

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

BAZ İSTASYONLARI İÇİN UYGUN SAHA SEÇİMİNDE YENİ BİR MODEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mert MARANGOZ

İletişim Sistemleri Anabilim Dalı

Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

BAZ İSTASYONLARI İÇİN UYGUN SAHA SEÇİMİNDE YENİ BİR MODEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mert MARANGOZ
(705101005)**

İletişim Sistemleri Anabilim Dalı

Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU

MAYIS 2014

İTÜ, Bilişim Enstitüsü'nün 705101005 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mert MARANGOZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**BAZ İSTASYONLARI İÇİN UYGUN SAHA SEÇİMİNDE YENİ BİR MODEL**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Nebiye Musaoğlu**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Selçuk PAKER**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER

İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **05 Mayıs 2014**

Savunma Tarihi : **30 Mayıs 2014**

Aileme,

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi Bilişim Enstitüsü Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı'na Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanan bu çalışma yeni bir modele dayanarak belirlenen kriterlere bağlı kalacak şekilde baz istasyonları için en uygun saha seçiminin yapılmasını amaçlamıştır. Çalışmanın her aşamasında bilimsel destek sunan Sayın Hocam Prof. Dr. Nebiye Musaoğlu'na en içten teşekkürlerimi sunarım. Başta annem Aşkım Öğüt Marangoz'a olmak üzere aileme ve sevgili Pınar Kaya'ya her türlü desteklerinden, sevgilerinden ve bana olan inançlarından ötürü teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2014

Mert MARANGOZ
(Elektronik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	2
2. MOBİL HABERLEŞME.....	5
2.1 Kablosuz Hücrel Haberleşmede Evrim Süreci.....	5
2.2 Kablosuz Hücrel Haberleşme Teknolojileri.....	5
2.2.1 Birinci Nesil (1G) teknolojisi.....	5
2.2.2 İkinci Nesil (2G) teknolojisi	6
2.2.3 Üçüncü Nesil (3G) teknolojisi	7
2.2.4 Dördüncü Nesil (4G) teknolojisi.....	9
2.3 Baz İstasyonu Yapısı ve Kavramları.....	10
2.4 Hücrel Haberleşmede Hücre Yapıları.....	18
2.5 RF Sinyallerin Sağlığa Etkisi ve Alınan Önlemler	21
3. BAZ İSTASYONU İÇİN SAHA SEÇİMİ	25
3.1 Çalışma Alanı	26
3.1.1 Çalışma Alanı İçin “Obje Oluşturma Aracı” Uygulaması ile Veritabanı Hazırlama	27
3.2 “Saha Seçme Aracı” ile Uygun Baz İstasyonu Lokasyonlarının Seçilmesi.....	29
4. SEÇİLEN SAHALAR İLE ATOLL’DA KAPSAMA ALANININ HESAPLATILMASI	37
4.1 Coğrafi Bilgileri İçeren Veritabanlarının ve Saha Lokasyonlarının Atoll Programına Aktarılması	37
4.2 Kapsama Alanının Hesaplatılması	43
4.2.1 900MHz frekans bandında yayılım modelleri ile kapsama alanının hesaplatılması.....	44
4.2.2 1800MHz frekans bandında yayılım modelleri ile kapsama alanının hesaplatılması.....	49
4.2.3 2100MHz frekans bandında yayılım modelleri ile kapsama alanının hesaplatılması.....	53
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ.....	67

KISALTMALAR

RF	: Radyo Frekansı
4G	: Dördüncü Nesil
LTE	: Long Term Evolution
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
WiMAX	: Worldwide Interoperability for Microwave Access
SUI	: Stanford University Interim
SPM	: Standard Propagation Model
1G	: Birinci Nesil
FDMA	: Frequency Division Multiple Access
2G	: İkinci Nesil
SMS	: Short Message Service
TDMA	: Time Division Multiple Access
GPRS	: General Packet Radio Service
EDGE	: Enhanced Data for Global Evolution
3G	: Üçüncü Nesil
CDMA	: Code Division Multiple Access
MAI	: Multiple Access Interference
ISI	: Intersymbol Interference
RNC	: Radio Network Controller
MSC	: Mobile Switching Center
GGSN	: Gateway GPRS Support Node
SGSN	: Serving GPRS Support Node
UMTS	: Universal Mobile Telecommunication System
HSPA	: High Speed Packet Access
IP	: Internet Protocol
OFDMA	: Orthogonal Frequency Division Multiple Access
BER	: Bit error rate
BTS	: Base transceiver station
FAM	: Finite Arrays Method
VSWR	: Voltage standing wave ratio
WHO	: World Health Organization
AB	: Avrupa Birliği
EMR	: Elektromanyetik radyasyon
BTK	: Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
HPS	: Health Physics Society
IRPA	: International Radiation Protection Association
ICNIRP	: International Commission On Non Ionizing Radiation Protection
WGS	: World Geodetic System
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Kablosuz haberleşme teknolojileri arasındaki maksimum data hızı ve kanal band genişliği farklılıkları [17].	10
Çizelge 2.2 : Ülkelerin mobil haberleşme için belirledikleri elektrik alan şiddeti [V/m] sınır değerleri [25].	21
Çizelge 2.3 : Ortam ve tek bir cihaz için belirlenen limit değerler (f: MHz olarak frekans bandı) [27].	23

