7].

Çizelge 2.4 : Mobil WiMAX veri hızları.

Modülasyon	Kod oranı	5 MHz downlink (Mbit/s)	5 MHz uplink (Mbit/s)	10 MHz downlink (Mbit/s)	10 MHz uplink (Mbit/s)
QPSK	½	3.17	2.28	6.34	4.70
	¾	4.75	3.43	9.50	7.06
16 QAM	½	6.34	4.57	12.67	9.41
	¾	9.50	6.85	19.01	14.11
64QAM	½	9.50	6.85	19.01	14.11
	½	12.67	9.14	25.34	18.82
	¾	14.26	10.28	28.51	21.17
	5/6	15.84	11.42	31.68	23.52

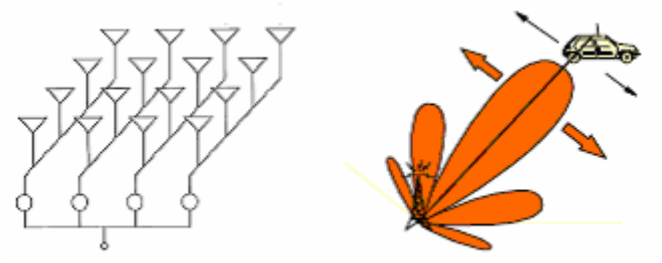
3. UYARLAMALI ANTEN SİSTEMİ

Uyarlamalı anten sistemi (AAS) akıllı anten (Smart Antenna) diye bilinen anten türlerinden bir tanesidir. Diğer akıllı anten tipi ise çok demetli anten (Multibeam Antenna)'dir. Çok demetli antenlerde birden çok sabit demet ile ışıma gerçekleşmektedir. Bu anten sisteminde kullanıcı kendisine göre sinyal seviyesi yüksek olan demeti kullanarak baz istasyonu ile bağlantıya geçer. Daha sonra eğer kullanıcı bulunduğu konumu değiştirirse diğer demetlerden bir tanesini kullanarak iletişimine devam eder (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 :Çok demetli anten.

Akıllı anten sisteminin var olan band genişliğini etkin bir biçimde kullanma açısından daha avantajlı olan türü ise uyarlamalı anten'lerdir. Bu antenler interferans oranını azaltarak sinyal kalitesini daha yüksek olmasına olanak sağlarlar. Bu antenler anten dizilerinden meydana gelmektedirler. Bu anten dizileri ve kullanılan algoritmalar sayesinde ana demet kullanıcıya doğru odaklanabilmekte ve kullanıcıyı takip edebilmektedir (Şekil 3.2) [9].

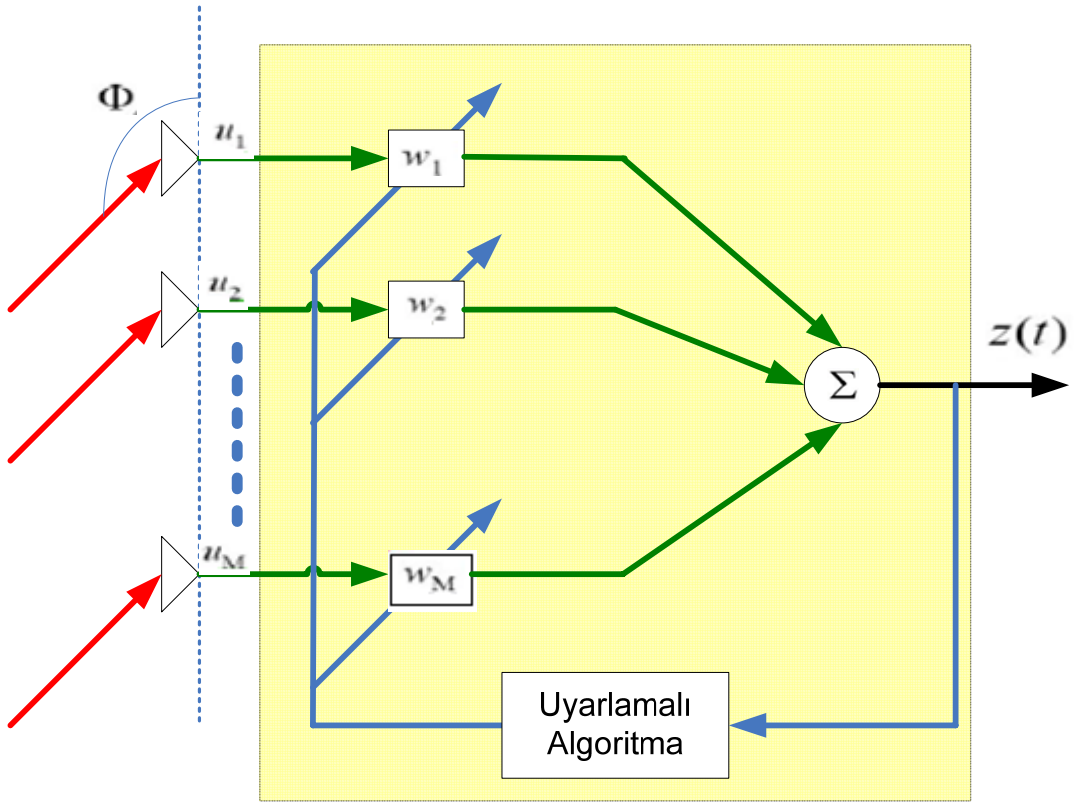


Şekil 3.2 : Uyarlamalı anten dizileri ve anten ışıma modeli.

Uyarlamalı antenin çalışma mekanizmasını şöyle özetlenebilir. İlk olarak kullanıcıdan gelen sinyalin geliş doğrultusu tahmin edilir. Böylece hedefteki kullanıcı sinyali tespit edilmiş olur. Daha sonra demet hedefteki kullanıcıya doğru yönlendirilir. Kullanıcını hareket etmesiyle beraber demet de kullanıcının hareket doğrultusunda yönlendirilir. En son olarak interferans etkisi yapan kullanıcı ise tespit edilerek bu kullanıcıya doğru boş bir yönlendirme yapılarak interferansın engellenir.

3.1 DL Hüzme Şekillendirme

Hüzme şekillendirme anten örüntüsünün hedef doğrultusuna maksimum olarak yönelmesidir. Ana hüzmenin hedef kullanıcının yer değiştirmesine göre o yöne doğru yönelim yapması olarak da tanımlanabilmektedir. Şekil 3.3'de hüzme şekillendirmeye olanak veren uyarlamalı anten algoritma yapısı görülmektedir [11].

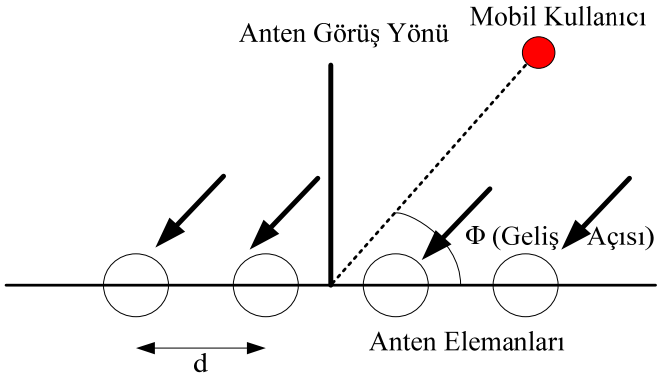


Şekil 3.3 : Uyarlamalı anten sistemi.

Kompleks formda olan doğrultu vektörü diye adlandırılan her bir yöndeki vektörü şu şekilde tanımlayabiliriz:

$$S = \left[1, e^{j\frac{2\pi}{\lambda}d.\cos(\Phi)}, e^{j\frac{2\pi}{\lambda}2.d.\cos(\Phi)}, \ldots, e^{j\frac{2\pi}{\lambda}.(n-1)d.\cos(\Phi)} \right]^T \quad \textbf{(3.1)}$$

Burada n anten sayısını, d komşu iki anten elemanının arasındaki uzaklığı ve Φ ise dalganın geliş açısını göstermektedir (Şekil 3.4) [11] .



Şekil 3.4 : Uyarlamalı anten gösterimi.

Uyarlamalı anten sisteminin orta noktasına göre geliş açısını hesaplayarak her bir kullanıcıya ait doğrultu vektörü hesaplanabilmektedir.

Ağırlık vektörleri (w_i) hüzme şekillendirme durumunda gücün maksimum bir şekilde bir yöne doğru odaklaması için her bir sinyal arasındaki faz farkını dengelemektedir.

Her bir anten elemanı için ağırlık vektörü (3.2) ve toplam anten kazancı (3.3) aşağıdaki formüllerde gösterilmiştir [11].

$$w_n = |w_n|.e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}.n.d.\cos(\Phi)} \quad \textbf{(3.2)}$$

$$G_{toplam}(\theta)[dB] = 20.\log_{10}\left(\sum_{n=0}^{N-1} g_n(\theta).w_n.e^{j\frac{2\pi}{\lambda}.n.d.\sin(\theta)} \right) \quad \textbf{(3.3)}$$

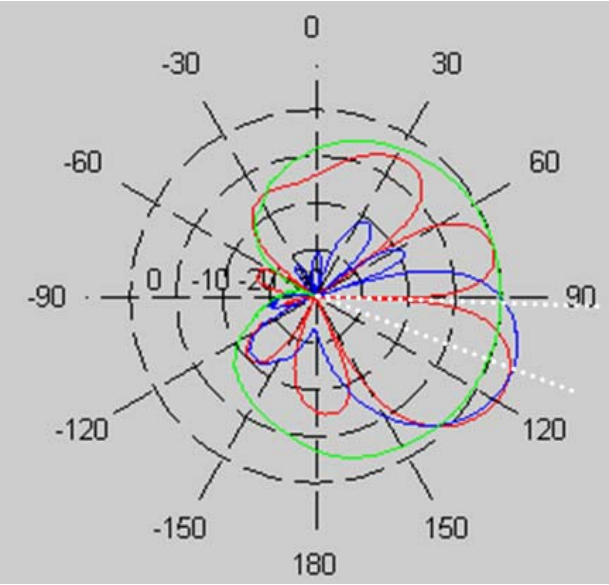
θ açısı antenin görüş yönünden başlayan saat yönündeki hedef kullanıcı doğrultusuna kadar olan açıdır. $g_n(\theta)$ her bir anten elemanının kazanç değerini göstermektedir.

$$g_n(\theta) = 10^{\frac{g_n[dB](\theta)}{20}} \quad \textbf{(3.4)}$$

3.2 Hüzme Şekillendirme Örneği

Şekil 3.5'de hüzme yönlendirme anındaki uyarlamalı anten örüntü modelleri gösterilmiştir. 111° yönünde hedefteki kullanıcı ve 91° yönünde interferans neden olan kaynak bulunmaktadır. İnterferansı en aza indirmek için hüzme hedefteki kullanıcı yönünde daralarak şekil değiştirmiştir [12].

Burada ana demet mavi, interferanstan dolayı şekil değiştiren hüzme kırmızı, tekil anten örüntü modeli ise yeşil renkte gösterilmiştir.



Şekil 3.5 : Hüzme şekillendirme örnek model.

3.3 Uyarlamalı Anten Örnekleri

Andrew ve RFS olmak üzere iki üretici firmanın uyarlamalı anten özellikleri örnek olarak verilmiştir.

Andrew: APW425-12014 (2500 MHz), APW435-12014 (3500 MHz)

RFS: W425-90ANV (2500 MHz), W435-90ANV (3500 MHz)

Bu antenlerin uyarlamalı anten parametreleri Çizelge 3.1'de belirtilmiştir [12].

Çizelge 3.1 : Andrew ve RFS uyarlamalı anten parametreleri.