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Kablosuz hücreli haberleşmede evrim süreci.....	5
Şekil 2.2	: FDMA tekniği.	6
Şekil 2.3	: TDMA tekniği.	7
Şekil 2.4	: CDMA tekniği.	8
Şekil 2.5	: OFDMA tekniği.	10
Şekil 2.6	: Baz istasyonu genel yapısı ve sistem odası [7].	11
Şekil 2.7	: Kazanç değerlerini gösteren 3 boyutlu ışınım diyagramı [19].....	13
Şekil 2.8	: Yatay düzlemde 45.3651 derecede ana lobun gücünün yarıya düştüğü ışınım diyagramı [19].....	13
Şekil 2.9	: Dikey düzlemde 8.00277 derecede ana lobun gücünün yarıya düştüğü ışınım diyagramı [19].....	14
Şekil 2.10	: Aşağı yönde mekanik eğim ile ışınım diyagramındaki değişim [20]..	14
Şekil 2.11	: Aşağı yönde elektriksel eğim ile ışınım diyagramındaki değişim [21].	15
Şekil 2.12	: Atlama kablosu ve "S bağlantısı" [21].	16
Şekil 2.13	: Kule antenine bağlanan besleme kablosu [21].	16
Şekil 2.14a	: Sistem odası dış görünümü [21].	17
Şekil 2.14b	: Sistem odası iç görünümü [21].	18
Şekil 2.15	: Makro hücre için kuleye monte edilmiş anten.	19
Şekil 2.16	: Makro hücre için çatıya monte edilmiş anten.	19
Şekil 2.17	: Mikro hücre için binanın yan duvarına monte edilmiş anten [23].	20
Şekil 2.18	: Piko hücre için otoparka monte edilmiş anten.	20
Şekil 3.1	: Beykoz ilçesinin İstanbul'daki coğrafi konumu.	26
Şekil 3.2	: Beykoz için vektör formatta hazırlanan veritabanı ve bir kesitin yakınlaştırılmış görüntüsü.....	27
Şekil 3.3	: Eğitim ve sağlık kurumları için belirlenen ve yarıçapı 350m olan güvenlik mesafelerine ait daireler ile kapsanan ve kesişen yapılar.	28
Şekil 3.4	: "Obje Oluşturma Aracı" uygulamasıyla veritabanı hazırlanması.	30
Şekil 3.5	: Her yapının baz istasyonu lokasyonu olduğu varsıyılarak merkezlerinden itibaren çizilen 300m yarıçapındaki kapsama alanı daireleri.	31
Şekil 3.6	: "Saha Seçme Aracı" uygulaması için hazırlanan akış diyagramı.....	32
Şekil 3.7	: Veritabanındaki toplam örnek eleman sayısı.	33
Şekil 3.8	: Veritabanındaki 2718 yapı içinden 190'ı uygun baz istasyonu olarak seçilmiştir.	35
Şekil 4.1	: Atoll versiyon 3.1.2'ye ait proje taslakları.....	38
Şekil 4.2	: Koordinat sisteminin tanıtılması.	38
Şekil 4.3	: SYM veritabanının yüklenmesi.....	39
Şekil 4.4	: SYM veritabanının harita üzerindeki görüntüsü.	39
Şekil 4.5	: Arazi kullanım alanlarına ait veritabanının yüklenmesi.	40
Şekil 4.6	: Arazi kullanım alanlarına ait veritabanının harita üzerindeki görüntüsü	40

Şekil 4.7	: Sahalara ait koordinatlara karşılık gelen deniz seviyesinden olan yükseklik bilgisini içeren veritabanının görüntüsü.	41
Şekil 4.8	: Antenlerin bilgilerini içeren veritabanının görüntüsü.	42
Şekil 4.9	: Kullanılan anten modeline ait yatay düzlemdeki ışınım diyagramı.	42
Şekil 4.10	: Kullanılan anten modeline ait dikey düzlemdeki ışınım diyagramı.	43
Şekil 4.11	: Kapsama alanlarının sinyal seviyesine göre renklendirilmesi.....	44
Şekil 4.12a	: 900MHz frekans bandında SUI modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.....	45
Şekil 4.12b	: 900MHz frekans bandında SUI modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.	45
Şekil 4.13a	: 900MHz frekans bandında COST-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.....	46
Şekil 4.13b	: 900MHz frekans bandında COST-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.	46
Şekil 4.14a	: 900MHz frekans bandında Okumura-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.....	47
Şekil 4.14b	: 900MHz frekans bandında Okumura-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.	47
Şekil 4.15a	: 900MHz frekans bandında SPM modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.....	48
Şekil 4.15b	: 900MHz frekans bandında SPM modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.	48
Şekil 4.16a	: 1800MHz frekans bandında SUI modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.....	49
Şekil 4.16b	: 1800MHz frekans bandında SUI modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.	50
Şekil 4.17a	: 1800MHz frekans bandında COST-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.....	50
Şekil 4.17b	: 1800MHz frekans bandında COST-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.	51
Şekil 4.18a	: 1800MHz frekans bandında Okumura-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.....	51
Şekil 4.18b	: 1800MHz frekans bandında Okumura-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.	52
Şekil 4.19a	: 1800MHz frekans bandında SPM modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.....	52
Şekil 4.19b	: 1800MHz frekans bandında SPM modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.	53
Şekil 4.20a	: 2100MHz frekans bandında SUI modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.....	53
Şekil 4.20b	: 2100MHz frekans bandında SUI modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.	54
Şekil 4.21a	: 2100MHz frekans bandında COST-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.....	55
Şekil 4.21b	: 2100MHz frekans bandında COST-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.	55
Şekil 4.22a	: 2100MHz frekans bandında Okumura-Hata modeli hesaplatılan kapsama alanı haritası.....	56
Şekil 4.22b	: 2100MHz frekans bandında Okumura-Hata modeli hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.	56

Şekil 4.23a : 2100MHz frekans bandında SPM modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.....	57
Şekil 4.23b : 2100MHz frekans bandında SPM modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.	57

BAZ İSTASYONLARI İÇİN UYGUN SAHA SEÇİMİNDE YENİ BİR MODEL

ÖZET

Günümüzde hızlı gelişen teknoloji ile birlikte, mobil haberleşme kullanıcılarının beklentileri artmakta ve kullanıcıların farklı ihtiyaçları doğmaktadır. Bu nedenle operatör firmaları beklentileri ve ihtiyaçları karşılayabilmek için yeni satın alınan yada geliştirilen teknoloji ile abonelere daha yüksek hızlarda data transferi ve daha kaliteli bir şekilde kesintisiz görüşme yapabileceklerini belirtirler.

Mobil haberleşme kalitesini, servis alınan baz istasyonu teknolojisi; servis verebilme kapasitesi, baz istasyonu için doğru lokasyon seçimi yada transmisyon alt yapısı gibi birçok faktör etkiler. Daha iyi hizmet verebilmek amacıyla mevcut baz istasyonuna ait ekipmanlar gelişen teknoloji ile yerlerini yeni ekipmanlara bırakabilir fakat baz istasyonu lokasyonu için yanlış lokasyon seçimi yapılmışsa bu sorunu çözebilmenin tek yolu tekrardan keşif yapılarak en iyi lokasyonun belirlenmesidir. Baz istasyonu lokasyonu için saha seçimi keşif yaparak yeni yerleşim yerlerinin kurulduğu, kapasitenin artırılmak istendiği, mevcut baz istasyonlarının kurulu olduğu yapılara veya arsalarla ait sözleşmesi biten yada kapsamı olmayan yerlere servis vermek için de yapılabilir.