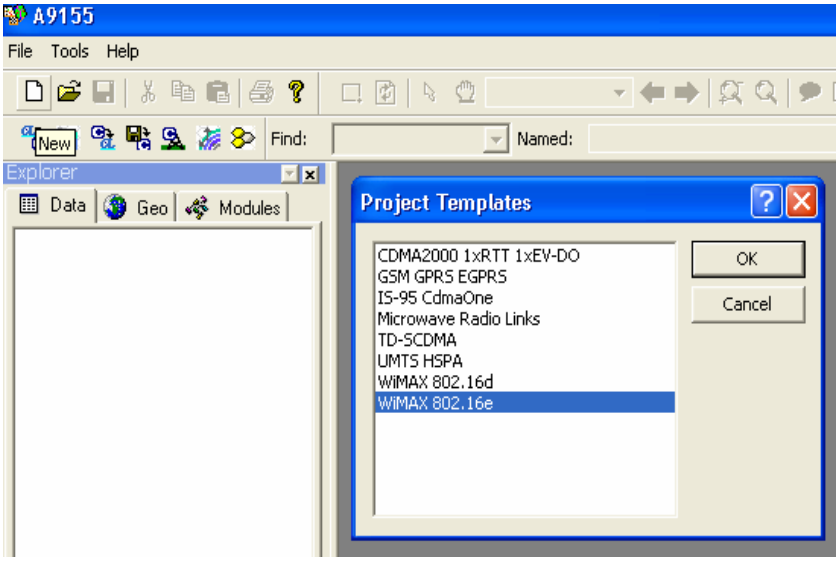
	Andrew	RFS
Frekans	2300-2700 MHz 3300-3800 MHz	2300-2700 MHz 3300-3800 MHz
Eleman sayısı	4	4
Bir elemanın kazancı	17 dBi	15.5 dBi
Bir elemanın HPBW değeri	Yatay 90 derece Dikey 5-6 derece	Yatay 90 derece Dikey 5-6 derece
Görüş yönü kazancı	23 dBi	21.5 dBi
Yayın (broadcast) örüntü kazancı	18 dBi	17 dBi
Uzunluk	1.35m (2500MHz) 1m (3500MHz)	1.35m (2500MHz) 1m (3500MHz)

4. BENZETİM ARACI İLE RADYO ŞEBEKESİ PLANLAMA

Benzetim aracı olarak Alcate-Lucent'in radyo planlamada kullanmış olduğu A9155 aracı kullanılmıştır.

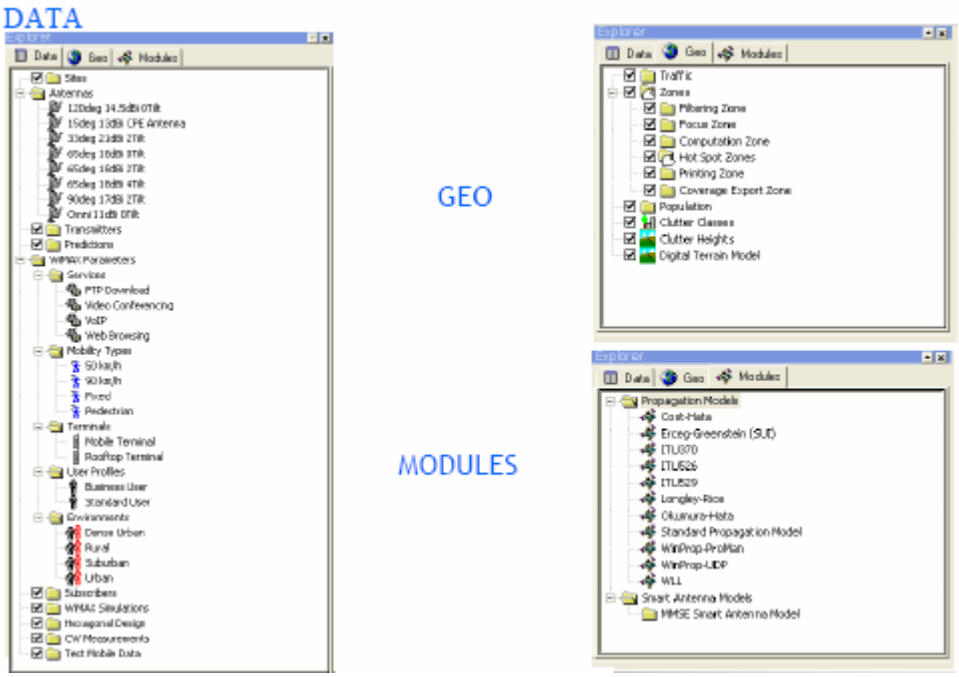
4.1 Çalışma Ortamı

A9155 ile GSM, UMTS, CDMA 2000, TD-SCDMA, WiMAX 802.16d, WiMAX 802.16e gibi teknolojinin benzetimi yapılabilmektedir (Şekil 4.1). Bu çalışmada Mobil WiMAX şebekesinin benzetimi yapıldığı için WiMAX 802.16e seçeneği seçilerek benzetim çalışmasına başlanılmıştır.



Şekil 4.1 : Proje seçimi.

Çalışma ortamı "Data", "Geo" ve "Modules" olmak üzere 3 ana sekmeden oluşmaktadır (Şekil 4.2). "Data" sekmesi saha bilgilerinin, bu sahalara ait baz istasyonu, kullanılan anten ve kullanıcı istasyonu ekipman parametrelerinin olduğu sekmedir. Bu sekmede aynı zamanda kapsama tahminlerinin yapıldığı "Predictions (Kestirimler)" alt sekmesi bulunmaktadır. "Geo" sekmesinde ise benzetim yapılacak olan bölgenin coğrafi bilgileri bulunmaktadır. En son olarak "Modules" sekmesinde ise propagasyon modeli bilgileri bulunmaktadır.



Şekil 4.2 : WiMAX çalışma ortamı.

4.2 WiMAX Şebekelerinin Modellenmesi

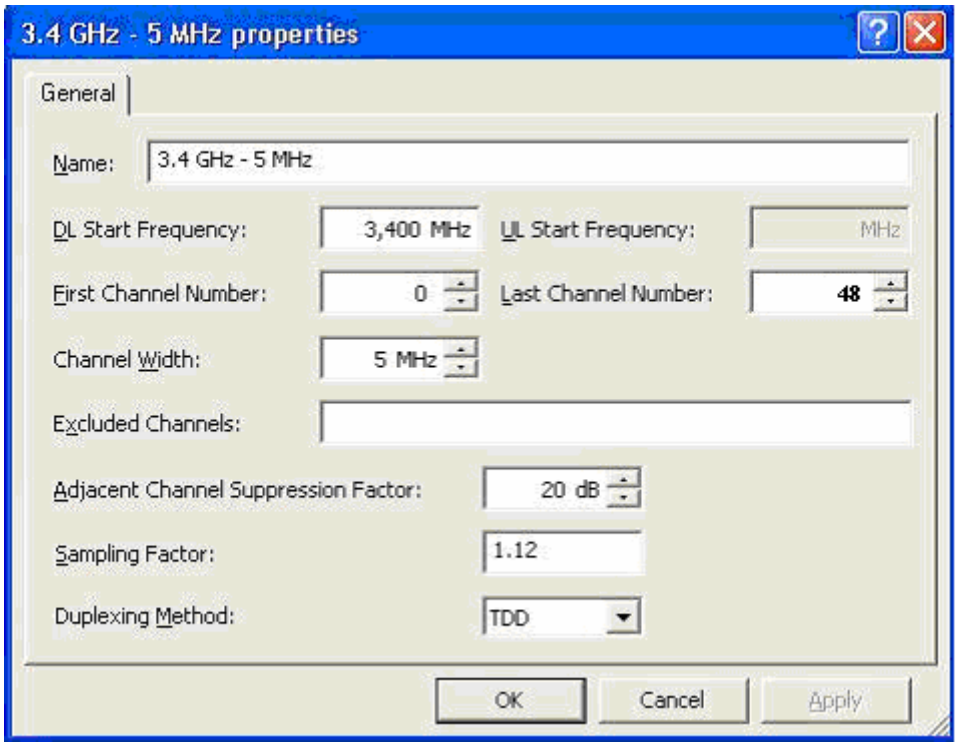
WiMAX şebekeleri modellenirken ilk olarak sistemde hangi frekansın kullanacağı bu frekansta kullanılacak band genişliği tanımlanır. Daha sonra radyo çerçeve yapısı, taşıyıcı özellikleri, kullanılacak WiMAX ekipmanın özellikleri, her bir sahanın ve bu sahalara ait hücrelerin parametreleri teker teker belirlenir.

İkinci olarak benzetim yapılırken kullanılacak olan uygun propagasyon modeli seçilir. Kullanılacak olan propagasyon modeli seçilirken kullanılacak frekans ve kullanıcıların olduğu bölge özellikleri dikkate alınır.

Son olarak ise trafik modellemesi yapılır. Trafik modellemesi yapılırken, kullanıcı ekipmanı özellikleri ve kullanıcının hangi servisleri kullanacağı göz önüne alınır.

4.2.1 Frekans ve band genişliğinin belirlenmesi

Kullanılacak frekans ve band genişliği seçilirken Türkiye'de ve Avrupa'da yaygın olarak kullanılan 3.5 GHz'lik frekans ve 5 Mhz'lik band genişliği tercih edilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 : Frekans seçimi.

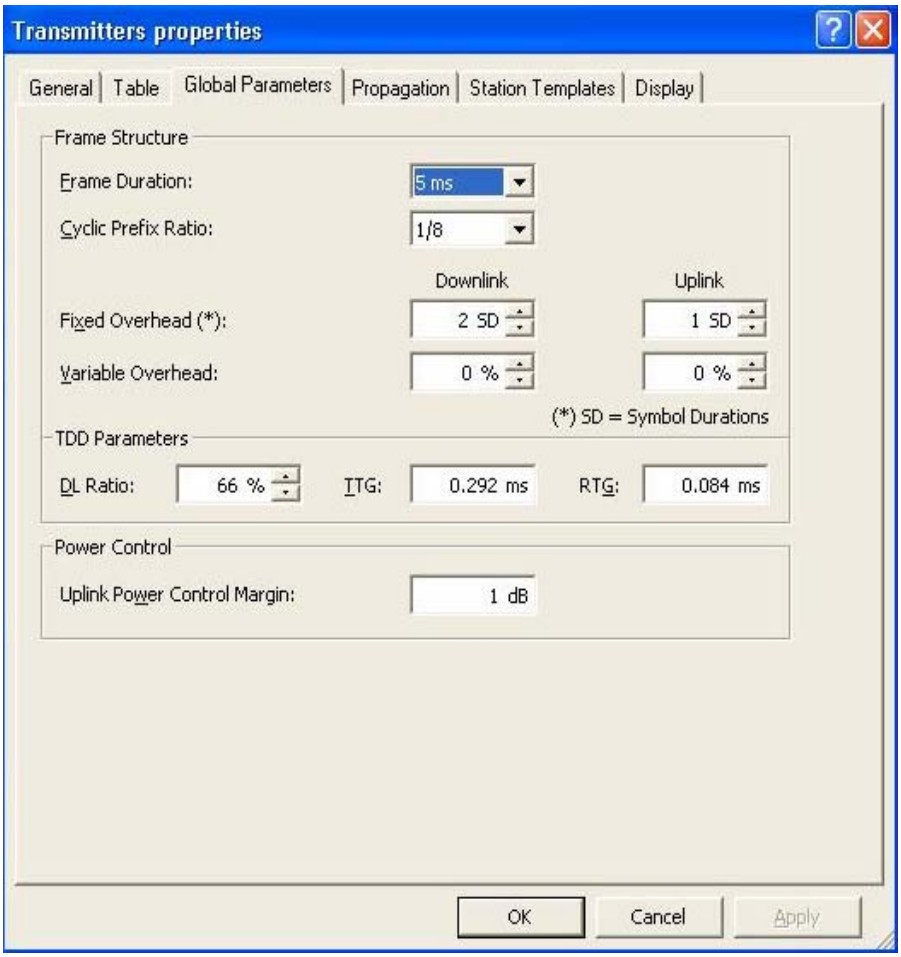
Frekans seçimi yapılırken aynı zamanda kanal numaraları, kanallar arası interferansı engellemek için gerekli olan komşu kanal baskı faktör (adjacent channel supression factor) değeri, örnekleme faktör (sampling factor) değeri ve bölmeleme yöntemi (duplexing method) belirlenir.