Baz istasyonu lokasyonları için saha seçimi şehir içinde ve kırsalda farklı parametrelere bağlıdır. Şehir içinde sinyalin yüksek yapılardan etkilenmemesi için baz istasyonu anteninin bölgedeki en yüksek olan yapıların çatılarına konmasına ve kapsanacak alanın büyüklüğüne göre uygun antenin seçilmesine dikkat edilmelidir. Bu çalışmada şehir içinde servis verecek antenin kırsaldaki gibi uzak lokasyonlara kadar servis vermemesi için her antene 4 derece aşağı yönde eğim verilmiştir. Atoll programının katoloğundan seçilen antenler 65 derece yatay ışınım genişliğine ve 18 derece dikey ışınım genişliğine, 15dBi anten kazancına sahip olup 900MHz, 1800MHz ve 2100MHz frekans bandlarında çalışmaktadır.

Çalışma alanı olarak deniz seviyesinden olan yükseklikleri büyük bir kısmında farklılık gösterdiği için saha lokasyonu seçimi zor olan İstanbul'un Beykoz ilçesi seçilmiştir. Beykoz'a ait yapıların coğrafi bilgilerini içeren veritabanı vektör formatta hazırlanılarak oluşturulmuştur. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) ve İstanbul İl Çevre Müdürlüğü'nün baz istasyonu kurulumu için belirlediği kriterlere ve yasaklara uymayan lokasyonların üzerindeki yapılar veritabanından silinerek yeni bir veritabanı oluşturulmuştur. BTK'nın kriterleri ve doğabilecek halk tepkisine karşı alınan önlemler ile sağlık kurumları ve okulların bahçeleride dahil olmak üzere merkezlerinden 350m yarıçapındaki güvelik mesafesine sahip alanın dışında baz istasyonu kurulumu uygun görülmüştür. Saha seçimi 350m'lik yarıçapa sahip güvenlik mesafesinin dışında kalan yapılar için yapılmıştır. Aynı zamanda İstanbul İl Çevre Müdürlüğü'nün yaptığı yazılı açıklamaya bağlı kalınarak BTK tarafından güvenlik mesafesine tabi tutulan eğitim ve sağlık kurumları da dahil olmak üzere akaryakıt istasyonlarına, dolum tesislerine, kamu binalarına ve parklara baz istasyonu

kurulması yasaklandığı için bu yapıların bilgileri de baz istasyonu olarak seçilebilecek yapılara ait olan veritabanından silinmiştir. Böylece tüm kriterlere ve yasaklara uyan yapıların içinde olduğu veritabanında çalışılması sağlanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmasında, geliştirilen “Obje Oluşturma Aracı” uygulamasıyla her baz istasyonunun etrafında 300m yarıçapında daireler çizilmiştir. Böylece her yapı potansiyel baz istasyonu lokasyonu olarak belirlenmiş olup kapsama alanının 300m yarıçapında olması istenmiştir. Geliştirilen “Saha Seçme Aracı” uygulaması ile birbiriyle kesişen 300m yarıçapındaki daireler arasından deniz seviyesinden olan yüksekliği ile bina yüksekliği toplamı en yüksek olan yapılar baz istasyonu lokasyonu olarak seçilmiştir ve kesişen daireler arasından baz istasyonu lokasyonu olarak belirlenen daire filtrelenerek diğer daireler silinmiştir. Bu şekilde birbirini kesmeyen 300m yarıçapındaki daireler kullanılarak Beykoz’da yapıların bulunduğu lokasyonlarda kapsama sağlanacak şekilde saha seçimi yapılmıştır.

Seçilen sahalara kurulacak olan baz istasyonu teknolojisi olarak Türkiye’ye gelmesi planlanan Long Term Evolution (LTE) teknolojisi belirlenmiştir. Şehir içinde LTE teknolojisine ait her baz istasyonunun etrafında 300m yarıçapındaki bir alana yeterli sinyal seviyesinde servis verecek şekilde belirlenen 190 tane saha ile Beykoz’da yapıların bulunduğu yerlerin neredeyse tamamında kapsama sağlanmıştır. RF kapsamalar Atoll programında Stanford University Interim (SUI), Standard Propagation Model (SPM), COST-Hata ve Okumura-Hata modellerinin 900MHz, 1800MHz ve 2100MHz frekans bandlarında hesaplatılarak yapıların bulunduğu bölgelerin neredeyse tamamında kapsama sağlandığı gösterilmiştir.

SITE SELECTION FOR BASE STATIONS BASED ON A NEW METHOD

SUMMARY

Nowadays expectations of mobile communication users increase and different demands are existed by rapid growing technology. Therefore operator firms denote more high data transfer speed and a better quality for uninterrupted communication with new purchased technology or developed technology on the existing base station in order to respond to expectations and demands of users.

Lots of factors kind of base station technology; service capacity, choosing the right base station location or transmission infrastructure affect mobile communication quality. Moreover existing base station equipments can be replaced with new equipments by growing technology. However if wrong site selection is executed for signalling, the only solution of this problem is finding the best location by a successful survey. The site selection for base stations can be applied to new settlements, locations that have low base station capacity; end of contracts; poor or no signal coverage.

In mobile communication, cell is the area that has a RF signal coverage in order to provide communication of subscribers. Regions in the city are divided into cells. Each cell has a coverage range. If the coverage ranges of the cells are ranked from largest to smallest, they are respectively: Macro cells, micro cells and pico cells. In this study, cells which have 300m coverage range radius and 10Watt transmitter power, has been used as in the micro cells but base stations located on the roof top of the buildings as in the macro cells. Therefore coverage areas of the transmitters have micro cells with down tilts or macro cells with more transmitter powers in the city.