4.2.2 Çerçeve yapısının belirlenmesi

Çerçeve yapısı belirlenirken göz önüne alınması gereken değerler şunlardır (Şekil 4.4):

- **Çerçeve süresi (Frame duration):** Çerçevenin başlangıcından bitişine kadar geçe süreye çerçeve süresi denir. Bu süre 5 ms olarak tanımlanmaktadır.
- **Periyodik önek oranı (Cyclic prefix ratio):** Semboller ve kanallar arası interferansı engellemek aynı zamanda senkronizasyonu sağlamak için sembolün sonunun başında tekrarlanmasına periyodik önek oranı denir. Bu oran 1/8 olarak tanımlanmıştır.
- **Sabit ek yük (Fixed overhead):** Kullanıcılara ait olmayan senkronizasyonu sağlamak gibi fonksiyonları olan ve sembol süresi ile ifade edilen değerdir. Downlink için 2 uplink için 1 olarak seçilmiştir.

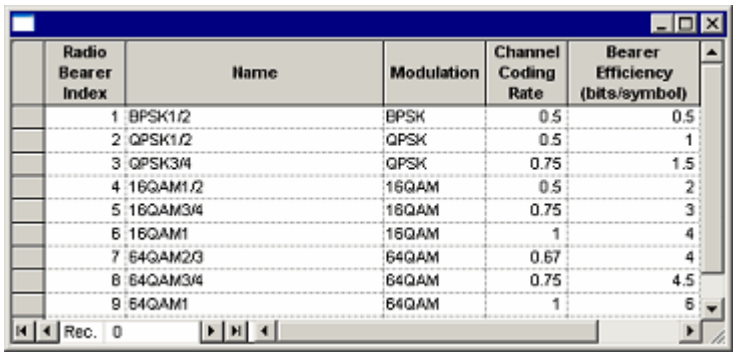
- **Değişken ek yük (Variable overhead) :** Çerçeve süresine veya bant genişliğine göre değişiklik gösteren ve uplink ve downlink için oran olarak hesaplan değerdir.
- **TDD parametreleri (TDD parameters):** Kullanılan çerçevede yüzde olarak ayrılan downlink oranını gösteren değer downlink oranı (DL ratio)'dır. Burada %75 kullanılmıştır. Gönderici-gönderici arası koruma zamanı (TTG) ve alıcı gönderici arası koruma zamanı (RTG) değerleri senkronizasyonu sağlamak ve interferansı engellemek için belirlenen değerlerdir.



Şekil 4.4 : Çerçeve yapısının belirlenmesi.

4.2.3 Radyo taşıyıcılarının belirlenmesi

Radyo taşıyıcıları belirlenirken kullanılan modülasyon tekniği, kod oranı ve taşıyıcı etkinliği (bit/sembol) parametreleri dikkate alınır (Şekil 4.5).

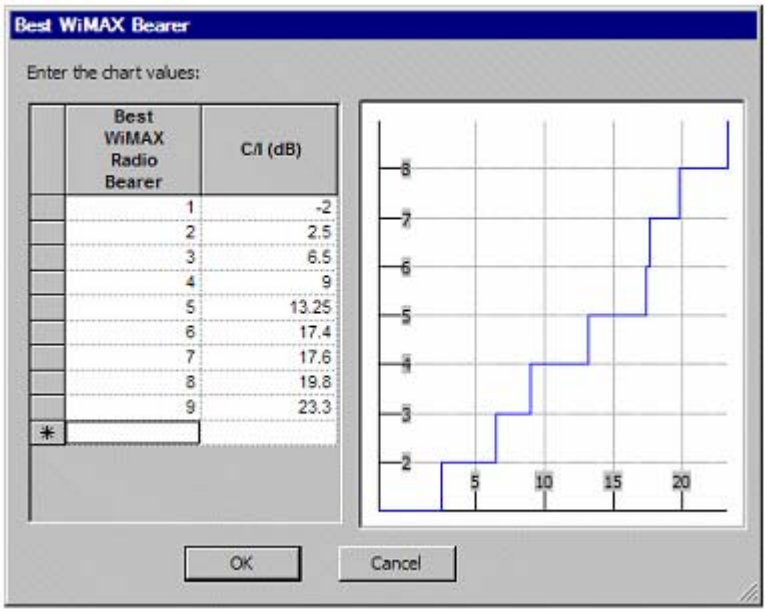


Radio Bearer Index	Name	Modulation	Channel Coding Rate	Bearer Efficiency (bits/symbol)
1	BPSK1/2	BPSK	0.5	0.5
2	QPSK1/2	QPSK	0.5	1
3	QPSK3/4	QPSK	0.75	1.5
4	16QAM1/2	16QAM	0.5	2
5	16QAM3/4	16QAM	0.75	3
6	16QAM1	16QAM	1	4
7	64QAM2/3	64QAM	0.67	4
8	64QAM3/4	64QAM	0.75	4.5
9	64QAM1	64QAM	1	6

Rec. 0

Şekil 4.5 : Taşıtıcı parametreleri.

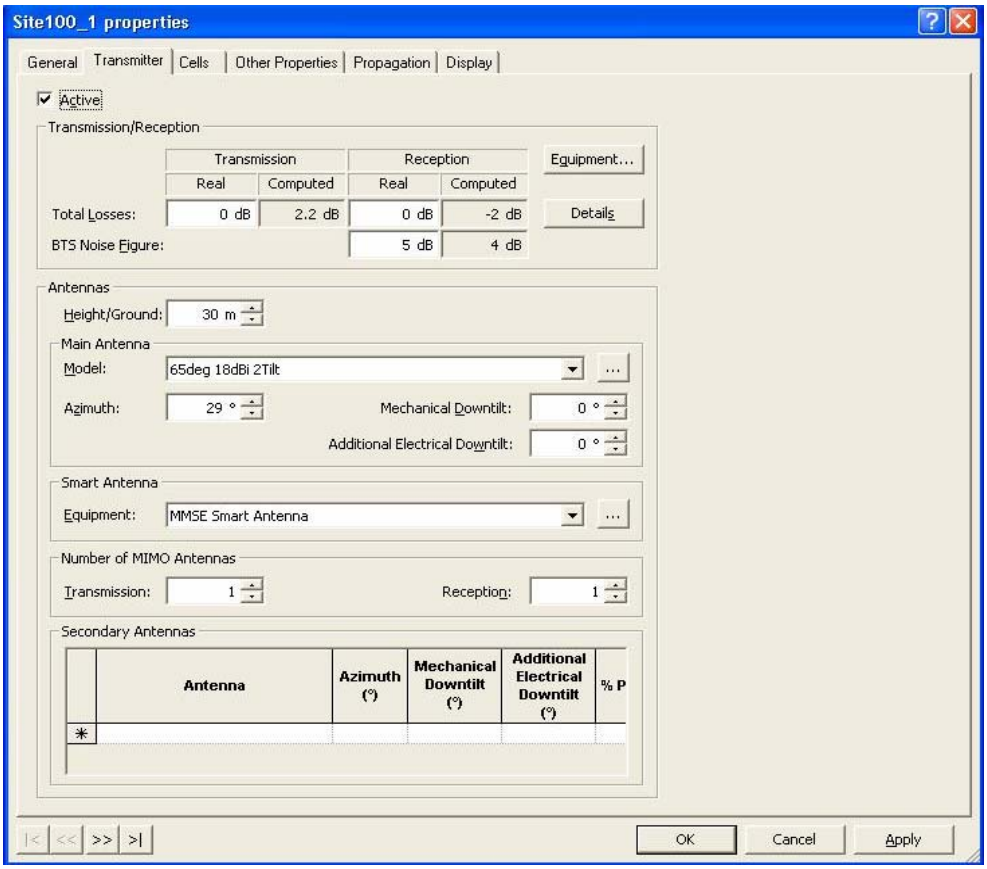
Spektrumu daha etkin bir şekilde kullanmak için Taşıyıcı/İnterferans (C/I) veya Taşıyıcı/Gürültü (C/N) oranına göre kullanılacak taşıyıcı seçilir (Şekil 4.6). Radyo koşulları iyileştikçe kullanılan modülasyon tekniği de ikili faz kaydırmalı (BPSK)'dan 64 QAM'e doğru değişmektedir. Buda bir sembol ile taşınabilecek bit sayısının artmasına neden olarak verimin artmasını sağlar.



Şekil 4.6 : Radyo koşullarına göre taşıyıcı seçimi.

4.2.4 Verici özellikleri

Verici özellikleri tanımlanırken ilk önce vericinin ismi belirlenir. Daha sonra olası kayıplar belirlenir ve anten özellikleri girilir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 : Verici parametreleri.

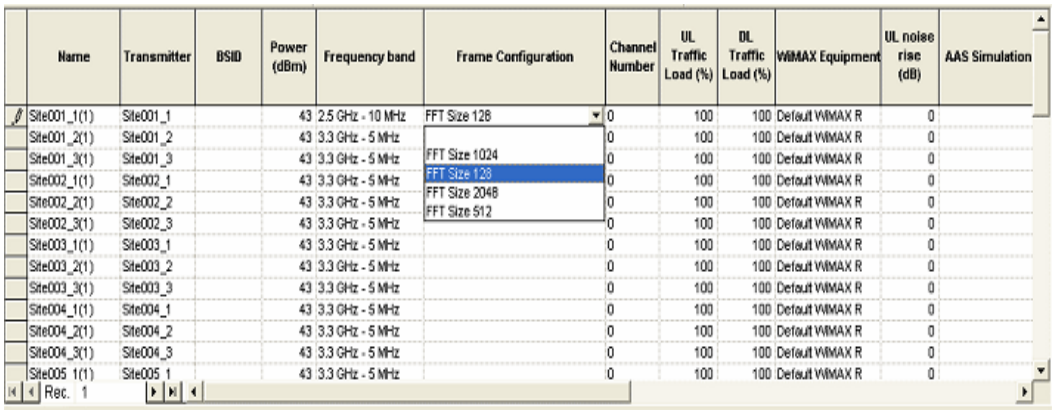
Buna göre kablolamadan ve diğer faktörlerden kaynaklanabilecek olası kayıplar burada belirtilir. Kullanılan anten modeli, antenin yerden yüksekliği, antenin bakış açısı ve eğikliği gibi antene ait parametreler girilir.

Propagasyon sekmesinde de kullanılacak olan propagasyon modeli seçilir. WiMAX'te kullanılan propagasyon modelleri bölüm 4.3'de anlatılmıştır.

4.2.5 Hücre parametreleri

- Hücre parametreleri tanımlanırken:
- Hücrelerin isimleri,
- Hangi vericiye ait oldukları,
- Baz istasyonu kimlik (ID)'leri,
- Baz istasyonu çıkış gücü,
- Kullanılan frekans,

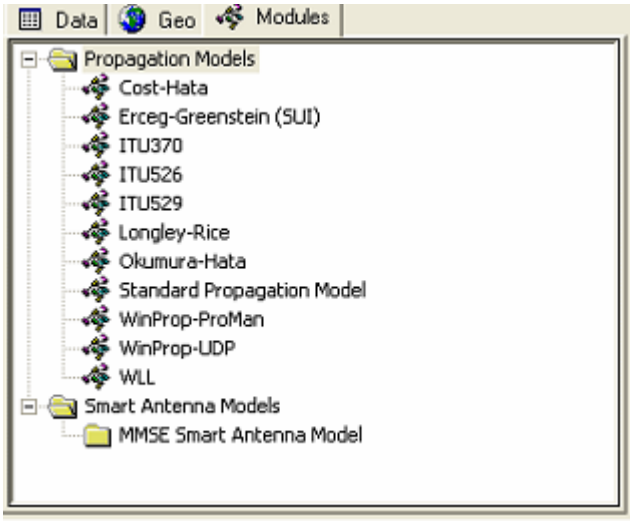
- Çerçeve konfigürasyonu,
- Kullanılan kanal bilgisi,
- Uplink ve downlink trafik yoğunluğu,
- Kullanılan WiMAX ekipmanı,
- Yukarı link (UL) gürültü oranı değerleri tanımlanır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 : Hücre parametreleri.

4.3 WiMAX Propagasyon Model Seçimi

Kullanmış olduğumuz benzetim aracı birçok propagasyon modelini desteklemektedir (Şekil 4.9). Fakat kullanacağımız frekans, benzetimini yapacağımız bölge açısından COST-Hata propagasyon modelinden uyarlanarak hazırlanmış olan Standart Propagasyon Modeli SPM benzetim için tercih edilmiştir.



Şekil 4.9 : Propagasyon modelleri.

4.3.1 COST-231 Hata propagasyon modeli

Hata modeli hücresel şebekelerde 800-900 MHz bandında yaygın olarak kullanılan bir propagasyon modelidir. 1800-1900 bandında haberleşmenin yaygınlaşmaya başlamasıyla beraber Hata modeli bu frekans bandına bilim ve araştırma alanında işbirliği (COST) grubu tarafından uyarlandı. Buna göre bu model şu parametreler arasında geçerli olmaktadır:

- $150\text{MHz} \le \text{f} \le 2000\text{MHz}$
- $30\text{m} \le h_b \le 200\text{m}$
- $1\text{m} \le h_m \le 10\text{m}$
- $1\text{km} \le \text{d} \le 20\text{km}$

Burada f kullanılan frekansı, h_b baz istasyonu anten yüksekliğini, h_m kullanıcı anten yüksekliğini ve d kullanıcı ile baz istasyonu arasındaki uzaklığı ifade etmektedir.

COST-231 Hata modeline göre 1800MHz'de yol kaybı (PL) değeri şöyle ifade edilmektedir [6].

$$PL = 46.3 + 33.9 \log f - 13.82 \log h_b + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log d - a(h_m) + C_f \qquad \textbf{(4.1)}$$

Mobil cihaz anten düzeltme faktörü (antennna-correction factor) şöyle ifade edilmektedir.

$$a(h_m) = (1.11 \log f - 0.7) h_m - (1.56 \log f - 0.8) \qquad \textbf{(4.2)}$$

Kentsel yoğun bölgelerde C_f yeryüzü düzeltme fonksiyonu (clutter correction function) değeri 3dB, yerleşim yerlerinde ise 0dB olarak belirlenmiştir. WiMAX Forum kentsel yoğun bölgeler için ve yerleşim yerleri için COST-231 Hata modelini benzetim çalışmalarında kullanmak için önermektedir.

4.3.2 Standart propagasyon modeli (SPM)

Bu model COS-231 Hata modelinden uyarlanarak 3.5 GHz frekans bandında da kullanılacak şekilde hazırlanmıştır. SPM formülünü şu şekildedir:

$$PL = K_1 + K_2 \log(d) + K_3 \log(H_{Txeff}) + K_4 DiffrectionLoss + K_5 \log(d) \log(H_{Txeff}) + K_6 H_{Rxeff} + K_{clutter} f(clutter) \qquad \textbf{(4.3)}$$

- K_1 **:** Sabit sapma değeri (dB) .
- K_2 **:** $\log(d)$ için sabit çarpım değeri.
- d **:** Alıcı ve verici arasındaki uzaklık (m).
- K_3 **:** $\log(H_{Txeff})$ için sabit çarpım değeri.
- H_{Txeff} **:** Verici anten yüksekliğinin efektif değeri.
- K_4 **:** Kırınım kaybı için sabit çarpım değeri.
- *DiffrectionLoss* **:** Engelli yollar için kırınım kaybı (dB).
- K_5 **:** $\log(d)\log(H_{Txeff})$ için sabit çarpım değeri.
- K_6 **:** H_{Rxeff} için sabit çarpım değeri.
- $K_{clutter}$ **:** $f(clutter)$ için sabit çarpım değeri.
- $f(clutter)$ **:** Yeryüzü şekline göre belirlenmiş ortalama kayıp değeri.

Cost-231 Hata modelini şu şekilde yazacak olursak:

$$PL = A_1 + A_{2\log f} + A_3 \log h_b + (B_1 + B_2 \log h_b)\log_d - a(h_m) + C_f \qquad \textbf{(3.4)}$$

Standart propagasyon modeliyle COST-231 Hata modelinin karşılaştırması Çizelge 4.1 deki gibi özetleyebiliriz.

Çizelge 4.1 : Cost-213 Hata modeli ile SPM'nin karşılaştırılması.

SPM Parametreleri	COST-231 Parametreleri
K_1	$A_1 + A_2 \log f - 3B_1 - 0.87$
K_2	B_1
K_3	$A_3 - 3B_2$
K_4	-
K_5	B_2
K_6	C_f
$K_{clutter}$	-

SPM ile COST-231 Hata modelini karşılaştıracak olursak SPM'de ek olarak K_4 ve $K_{clutter}$ değerlerini görmekteyiz. Kırınımdan kaynaklanan kayıpları göstermesi için K_4 ve yeryüzü şekillerine göre gerçekleşebilecek olan kayıpları göstermesi için $K_{clutter}$ değeri eklenmiştir.

Çizelge 4.2'de SPM parametrelerinin sabit değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : SPM 2.5 GHz ile 3.5 GHz parametreleri.

SPM Parametreleri	2.5GHz	3.5GHz
K_1	25.4	27.8
K_2	44.9	44.9
K_3	5.83	5.83
K_4	0.2-0.8	0.2-0.8
K_5	-6.55	-6.55
K_6	0	0
$K_{clutter}$	1	1

4.4 Trafik Modellemesi

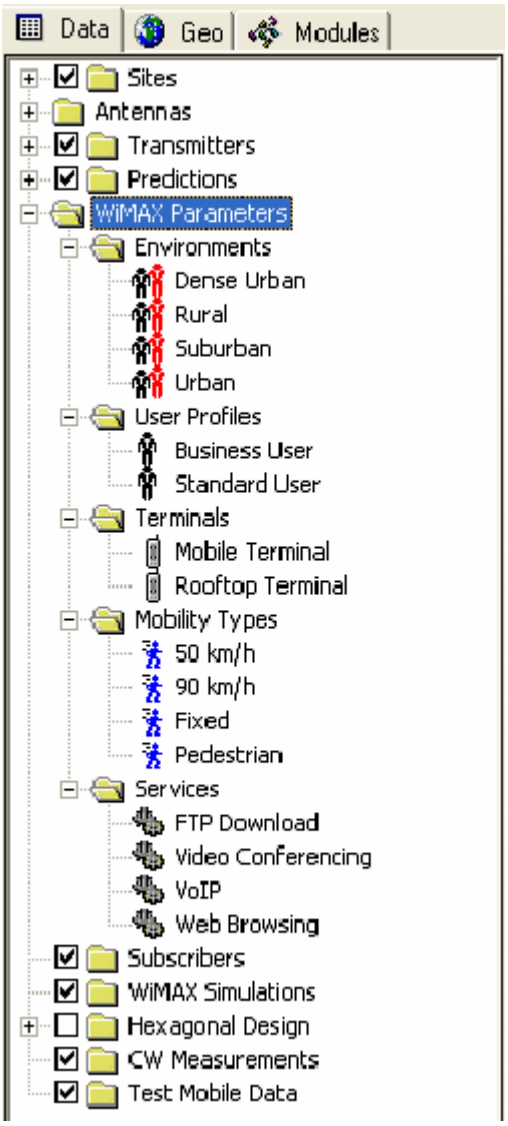
Trafik modellemesi yapılırken kullanıcıların bulunduğu ortam, kullanıcıların profilleri, kullanıcı cihaz özellikleri, mobilite türü ve kullanıcının hangi servisi kullanacağı dikkate alınır (Şekil 4.10).

4.4.1 Bölge türleri ve ağırlıklarının tanımlaması

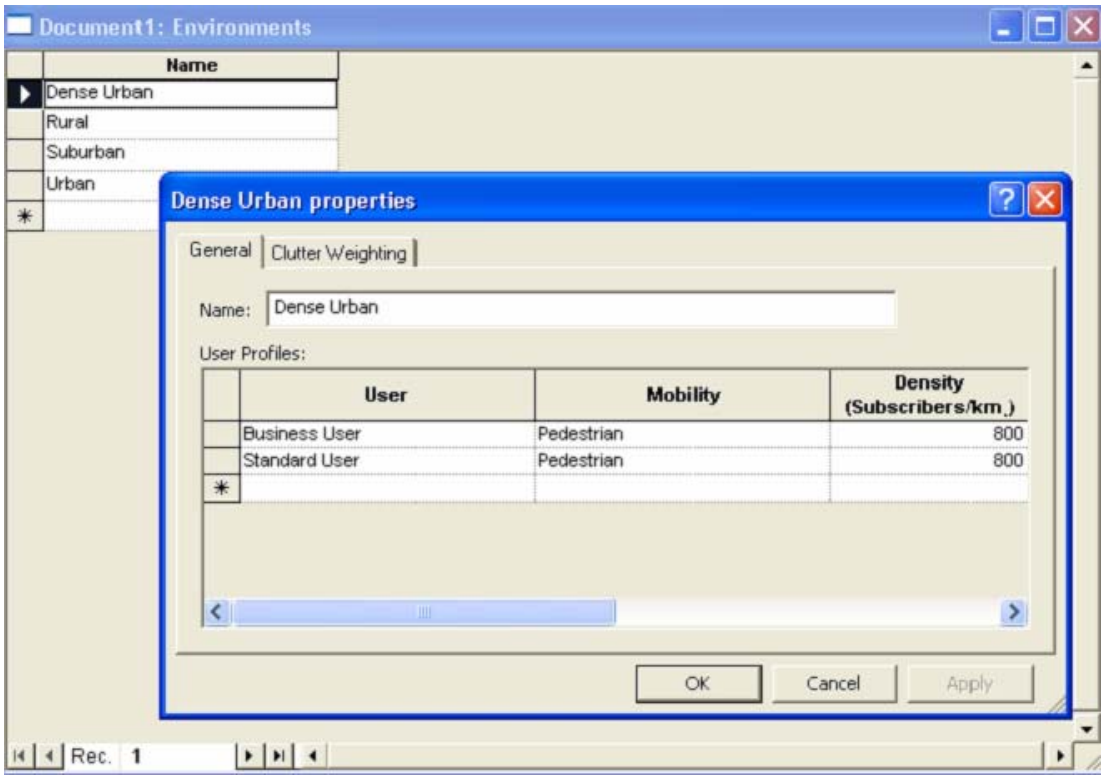
Benzetimi yapılan alandaki bölge türleri ve bu bölgelerin yüzde olarak tanımlanması bu kısımda belirlenir. Ayrıca bölgelerdeki kilometre başına ne kadar kullanıcı ve kullanıcıların ağırlıklı olarak nasıl bir mobiliteye sahip olduğu yine burada tanımlanır (Şekil 4.11). Bölge türleri kullanıcı yoğunluğu çok fazla olan bölge (dense urban), yoğun bölge (urban), yerleşim bölgesi (suburban), kırsal bölge (rural), ormanlık alan ve deniz veya göl bölgesi şeklinde sınıflandırılabilir.

4.4.2 Kullanıcı profilinin tanımlaması

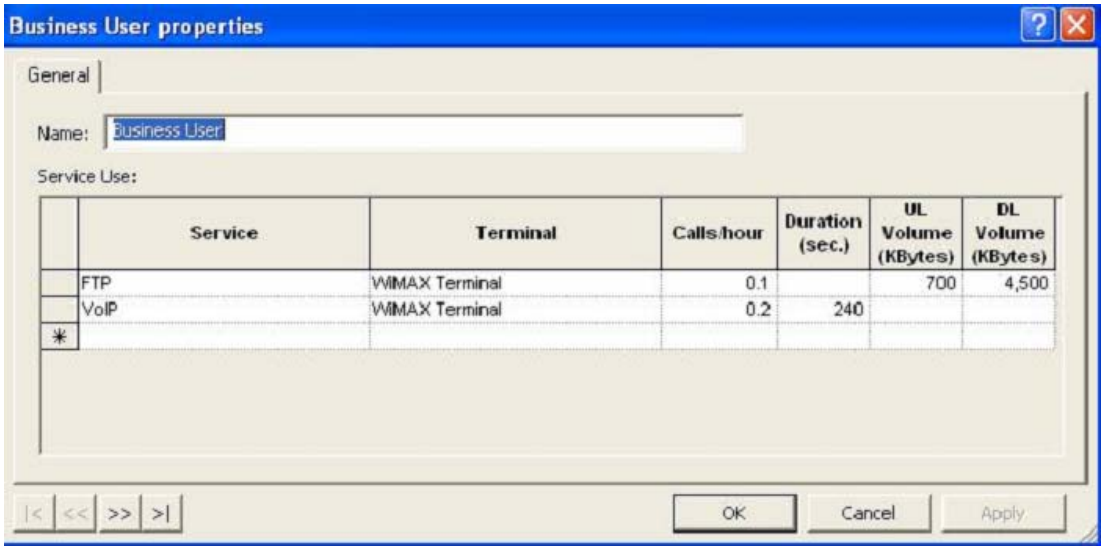
Kullanıcı profili tanımlaması yapılırken ilk olarak kullanıcılar firmaya ait kullanıcı (business user) ve standart kullanıcı (standard user) olarak ikiye ayrılır. Daha sonra kullanıcının kullanacağı servis türleri, nasıl bir kullanıcı cihazı kullanacağı, servisi ne sıklıkla ve ne kadar süreyle kullanacağı gibi tahminler yapılır (Şekil 4.12).