Surveys of base station locations depends on different parameters in the city and rural. In the city, attention should be paid to locate base stations to the roof tops of highest buildings by the engineers for the signalling that is not obstructed by the other high buildings. Moreover suitable antenna selection for coverage area in the city should be considered. In this study in order to not to serve long distances as in the rural, antennas have 4 degree down tilt in the city. Each antenna was selected from catalog from Atoll program that has 65 degree beamwidth in horizontal pattern, 18 degree beamwidth in vertical pattern and 15dBi antenna gain in 900MHz, 1800MHz and 2100MHz frequency bands. Moreover the antenna height was set to 5m on the roof top of the buildings.

Engineers can work for days to determine site locations without any site selection tools. Therefore lots of work will be delayed and there will not be enough time to finish them. If the study area has a varying altitude measurement, the site selection tool can prove that it is able to calculate the best site location for coverage in a region with any elevation values. Consequently, Beykoz province which is on the Anatolian side of Istanbul in North-West Turkey was considered for the study area because it is hard to select a site for a base station in varying altitude and also crowded population. The major problem in achieving ideal signaling between mobile phones

and base stations is inaccurate site selection due to the altitude and population of the region. Therefore altitude and number of buildings are the key parameters. If site selection is inaccurate and determined without reference to any previous parameters, the connection between mobile phones and base stations can be often interrupted and calls can drop. Moreover base stations have serious costs, and communication firms do not want to invest in the analysis of non built up area in rural or regions with no population.

Database of the built up area with geographic informations of locations of buildings in Beykoz was prepared in vector format. Forbidden locations for base stations were deleted from database depending on criterions and prohibitions of Information and Communications Technologies Authority (ICTA) and Istanbul Provincial Directorate of Environment. Furthermore in this study, the safety distance which is calculated from given formula by International Radiation Protection Association (IRPA) in bylaw of ICTA, was calculated 32.47m. The calculated safety distance depends on broadcast direction of the antennas, the device output power, antenna gain and the limit value of the electric field as from antennas. In this study, 10Watt device output power, 15dBi antenna gain and 3V/m electric field limit value which is determined by ICTA, is lower than the other countries for more health in Turkey was used in order to calculate safety distance. In addition to safety distance criterion of ICTA, the public response around of the schools and hospitals is very important for acceptance of base station approval. Therefore safety distance was considered again for precaution for public response and it was determined to 350m. The buildings inside the circles that have 350m radius from center of health institutes and school, were deleted from the database because of safety distance criterions of ICTA and public response. Moreover the given press release by Istanbul Provincial Directorate of Environment prohibits to install base stations to educational institutions, health institutions, filling stations, public buildings and parks. In order to using database without any detected prohibitions, existing database was updated by deleting forbidden places which was determined by ICTA and Istanbul Provincial Directorate of Environment.

In this study, circles with 300m radius were determined for a good coverage around of each base station in the city by developed “Creating Object Tool” and “Site Selection Tool” applications. “Creating Object Tool” application drew circles with 300m radius to the center of buildings in the database. Therefore each building is dedicated to potential base station location before the site selection. “Site Selection Tool” application compared each building with the other buildings in the database. Comparison was occurred by elevation criterion and coverage criterion. Elevation criterion depended on sum of altitude of each building with their floor height in the database. Coverage criterion that denoted circles with 300m coverage radius, depended on intersection of each circles. This criterion started to compare highest object to lowest object. Each object which was entered into the comparison, was determined as a focus object. The highest focus object were selected and other circles were eliminated in the intersected circles that focus object was in. Finally 190 buildings were selected for base station location by the calculation of “Site Selection Tool” application.

In mobile communication, coverage signal level indicators are very important to show coverage map. In this study, signal levels were ordered respectively from the best signal level to the worst signal level as dark blue, blue, dark green, green, open green, yellow, orange and finally red colors. If generally blue, green and yellow color

tones are existed on the coverage map, mostly uninterrupted communication and data transfer can be provided. However if red tones are existed on the coverage map, communication and data transfer can be interrupted by the signal quality.

According the expectation of subscribers and also global competition, Long Term Evolution (LTE) technology is expected to come to Turkey. Thence, in this study, Long Term Evolution (LTE) technology was chosen on selected 190 site. In Atoll program, Stanford University Interim (SUI), Standard Propagation Model (SPM), COST-Hata and Okumura-Hata models were calculated in 900MHz, 1800Mhz and 2100MHz frequency bands. As a result almost in the whole Beykoz, radio frequency (RF) coverage was provided by good signal levels with LTE technology.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Saha seçimi güneş panelleri, rüzgar türbinleri, katı atık tesisleri ve haberleşme gibi birçok alanda belli teknik verilerden yararlanılarak yapılmaktadır [1-5]. Saha seçimi, daha önce herhangi bir saha kurulmamış bölgelerde yapılabileceği gibi, saha kurulmuş fakat çeşitli sebeplerden dolayı lokasyonlarının yerinin değişmesi gereken bölgelerde de yapılabilir. Saha seçimini düşük keşif maliyeti ve zaman kaybıyla sonlandırmak oldukça önemlidir.

Haberleşme sektöründe yapılan saha seçimi, ilgili bölgenin planlama departmanındaki mühendislerinin sahaya çıkıp yaptığı keşifler ile başlar; keşiflerin sonucunda belirtilen lokasyonları kiralama departmanı çalışanlarının mülk yada arazi sahiplerinden kiralamasıyla sona erer. Saha seçimi ilgili bölgenin deniz seviyesinden olan yükseklik değişimlerine, bina yüksekliklerindeki farklılıklara, gündüz nüfusuna, gece nüfusuna, otoyollarına, yapı yoğunluklarına bağlı kalarak yapılmalıdır. Bu parametrelere bağlı kalınarak belirlenecek olan lokasyonlarda hangi tip baz istasyonu kurulacağı belirlenir. Şehir içinde ve şehir dışında bina dışına kurulabilecek baz istasyonları için kuleler, bina çatıları, bina duvarları mobil yada konumunu değiştirmeyen aboneler için seçilebilirken, panelvan tipi araçlar ise konser alanları gibi geçici kullanıcı yoğunluğunun olduğu yerlerde baz istasyonu lokasyonu olarak tercih edilebilir. Yapılan saha seçiminin başarılı olup olmadığı zaman içerisinde belirlenen alanda servis verecek olan baz istasyonlarına ait Radyo Frekansı (RF) istatistiklerinin incelenmesiyle ve sahada çalışan test ekibinin aldığı testlere ait analizler ile kolayca anlaşılabilir. Eğer belirtilen parametrelere bağlı kalınarak saha seçimi yapılırsa RF istatistiklerin istenilen değerlerde olması ve sahanın ilgili alandaki abonelere beklenen kalitede servis vermesi beklenir. Bahsedilen parametrelere bağlı kalınmadan saha seçimi yapılacak olursa RF istatistiklerinde problem olması, kapsamanın yeteri kadar sağlanamaması, ve ilgili alandaki abonelerin aldığı servisteki kaliteden ötürü memnun kalmaması beklenir.

Yüksek lisans tez çalışmasının amacı en uygun baz istasyonu lokasyonlarının belirlenmesi için kod yazılarak saha seçme aracı uygulaması geliştirilmesidir ve uygun sahaların seçildiğini göstermek için bölgedeki RF sinyal kapsamının sağlanmasıdır. Kapsamanın istenilen RF sinyal değerlerinde sağlanması durumunda “Saha Seçme Aracı” uygulaması tarafından otomatik olarak belli bir algoritmaya göre seçilen sahaların doğru lokasyonlarda olduğu kararına varılabilir. Bunun sonucunda hem mühendislerin RF optimizasyonuna daha fazla zaman ayırarak şebekenin kalitesinin artırılması beklenir hem de saha seçimine farklı bir boyut kazandırılarak bilgisayar ortamında çalışılmasıyla başarılı sonuçlar elde edilir.

Tez çalışmasında çalışma alanı olarak İstanbul’un Beykoz ilçesi ve saha seçimi için kurulacak baz istasyonu teknolojisi olarak da Dördüncü Nesil (4G) teknolojisine ait Long Term Evolution (LTE) belirlenmiştir. Beykoz’un coğrafi konumunun saha seçimi açısından zorluğu ve LTE teknolojisinin mobil haberleşmede Türkiye’de kullanılması beklenen mevcut şartlardaki ileri teknoloji olması tez çalışmasında oldukça motive edici olmuştur.

1.2 Literatür Araştırması

Lu, Zhu ve Ai (2010) tarafından yapılan çalışmada tren yolu güzergahındaki en uygun baz istasyonu lokasyonu seçiminde ve RF sinyalin kapsama alanının hesaplanmasında Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılmıştır. Kullanılan verilerin CBS’de analizi sonucunda yeterli kapsama alanının sağlanmasıyla baz istasyonlarının en uygun lokasyonlara kurulduğu doğrulanmıştır.

Hurley, (2000) tarafından yapılan çalışmada hazırlanan algoritmaya göre belirlenen kriterlerin dışında kalan sahalar veritabanından silinerek kalan sahalar üzerinden kapsama ve kapasite hesapları yapılmıştır.

Liansun, Liang ve Chunling (2008) tarafından yapılan çalışmada Şanghai şehrindeki yüksek tepelerin koordinatlarından yararlanılarak harita bölümlene yöntemine dayanan bir algoritma geliştirilmiştir ve bu algoritma sonucunda tepelere kurulacak baz istasyonları ile kapsama sağlanmıştır. Bu çalışmada her baz istasyonunun aynı menzilde kapsama alanına sahip olduğu varsayılmıştır.

Kalvenes, Kennington ve Olinick (2006) tarafından yapılan çalışmada hazırlanan algoritma ile bilgisayar ortamında, geniş band kod bölmeli çoklu erişim teknolojisine

sahip baz istasyonu lokasyonları için kullanıcı yoğunluğuna bağlı kalarak kule seçimi yapılmıştır.

Talukder, Islam, Mahjabeen, Ahmed, Rafique, ve Rashid (2013) tarafından yapılan çalışmada COST 231–Hata modeli ile 2300MHz ve 2500MHz frekans bandlarında LTE'nin Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) teknolojisine kıyasla kapsama alanının daha buyk olduğu yapılan hesaplamalar sonucunda doğrulanmıştır.

Shabbir (2011) tarafından yapılan çalışmada ilgili bölgedeki bina yüksekliğinin 15m ve anten ykseliğinin 3m olacak şekilde sabitlenerek 1900MHz ve 2100MHz frekans bandlarında elde edilen modellemeler sonucunda, havada yayılan RF dalganın kırsalda ve şehir içinde en az yol kaybı yaşadığı model olarak Stanford University Interim (SUI) modeli belirlenmiştir.

Sharma ve Singh (2010) tarafından yapılan çalışmada şehir içinde 900MHz ve 1800MHz frekans bandlarında yapılan hesaplamalar sonucunda sırasıyla en az yol kaybı hesaplayan modeller sırasıyla SUI, COST–231, Hata ve Okumura modelleri olarak belirlenmiştir.

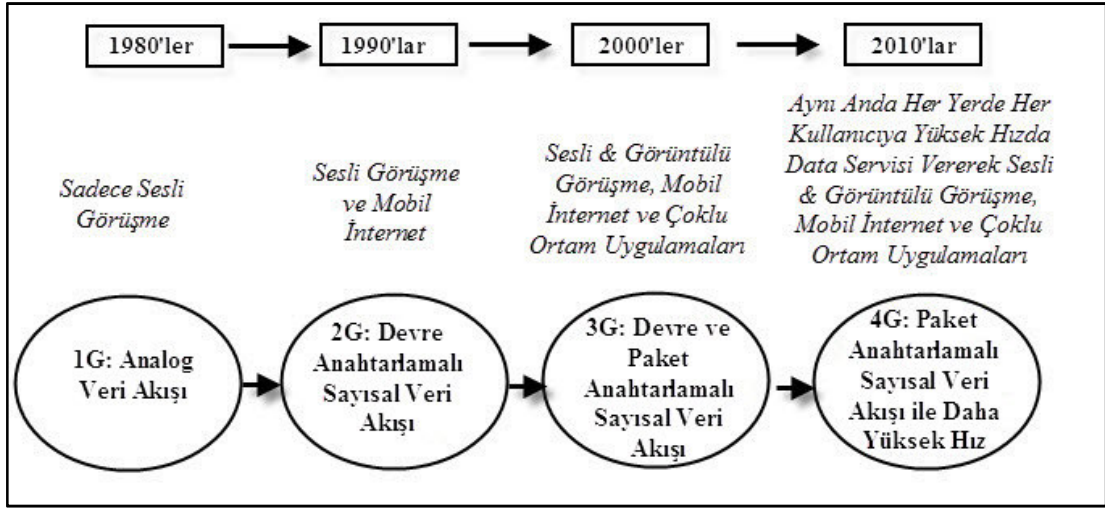
Rani, Behera ve Suresh (2012) tarafından yapılan çalışmada 2100MHz frekans bandında alıştırılan Standard Propagation Model (SPM) modeli çeşitli çevresel faktörler ile şehir içinde COST-231 Hata modeli ile kıyaslandığında RF dalganın yol kaybı değerinin daha az olduğu belirlenmiştir.