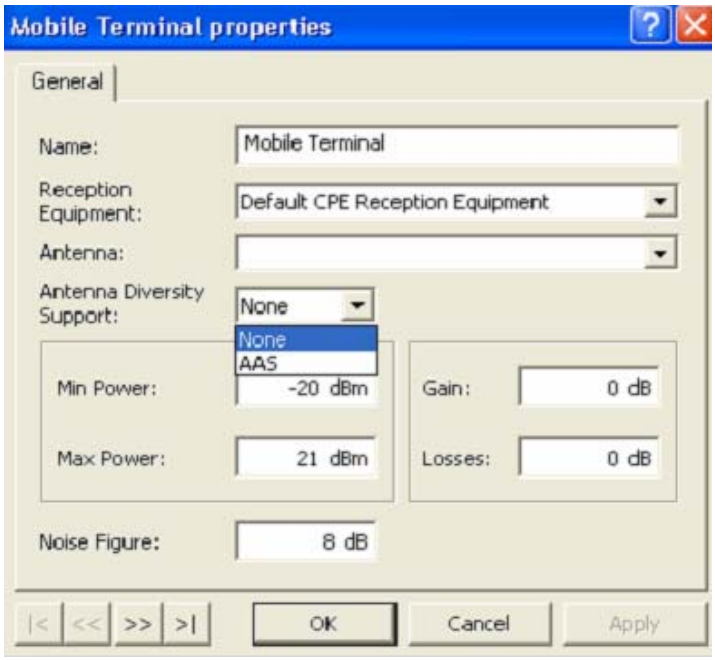
Şekil 4.10 : Trafik modellemesi.



Şekil 4.11 : Bölge türü özellikleri.



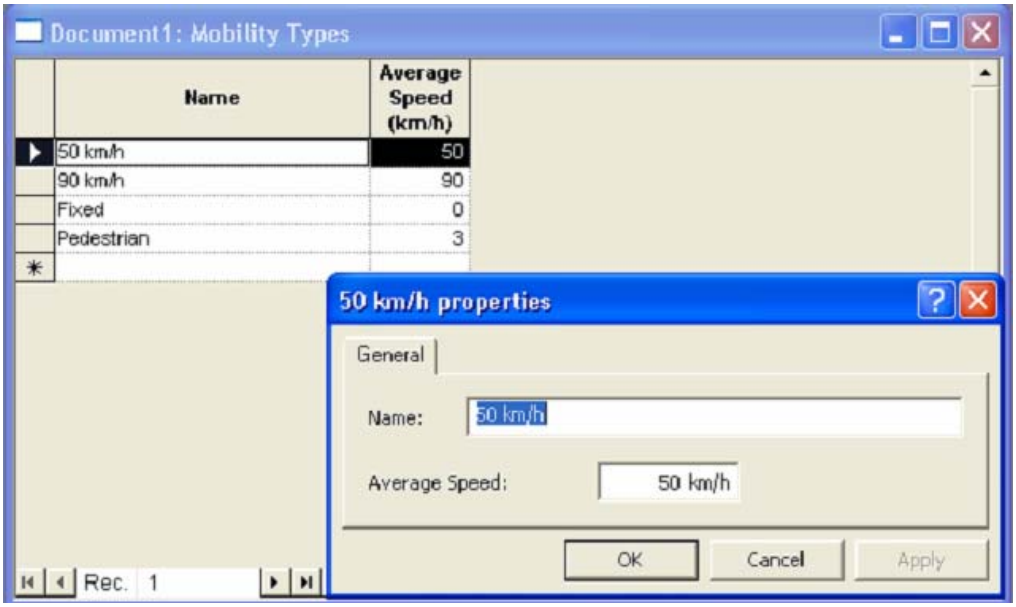
Şekil 4.12 : Kullanıcı profil özellikleri.



Şekil 4.13 : Kullanıcı cihaz özellikleri.

4.4.4 Kullanıcı mobilite türünün tanımlanması

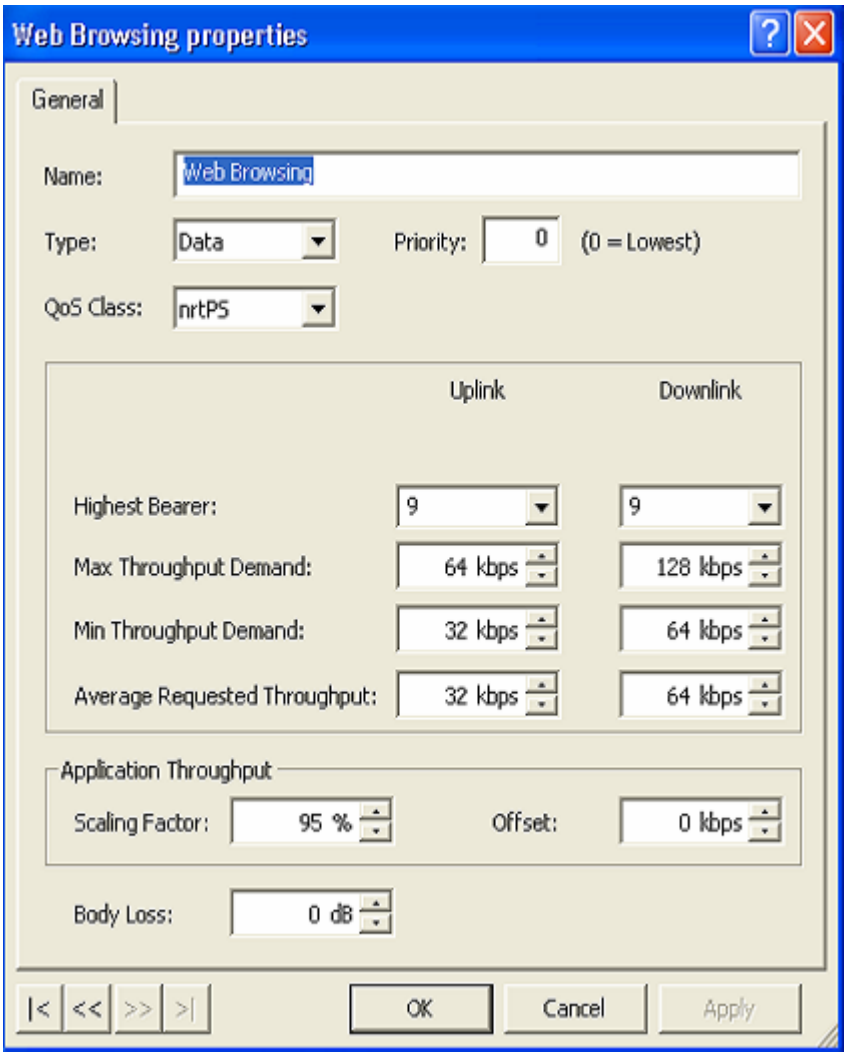
Kullanıcı mobilite türü kullanıcının sabit ya da hareketli olmasına göre belirlenir. Eğer hareketli ise ortalama tahmin edilen hız belirlenir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 : Kullanıcı mobilite tanımlaması.

4.4.5 Kullanıcı servis türlerinin tanımlanması

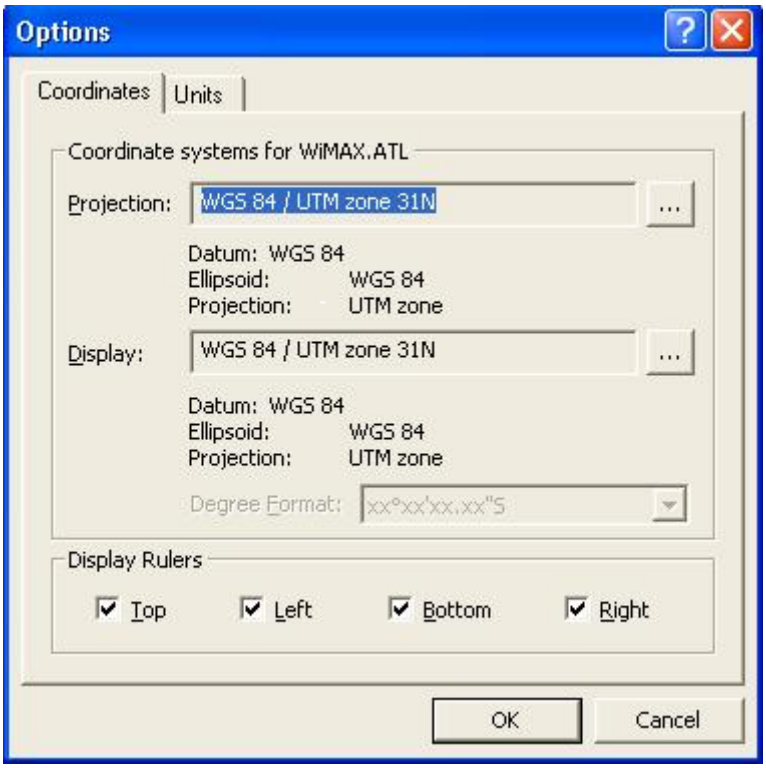
Kullanıcı servis türü belirlenirken servis tipi, QoS sınıfı, kullanılacak en yüksek verimli taşıyıcı türü, erişilebilecek maksimum ve minimum kullanıcı hızı ve hızı etkileyecek diğer parametreler veri olarak girilir (Şekil 4.15).



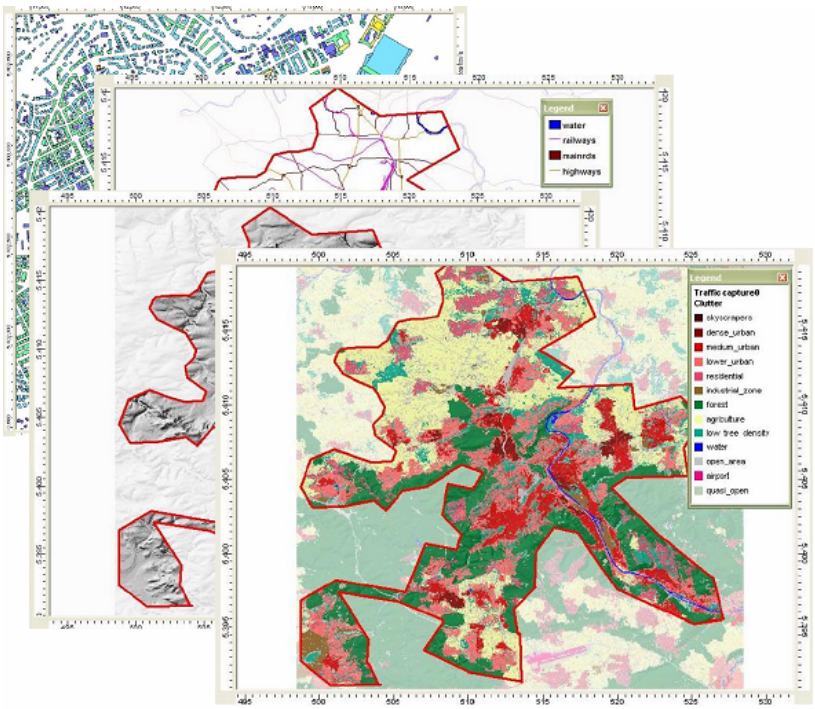
Şekil 4.15 : Kullanıcı servis özellikleri.