Kale ve Jadhav (2013) tarafından yapılan çalışmada 2400MHz, 2600MHz ve 3500MHz frekans banlarındaki kanallarda yapılan modellemelere göre SUI ve ECC modellerinin COST 231–Hata modeli ve COST Walfish–Ikegami methodu ile kıyaslandığında RF dalgaya ait yol kaybının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

2. MOBİL HABERLEŞME

2.1 Kablosuz Hücresel Haberleşmede Evrim Süreci

Mobil haberleşmeden yararlanan kullanıcılar yalnız olarak teknolojiyi değil, teknolojinin sunduğu hizmetlerin ve uygulamaların ihtiyaçları karşılayıp karşılamadıklarını önemserler. Sunulan bu servislerin ucuz; kullanımı ve erişimi kolay olması, kullanıcıları hizmetleri satın almaya teşvik etmektedir. Özellikle sosyal paylaşım ağları kullanıcıları oldukça cezbetmektedir. Akıllı telefonların hayatımıza girmesiyle birlikte sunulan hizmet kalitesi teknoloji ilerledikçe pozitif ivme kazanmaktadır ve her yeni çıkan teknoloji bir önceki teknolojinin ömrünü her zaman azaltmaktadır. Bunun mobil iletişim üzerindeki etkisi ise hissedilir derecede görülmektedir. Kablosuz hücresel haberleşmede evrim süreci Şekil 2.1'deki gibidir [6].



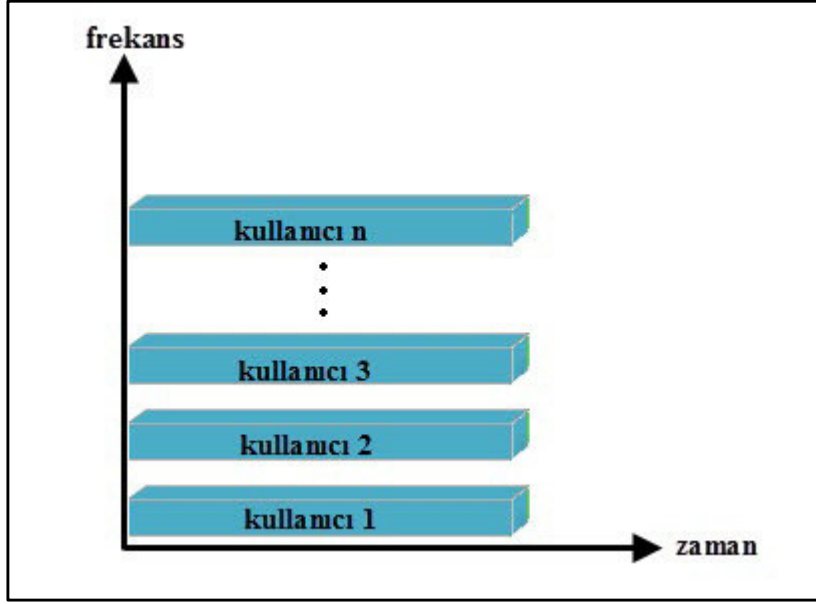
Şekil 2.1 : Kablosuz hücresel haberleşmede evrim süreci [6].

2.2 Kablosuz Hücresel Haberleşme Teknolojileri

2.2.1 Birinci Nesil (1G) teknolojisi

1980'lerde ortaya çıkan ve hücreler arası geçiş desteği sunan ilk nesil kablosuz telefon teknolojisidir. Geniş alanlara servis verebilmektedir fakat sesli görüşme için

kullanıcılara atanan kanal sayısı sınırlı olduğu için satın alınan hizmetin bedeli oldukça yüksektir. Sadece sesli görüşme imkanı tanımaktadır. Ülkeler arasındaki 1G sistemlerinin uyumsuz olması ve kullanıcıların sesli görüşme dışındaki hizmetlere olan taleplerine karşılık verememesi nedeniyle yeni bir teknoloji arayışına gidilmiştir. Modülasyon tekniği olarak Frequency Division Multiple Access (FDMA) tekniği kullanılır (Şekil 2.2).



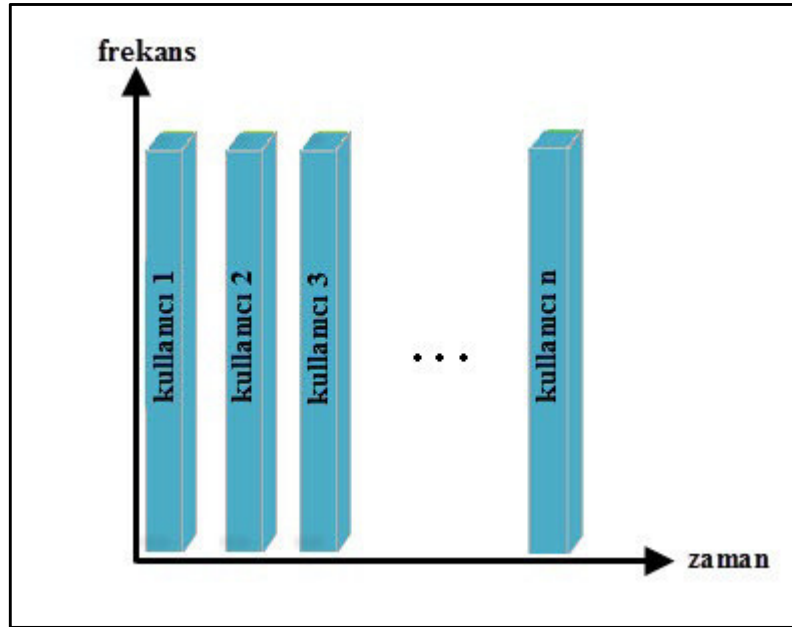
Şekil 2.2 : FDMA tekniği.