4.5 Coğrafi Verilerin Eklenmesi

Coğrafi veriler eklenirken ilk olarak planlaması yapılacak olan alanın bulunduğu koordinat bölgesi girilir (Şekil 4.16). Daha sonra o bölgeye ait arazi yapısını, yerleşim yoğunluklarını, bina boyutlarını ve ulaşım ağını gösteren daha önceden hazırlanmış haritalar planlama aracına yüklenir (Şekil 4.17).



Şekil 4.16 : Koordinat bölgesinin seçilmesi.



Şekil 4.17 : Planlama aracına eklenen harita türleri.

5. WIMAX BAŞARIM BENZETİM SONUÇLARI

Benzetim çalışması için Belçika'nın Brüksel şehri seçilmiştir. Brüksel'in merkez bölgesine ait planlama yapılmış ve planlama yapılırken 4 saha seçilmiştir. Bu dört sahada toplam 9 baz istasyonu kullanılmıştır. Buna göre 3 saha 2'şer sektörlü, 1 sahada 3 sektörlü olarak seçilmiştir.

Benzetim yapılmadan benzetimi yapılan baz istasyonunun ve kullanıcı cihazın özellikleri tanımlanmıştır. Daha sonra radyo planlamaya ilişkin veriler girilmiş ve bu veriler çerçevesinde kestirimler yapılmıştır.

Benzetim çalışması yapılırken ilk olarak trafikten bağımsız olarak sinyal seviyesinin hangi bölgede ne kadar olabileceğine dair sonuçlar kullanılan radyo planlama aygıtı ile tahmin edilmiştir. Daha sonra kullanıcı trafiği olduğu varsayımı altında benzetim çalışması yapılmıştır.

Trafikten bağımsız ve trafik bağımlı benzetim çalışması yapılırken AAS anten kullanılma ve AAS anten kullanılmama durumları ele alınmıştır. Böylelikle AAS antenin sinyal kalitesini ne ölçüde etkilediği ve kapsama alanını arttırmadaki etkisi gözlemlenmiştir.

5.1 Benzetimi Yapılan Ekipmanların Özellikleri

Benzetim çalışmasında Alcatel-Lucent ait 9116 kodlu baz istasyonu özellikleri temel alınmıştır. Baz istasyonu anteni olarak Kathrein ait bir anten seçilmiştir. Kullanıcı cihazı olarak Zyxel'e ait MAX-110 kodlu PCMCIA kart kullanılmıştır.

5.1.1 Baz istasyonu

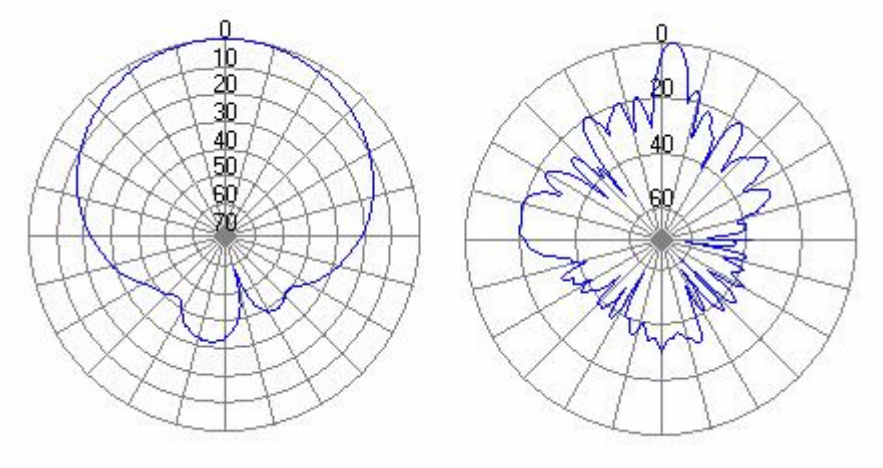
Baz istasyonuna ait özellikleri şöyle sıralayabiliriz [10]:

- 35 dBm çıkış gücü,
- TDD bölmeleme metodu,
- AAS anten destekleme,

- 2.3-2.4, 2.5-2.7, 3.3-3.4, 3.4-3.6, 3.6-3.8 GHz frekans band aralıklarında çalışma,
- 802.16e standartlarına uygunluk,
- Senkronizasyon için gömülü GPS,
- QPSK, 16-QAM, 64-QAM modülasyon tekniklerini destekleme,
- 512, 1024 FFT büyüklüklerini destekleme,
- 4 Tx/Rx anten giriş çıkışı,
- 3.5 MHz, 5 MHz, 10 MHz band genişliklerini destekleme.

5.1.2 Anten özellikleri

Benzetim çalışmalarında Kathrein'e ait 3300-3600 MHz bandında çalışan, yarım güç demet genişliği 65 derece olan, 18 dBi kazancında anten kullanılmıştır. Bu anten aynı zamanda 4 segmentli AAS anten modeli olarak da kullanılmıştır. Antene ait yatay ve dikey örüntü modeli Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Kathrein anten yatay ve dikey örüntü modeli.

5.1.3 Kullanıcı cihazı özellikleri

Zyxel'e ait MAX-110 WiMAX PCMCIA cihaz özelliklerini şöyle sıralayabiliriz :

- Referans standart: IEEE 802.16e SOFDMA
- Bölmeleme metodu: TDD
- Frekans: 3400-3600 MHz

- Kanal bant genişlikleri: 3.5 MHz / 512 FFT, 5 MHz / 512 FFT, 7 MHz / 1024 FFT, 8.75 MHz / 1024 FFT, 10 MHz / 1024 FFT
- Modülasyon: QPSK, 16QAM, 64QAM (Sadece DL)
- Anten: AAS desteği, 28dBm maksimum çıkış gücü, 2dBi anten kazancı, 65 derece demet genişliği.
- Maksimum hız: 5 Mbit/s DL, 2 Mbit/s UL.

5.2 Radyo Planlama Girdileri

Radyo planlama girdileri olarak radyo frekans bilgileri, planlaması yapılacak bölge bilgileri kullanılmıştır.

5.2.1 Radyo frekans bilgileri

Benzetimde kullanılan radyo frekans bilgileri aşağıdaki gibidir:

- Frekans: 3.5 GHz.
- Kullanılan toplam band genişliği: 30 MHz.
- Kullanılan kanallar: 3500-3505 MHz, 3505-3510 MHz, 3510-3515 MHz, 3515-3520 MHz, 3520-3525 MHz, 3525-3530 MHz.
- Kullanılan bölmeleme metodu: TDD.
- WiMAX kanal bant genişliği: 5 MHz.
- Kullanılan propagasyon modeli: Standart propagasyon modeli – 3500 MHz.

5.2.2 Saha bilgileri

Saha seçimi yapılırken Brüksel'de kullanıcı yoğunluğunun yüksek olduğu bir bölge seçilmiş ve burayı kapsamak hedeflenmiştir. Buna göre 4 tane saha seçilmiştir. Bir saha 3 sektörlü olup, diğer sahalar 2'şer sektörlüdür (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1 : Saha bilgileri.

Saha Adı	Sektör Adı	Boylam	Enlem	Azimut	Mekanik Aşağı Eğiklik	Frekans Bandı (MHz)	Çıkış Gücü (dBm)	Anten Yüksekliği (m)
Site0	Site0_2	4°20'56.04"E	50°51'12.06"N	140°	2°	3500-3505	35	30
Site0	Site0_3	4°20'56.04"E	50°51'12.06"N	200°	2°	3505-3510	35	30
Site1	Site1_1	4°21'34.43"E	50°50'34.55"N	330°	2°	3505-3510	35	30
Site1	Site1_3	4°21'34.43"E	50°50'34.55"N	270°	2°	3500-3505	35	30
Site2	Site2_1	4°20'33.52"E	50°50'34.38"N	30°	2°	3500-3505	35	30
Site2	Site2_2	4°20'33.52"E	50°50'34.38"N	100°	2°	3510-3515	35	30
Site3	Site3_1	4°21'8"E	50°50'47.7"N	0°	2°	3515-3520	35	30
Site3	Site3_2	4°21'8"E	50°50'47.7"N	120°	2°	3520-3525	35	30
Site3	Site3_3	4°21'8"E	50°50'47.7"N	240°	2°	3525-3530	35	30

5.3 Link Bütçesi (Link Budget) Hesabı

Link Bütçesi hesabı yapılırken anten olarak AAS kullanılma ve kullanılmama durumlarına göre iki farklı hesap yapılmıştır. Kullanıcıların bina dışında olduğu varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. Daha sonra elde edilen en fazla izin verilebilen yol kaybı (MAPL)'na göre hücre çapları hesaplanmıştır.

5.3.1 Uyarlamalı anten kullanılmama koşulunda link bütçesi hesabı

Link bütçesi hesabı Çizelge 5.2'de olduğu gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2 : Bina için AAS olmadan link bütçesi hesabı.

Parametreler	DL	UL	Formül
Tx parametreleri	BS	CPE	
Tx çıkış gücü	35 dBm	23 dBm	a
Tx anten kazancı	18 dBi	2 dBi	b
Anten eleman sayısı	1	1	c
Tx AAS anten kazancı	-	-	d
Tx kablolama kayıpları	1.21 dB	0 dB	e
EIRP	51.8 dBm	25 dBm	$A = a + b + d - e$
Rx parametreleri	CPE	BS	
Rx anten kazancı	2 dBi	18 dBi	f
Rx kablolama kayıpları	0 dB	1.21 dB	g
Rx AAS anten kazancı	-	-	h
N_f	-130.8 dB	-129.3 dB	x
SNR	11 dB	11 dB	y
Rx duyarlılık	-119.8 dB	-128.3 dB	B=x+y
Min. Rx anten seviyesi	-121.8 dB	-156.9 dB	C=B-f+g-h
Sistem kazancı	173.6 dB	181.9 dB	D=A-C
İnterferans payı	1.5 dB	1.5 dB	m
Gölgeleme payı	8.8 dB	8.8 dB	n
MAPL	163.3 dB	171.6 dB	M=D-m-n

N_f değeri hesaplanırken (5.1) formülü kullanılmıştır. Bu formülde BW değeri olarak tek bir alt taşıyıcının frekansı olan 10940 Hz, örnekleme değeri olan n için 1.12, kullananılar FFT değeri ($N_{kullanılan}$) için 460, toplam FFT değerini gösteren N_{FFT} değeri olarak 512 kullanılmıştır. N_{figure} değeri DL için 5 dB UL için 3.5 dB olarak kullanılmıştır.

$$N_f = -174.3 + 10\log(BW.n.\frac{N_{kullanılan}}{N_{FFT}}) + N_{Figure} \quad \textbf{(5.1)}$$

Hücre çapı büyüklüğü hesaplamak için 5.2'deki formül kullanılmıştır. MAPL değeri 163.3 dB, baz istasyonu yüksekliği (h_{BS}) 30m, gölgeleme değeri 8.8 dB alınmıştır. Buna göre HB (hücre çapı büyüklüğü) 1.05 km bulunmuştur.

$$HB = 10^{\frac{MAPL - 39.5 - 5.83\log(h_{BS}) - gölgeleme}{44.9 - 6.55\log(h_{BS})}} \quad \textbf{(5.2)}$$

5.3.2 Uyarlamalı anten kullanılma koşulunda link bütçesi hesabı

Link bütçesi hesabı Çizelge 5.3'de olduğu gibi hesaplanmıştır.