FDMA tekniği sayesinde her kullanıcı sesli görüşme için bölünmüş frekans kanallarından birine atanır. Komşu kanallar arasında yüksek enterferanslar görüldüğü için görüşmeler çok sağlıklı olmamaktadır [7]. En büyük dezavantajlarından bir diğeri ise sesli görüşmelerin 3. şahıslar tarafından kolaylıkla dinlenilebilir olmasıdır. Bu nedenle sesli görüşme güvenliği çok zayıftır [8].

2.2.2 İkinci Nesil (2G) teknolojisi

1990'larda kapsama ve kapasite ihtiyacından dolayı geliştirilen bu teknoloji bir önceki nesilde olduğu gibi hücresel ağ sistemi kullanır. Önceki nesile göre en büyük yenilik analog veri akışı yerine sayısal veri akışı kullanılmaya başlanılmış olmasıdır. Bu yenilik sesli görüşmelerin kalitesini arttırdığı gibi sunulan kapasite miktarını da arttırmaktadır. Ayrıca Short Message Service (SMS) yeniliği ile mobil telefonlar arasında metin mesajlarının transferi yapılarak data hizmeti verilmeye başlanmıştır. Bunu resimli mesajlar ve çoklu ortam mesajları takip etmiştir. Mobil telefon aracılığıyla hücresel ağa erişim gerçekleştirildiğinde, aboneye o hücreye ait olan bir

kanal atanır ve ağdan çıkana kadar yada düşene kadar o kanal üzerinden ses ve veri akışı sağlanır [6,9]. Abone her ses ve veri akışında bir önceki nesilde olduğu gibi sadece tek hücreden servis alabilir ve hücresel ağ içerisinde hareket ederek farklı hücrelere geçiş yapabilir. Kullanılan modülasyon tekniği bir önceki nesilden farklı olarak Time Division Multiple Access (TDMA) tekniğidir (Şekil 2.3) [7]. Bu teknik sayesinde belli sayıdaki kullanıcının tek frekans kanalı üzerinden farklı zaman dilimlerinde sisteme erişimi sağlanmıştır. En büyük avantajlarından bir diğeri ise tüm verilerin sayısal olarak şifrelenmesidir. İnternetin yaygınlaşmasıyla ortaya çıkan hızlı mobil data transferi ihtiyacı, 2G'nin daha sonradan geliştirilen data hizmetleri olan General Packet Radio Service (GPRS) teknolojisi olarak bilinen 2.5G ve Enhanced Data for Global Evolution (EDGE) teknolojisi olarak bilinen 2.75G ile giderilmiştir. Bu gelişmeler 3G'ye geçiş için altyapı oluşturulmasını sağlamıştır [10].

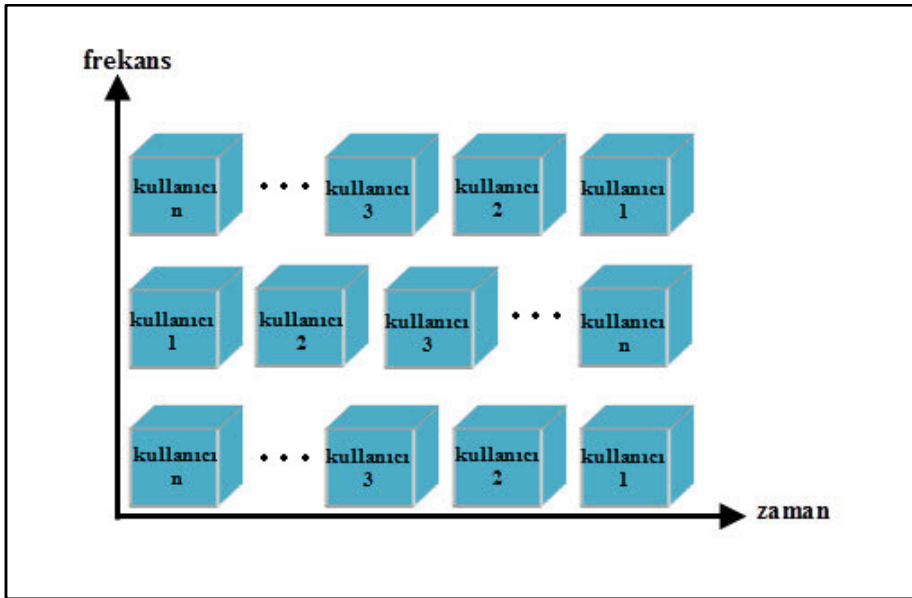


Şekil 2.3 : TDMA tekniği.

2.2.3 Üçüncü Nesil (3G) teknolojisi

2000'li yıllarda ortaya çıkmıştır. Kablonun erişemediği yerlerde özellikle kırsallarda data servisi verilmesi, kablonun eriştiği fakat altyapı maliyetinin yüksek olduğu şehir merkezlerinde ise data hızının artırılması, mobil olarak daha hızlı data transferi yapma ve sesli görüşmelerdeki kullanıcı kapasitesini artırma ihtiyaçları sebebiyle 3G teknolojisine ihtiyaç duyulmuştur [11]. 2G tarafından geliştirilen data hizmetleri veren 2.5G ve 2.75G teknolojileri 3G ile kıyaslandığında, 3G teknolojisinde eşzamanlı konuşma ve veri hizmetleriyle daha yüksek hızda veri transferi

desteklenmektedir. Bu hizmeti verebilmesinin sebebi 2G teknolojisindeki devre anahtarlama veri aktarımının kullanılmaya devam edilmesinin yanısıra paket anahtarlama veri aktarımına da geçilmiş olmasıdır [5,6]. Ayrıca modülasyon tekniği olarak önceki nesillerden farklı olan Code Division Multiple Access (CDMA) tekniği kullanılmaktadır. Bu teknik her kullanıcıya veri aktarımı süresince frekans spektrumunun tümünü kullanmasını sunar (Şekil 2.4). Bu sayede yüksek hızda veri transferi yapılabilmektedir. CDMA modülasyon tekniğinin performansı Multiple Access Interference (MAI) ve Intersymbol Interference (ISI) ile sınırlıdır. Bu enterferans problemlerinin Dördüncü Nesil (4G) teknolojisi ile aşılması beklenmektedir [12].