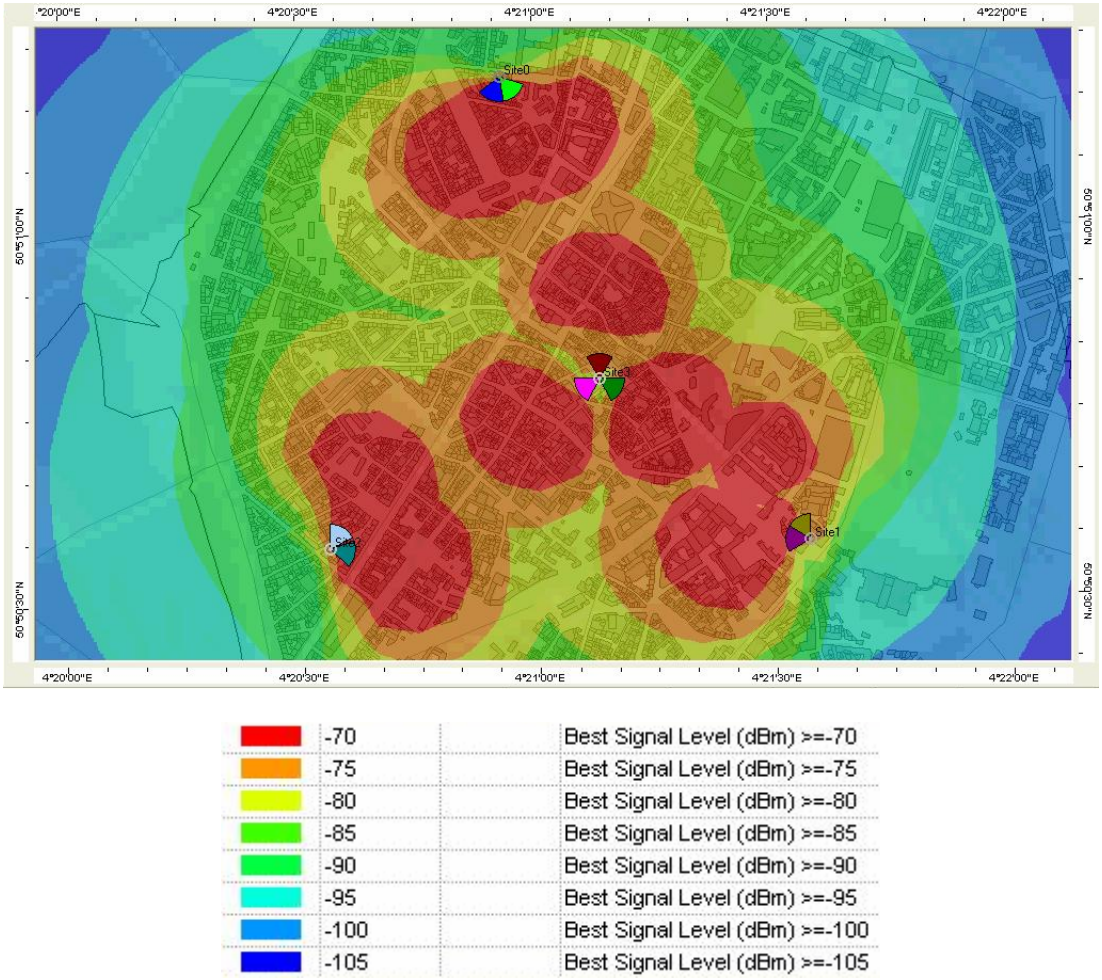
Çizelge 5.3 : Bina içi AAS aktif link bütçesi hesabı.

Parametreler	DL	UL	Formül
Tx parametreleri	BS	CPE	
Tx çıkış gücü	35 dBm	23 dBm	a
Tx anten kazancı	18 dBi	2 dBi	b
Anten eleman sayısı	4	1	c
Tx AAS anten kazancı	6	-	d
Tx kablolama kayıpları	1.21 dB	0 dB	e
EIRP	57.8 dBm	25 dBm	$A = a + b + d - e$
Rx parametreleri	CPE	BS	
Rx anten kazancı	2 dBi	18 dBi	f
Rx kablolama kayıpları	0 dB	1.21 dB	g
Rx AAS anten kazancı	-	7.3	h
N_f	-130.8 dB	-129.3 dB	x
SNR	11 dB	11 dB	y
Rx duyarlılık	-119.8 dB	-128.3 dB	B=x+y
Min. Rx anten seviyesi	-121.8 dB	-164.2 dB	C=B-f+g-h
Sistem kazancı	179.6 dB	189.2 dB	D=A-C
İnterferans payı	1.5 dB	1.5 dB	m
Gölgeleme payı	8.8 dB	8.8 dB	n
MAPL	169.3 dB	178.9 dB	M=D-m-n

Formül 5.2 kullanılarak ve AAS aktif olma durumdaki DL MAPL değeri 169.3 dB alınarak yapılan hesaplamada HB yani hücre çapı büyüklüğü 1.58 km olarak bulunmuştur.

5.4 Benzetim Sonuçları

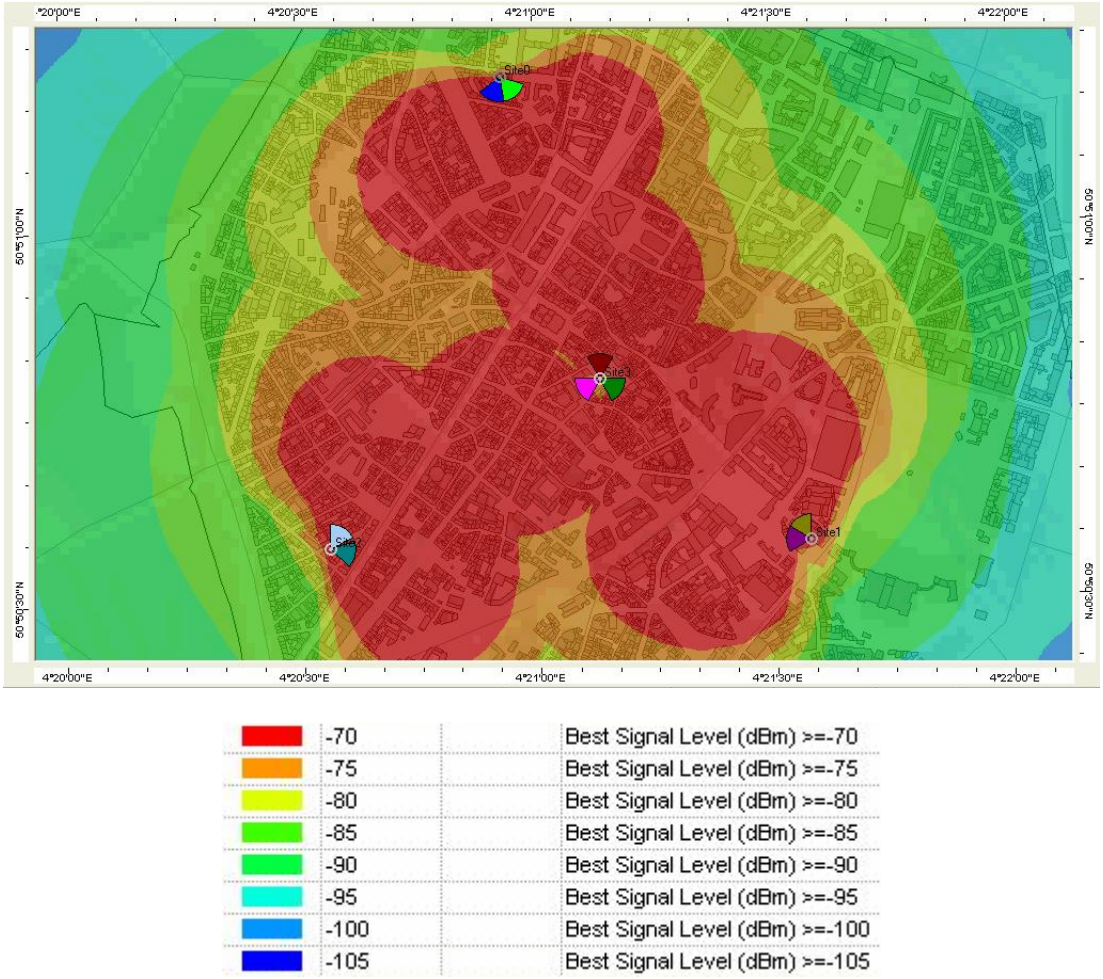
Benzetim çalışması yapılırken 4 farklı durum dikkate alınmıştır. Birincisi AAS'in aktif olmadığı ve sinyal seviyesine göre trafikten bağımsız olma durumudur (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 : Bina dışı AAS'siz sinyal seviyesi benzetimi (Ölçek: 1/10,000).

İkincisi AAS'in aktif olduğu sinyal seviyesine göre trafik bağımsız olma durumudur (Şekil 5.3).

Çizelge 5.4'de sinyal seviyesine göre benzetim çalışması sonucu kazanç km^2 cinsinden hesaplanmıştır. Buna göre AAS antenli kapsama değerine ulaşmak için sinyal seviyesini yaklaşık olarak 6 dB arttırmak gerektiği görülmektedir. Dolayısıyla antenin çıkış gücünün 35 dBm (3.16 Watt)'den 41 dBm (12.59 Watt)'e çıkartılması gerekmektedir. Buda çıkış gücünü 9.43 Watt arttırdığımız zaman AAS kullanıldığı zaman ulaşılacak kapsama alanına ancak ulaşılabileceğini göstermektedir.

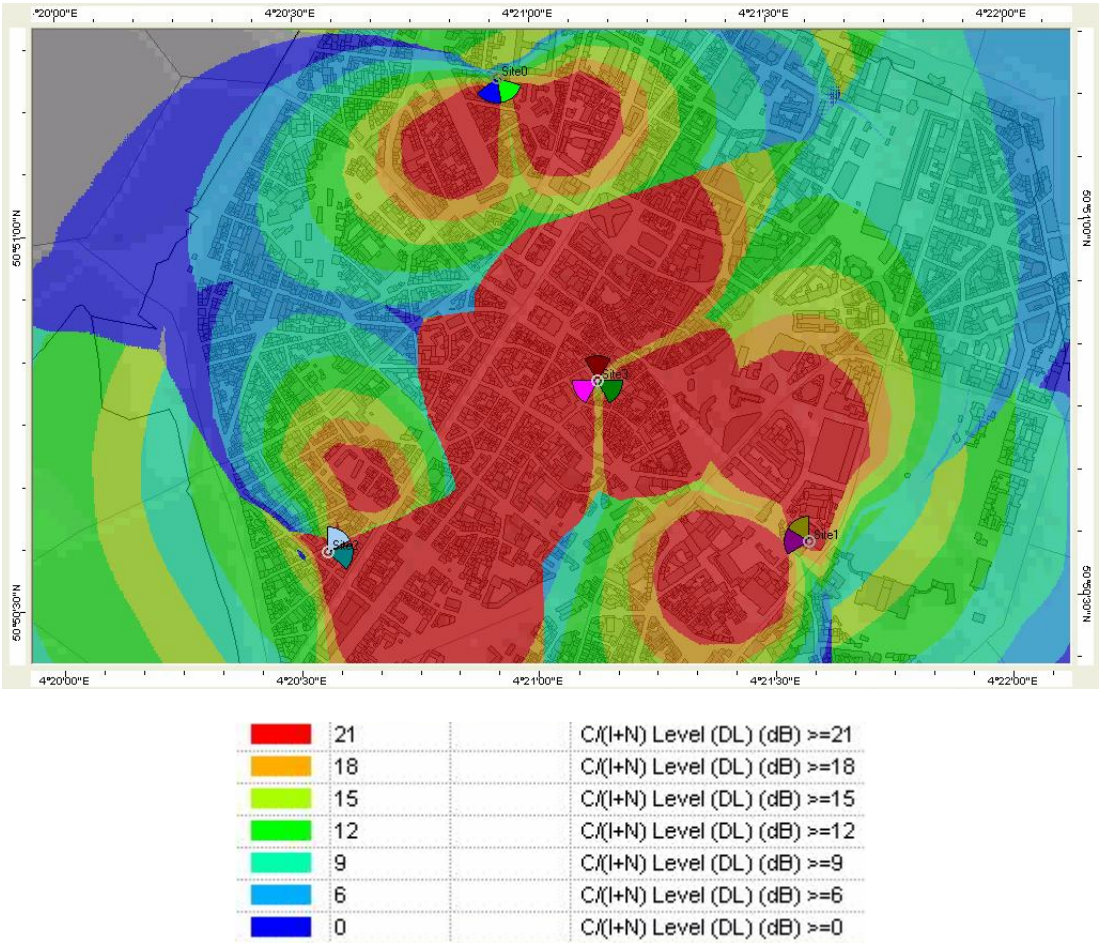


Şekil 5.3 : Bina dışı AAS aktif sinyal seviyesi benzetimi (Ölçek: 1/10,000).

Çizelge 5.4 : Sinyal seviyelerine göre kapsama alanları.

Sinyal Seviyeleri	AAS aktif (km^2)	AAS olmadan (km^2)	Kazanç (km^2)
dBm ≥ -70	1.33592	0.650008	0.684992
dBm ≥ -75	1.887172	1.223436	0.663736
dBm ≥ -80	2.435788	1.77634	0.021256
dBm ≥ -85	3.408368	2.304564	1.103804
dBm ≥ -90	5.212376	3.1523	2.060076
dBm ≥ -95	8.22688	4.757824	3.469056
dBm ≥ -100	11.311156	7.504844	3.806312
dBm ≥ -105	13.89582	10.662988	3.232832

Üçüncüsü AAS'in aktif olmadığı C/(I+N) seviyesine göre trafik bağımlı olma durumudur (Şekil 5.4).

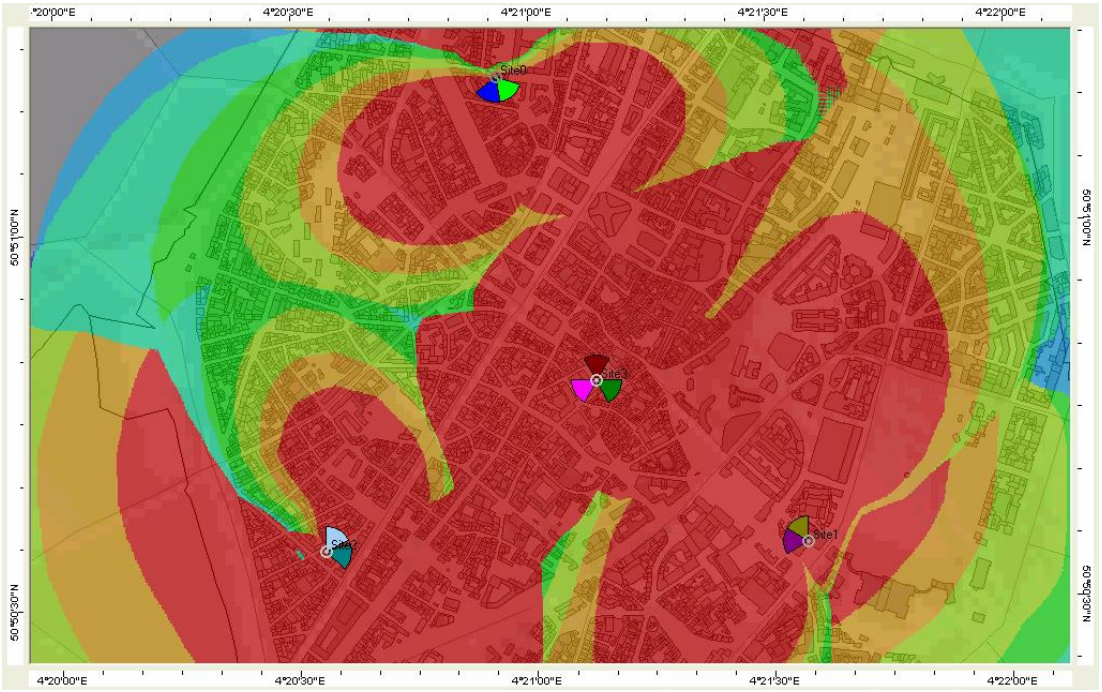


Şekil 5.4 : Bina dışı AAS'siz C/(I+N) DL seviyesi benzetimi (Ölç.: 1/10,000).

Dördüncüsü AAS'in aktif olduğu durumda C/(I+N) seviyesine göre trafik bağımlı olma durumudur (Şekil 5.5). Çizelge 5.5'de AAS kullanılma ve kullanılmama durumları karşılaştırılmış ve elde edilen kazanımlar km^2 ve yüzde olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.5 : C/(I+N) seviyelerine göre kapsama alanları.

C/(I+N) Seviyeleri (dB)	AAS aktif (km^2)	AAS olmadan (km^2)	Kazanç (km^2)	Kazanç (%)
C/(I+N) ≥ 21	2.604936	1.046132	1.558804	149.0064351
C/(I+N) ≥ 18	3.908012	1.363184	2.544828	186.6826489
C/(I+N) ≥ 15	6.14854	2.134992	4.013548	187.9889011
C/(I+N) ≥ 12	8.307408	3.651052	4.656356	127.5346393
C/(I+N) ≥ 9	10.517812	6.030904	4.486908	74.39859762
C/(I+N) ≥ 6	12.575884	8.441448	4.134436	48.9778057
C/(I+N) ≥ 0	14.630168	12.546552	2.083616	16.60708057



	21	C/(I+N) Level (DL) (dB) >=21
	18	C/(I+N) Level (DL) (dB) >=18
	15	C/(I+N) Level (DL) (dB) >=15
	12	C/(I+N) Level (DL) (dB) >=12
	9	C/(I+N) Level (DL) (dB) >=9
	6	C/(I+N) Level (DL) (dB) >=6
	0	C/(I+N) Level (DL) (dB) >=0

Şekil 5.5 : Bina dışı AAS aktif C/(I+N) DL seviyesi benzetimi (Ölçek: 1/10,000).

6. SONUÇLAR

Telsiz iletişimin öneminin giderek artmasıyla beraber bu gereksinimi karşılayacak yeni teknolojiler de giderek yaygınlaşmaya başlamıştır. Telsiz iletişimde amaç daha yüksek veri hızlarına servis kalitesini yüksek tutarak ulaşmak ve kapsama alanını olabildiği kadar arttırarak baz istasyonu maliyetlerini düşürmektir. WiMAX kullanmış olduğu SOFDMA ara yüzüyle spektrumun daha etkin bir şekilde kullanılmasına, uyarlamalı anten kullanarak veri hızının yüksek seviyelere çıkmasına ve kapsama alanının daha da artmasına olanak sağlamaktadır.

Uyarlamalı anten kullanmanın kapsama alanını ne kadar etkilediğini görmek için ilk olarak link bütçesi hesaplamaları yapılmıştır. Bu sonuçlardan yararlanarak hücre çapları hesaplanmış ve uyarlamalı anten kullanımının hücre çapını %50 oranında arttırabileceği teorik olarak hesaplanmıştır.

En son olarak Brüksel'de bir bölge seçilerek planlama aygıtı kullanılarak yapılan trafikten bağımsız benzetim çalışmasında; uyarlamalı anten kullanıldığında uyarlama anten kullanmadan yapılan benzetime oranla kapsama alanının %40-%50 civarında arttığı gözlemlenmiştir. Trafik bazlı yapılan benzetim çalışmasında ise uyarlamalı anten kullanımının yüksek C/(I+N) değerinin, uyarlamalı anten kullanmadan yapılan benzetime göre daha uzak noktalarda sağladığı gözlemlenmiştir. C/(I+N) değerindeki artış bir üst modülasyon tekniğini kullanmaya olanak sağladığı için uyarlamalı anten kullanımının baz istasyonu verimliliğini arttırdığı sonucuna varılmıştır.

GSM'in gelişimiyle beraber gezgin iletişim giderek yaygınlaşmıştır. GSM ses iletiminin gerçekleşmesinde yeterli kaliteyi yakalamış olsa bile veri iletiminin hızlı ve etkin bir şekilde gerçekleşmesine olanak sağlayamamaktadır. Günümüzde veri iletimini gezgin olarak sağlama gerekliliğinin giderek artmasıyla farklı gezgin teknolojilere olan gereksinim ortaya çıkmıştır. Bu gereksinimi karşılamak için 3. Nesil, WiMAX ve LTE gibi sistemler kullanıcıların hizmetine sunulmaktadır. Bu sistemler veri hızını arttırmak, daha fazla kullanıcıya erişmek ve servis kalitesini arttırmak için çeşitli teknolojiler kullanmışlardır. Uyarlamalı anten teknolojisi de bu

teknolojilerden birisidir. WiMAX sistemlerinde kullanılan uyarlamalı anten teknolojisi kapsama alanının ve veri hızının artmasında etkin rol oynayan teknolojilerden bir tanesidir. Bu tezde uyarlamalı anten teknolojilerinin WiMAX sistemi üzerindeki başarımı gösterilmiştir.

WiMAX sistemlerinin kullanmış olduğu frekansın, gezgin iletişim için birçok dezavantajlarının olması ve standartlaşma çalışmalarının istenilen seviyede gerçekleştirilememesi WiMAX'in ilerde yaygın hale geleceği düşüncesini giderek zayıflatmaktadır. WiMAX, LTE gibi kendisi ile benzer özelliklere sahip teknolojilere geçişte öncü olmuş ve bu teknolojilerin gelişmesine büyük katkı sağlamıştır.

Uyarlamalı anten teknolojisi de bir diğer akıllı anten teknolojisi olan MIMO anten teknolojisine yerini bırakmaktadır. ArrayComm gibi anten üretici firmalar uyarlamalı anten teknolojileri ile ilgili birçok çalışmalar yapmış ve daha sonra bu deneyimlerini MIMO anten teknolojisini geliştirmekte kullanmışlardır [13]. WiMAX'te olduğu gibi uyarlamalı anten teknolojisi de ilerde yaygınlaşması planlanan ve kullanıcılara yüksek hızlarda veri iletimi olanağı veren diğer teknolojilere geçişte önemli katkılar sağlamıştır.

KAYNAKLAR

[1] **Lerbour, R., Kurt T., Le Helloco, Y., Breton, B.,** 2006. Broadband Wireless Access Interference and Capacity Estimation, *Vehicular Technology Conference,*. **1-5.**

[2] **Şafak, A., Özdem, M., Uyanık, E.,** 2007. Performance Analysis of WIMAX (802.16e) Systems, *Signal Processing and Communications Applications,*. **1-4.**

[3] **Huang, C., Chang, C., Chen, P., Wu, M.,** 2008. Performance Evaluation of SDMA Based Mobile WiMAX Systems, *Wireless Communication sand Mobile Computing Conference,* **1042-1046.**

[4] **Hirakawa, M., Yamamoto, T., Okada, Y., Sugimoto, M.,** 2009. Development of Interference Cancellation Method using Adaptive Array Antenna for Uplink OFDMA in Mobile WiMAX, *Vehicular Technology Conference,* **1-5.**

[5] **Goransson, B., Hagerman, B., Barta, J.,** 2000. Adaptive Antennas in WCDMA Systems Link Level Simulation Results Based on Typical User Scenarios, *Vehicular Technology Conference,* **157-164.**

[6] **Andrews, J. G., Ghosh, A., and Muhamed, R.,** 2007. *Fundamentals of WiMAX,* Prentice Hall. **34**

[7] **WiMAX Forum,** 2006. Mobile WiMAX – Part I:A Technical Overview and Performance Evaluation.

[8] **Nuaymi, L.,** 2007. *WiMAX,* John Wiley & Son, Ltd. **54**

[9] **Hourani, H.,** 2004. Adaptive Antenna Systems: Overview, *Postgraduate Course in Radio Communications*.

[10] **Urbaniak, O.,** 2006. Alcatel 9116 WiMAX Base Station, *Alcatel-Lucent.*

[11] **Oana, A.,** 2007. Adaptive Antenna Systems, *Alcatel-Lucent.*

[12] **Asztalos, T.,** 2007. WiMAX Radio Network Planning, *Alcatel-Lucent.*

[13] **Goldburg, M., Pechner, D., Chowdhury, S.,** 2005. Performance of an 802.16e OFDMA Deployment with AAS Algorithms, *ArrayComm*



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Hakan Akmaz

Doğum Yeri ve Tarihi: Turhal, 28.08.1984

Lisans Üniversite: Yıldız Teknik Üniversitesi