Şekil 2.4 : CDMA tekniği.

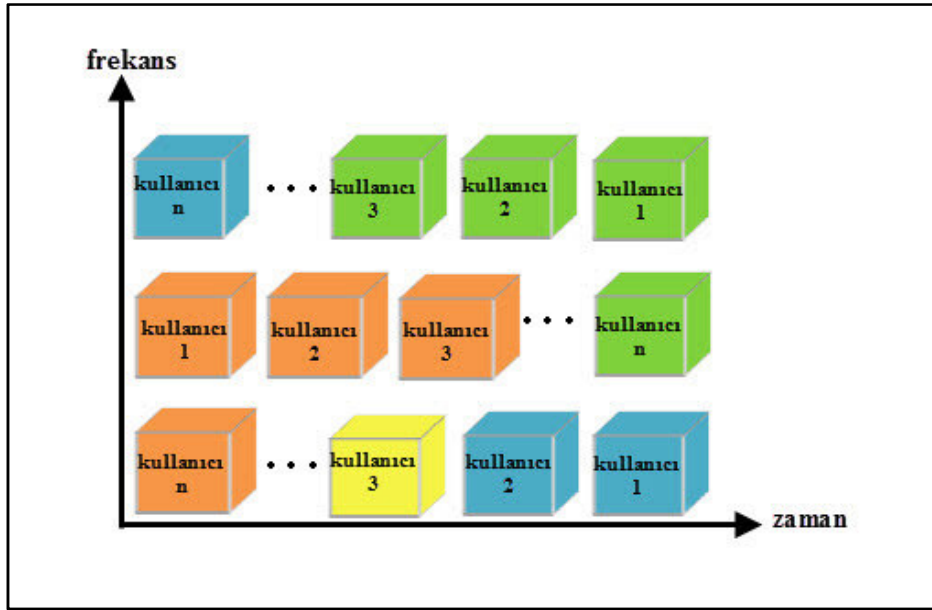
3G teknolojisi 2G'ye kıyasla gelişmiş sayısal şifreleme ile daha güvenli veri aktarımı sağlamaktadır. Önceki nesillerde abone sadece tek hücreden servis almaktaydı, fakat 3G teknolojisinde abonenin şebekeye erişimi sağlandığı anda abone birden fazla hücreden servis alabilmektedir. 2G teknolojisinde hattın kullanılmadığı zamanlarda dahi diğer kullanıcıların erişimini engelleyerek hattı meşgul eden bir teknoloji vardır. 3G ile bu problemin önüne geçilmiştir fakat daha yüksek frekanslı band kullanılmasından dolayı sinyalin havada yayılımı daha zor olduğu için bu sefer de kapsama sorunu ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak 3G teknolojisi sesli görüşme, görüntülü görüşme ve data servisi imkanı ile oldukça gelişmiş bir teknolojidir. Bu nedenle mevcut 2G şebekesinin 3G teknolojisine yükseltilebilmesi ihtiyacı doğabilir.

Bu durum, mevcut 2G sisteminin üzerine Node B, Radio Network Controller (RNC) eklenmesiyle ve çekirdek şebekedeki Mobile Switching Center (MSC), Gateway GPRS Support Node (GGSN), Serving GPRS Support Node (SGSN) altyapılarının yükseltilmesiyle sağlanabilir [8]. Daha yüksek hızda data servisi sunabilmek için 3G teknolojisi olan Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) geliştirilerek High Speed Packet Access (HSPA) olarak bilinen 3.5G teknolojisi ortaya çıkarılmıştır [13].

2.2.4 Dördüncü Nesil (4G) teknolojisi

2010'lu yıllarda ortaya çıkan Dördüncü Nesil kablosuz telefon teknolojisi önceki nesillerde olduğu gibi hücresel ağ sistemi kullanır. 4G teknolojisine ait olan WiMAX standardı ticari olarak 2006'da Güney Kore'de; LTE standardı ise Norveç ve İsveç'te 2009'da hayata geçirilmiştir. Üçüncü Nesil'de ortaya çıkan kapsama alanı sorununu çözmesi hedeflenmektedir. Bu sorunun çözülebilmesi için 2G teknolojisinin kullandığı frekans bandı üzerinden servis vermesi yada baz istasyonu sayısı artırılarak yüksek frekans bandından servis vermesi mümkün olabilir [11]. Bu teknoloji ile Internet Protocol (IP) altyapısına uygun üretilen telefonlardan, yüksek çözünürlüklü mobil televizyonlardan, video konferanslardan ve bulut bilişim hizmetlerinden zamandan ve ortamdan bağımsız olarak herhangi bir anda 3G teknolojisinden daha yüksek hızda veri transferi sağlanarak yararlanılabilir. Ağa erişimdeki gecikmelerin önüne geçilmiştir ve sistemin güç tüketimi azaltılarak maliyetler düşürülmüştür. Yüksek RF güç yükselticisi verimliliği ile mobil cihazlardaki batarya ömrü artırılmıştır. Modülasyon tekniği olarak Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) tekniği kullanılmaktadır (Şekil 2.5). Bu teknik ile veri akışı düşük hızlı alt taşıyıcılara bölünerek paralel kanallarda ilerler [14,15]. OFDMA modülasyon tekniğinin en büyük avantajı Bit Error Rate (BER) değerinde iyileşme sağlayarak yayın spektrumunda (trafik kanalında) kullanımı zor bölümlerin farklı kullanıcılar tarafından kullanılmasını sağlamasıdır [12]. LTE'nin 3G ile rakabette önde olması için 3G teknolojisi olan HSPA'den daha verimli olabileceği 5MHz veya 10MHz band genişliklerinden başlanarak LTE için frekans tahsisi yapılabilir [11]. LTE'nin yüksek frekanslarda kapsayabileceği alan WiMAX'e kıyasla daha büyüktür [16]. LTE'nin WiMAX'e karşı bir başka üstünlüğü de data hızı olarak neredeyse 2 kat daha fazla veri spektral verimliliği sunmasıdır [15].

Aşağıdaki çizelgede farklı teknolojilere ait maksimum data hızları mevcuttur (Çizelge 2.1) [17].



Şekil 2.5 : OFDMA tekniği.

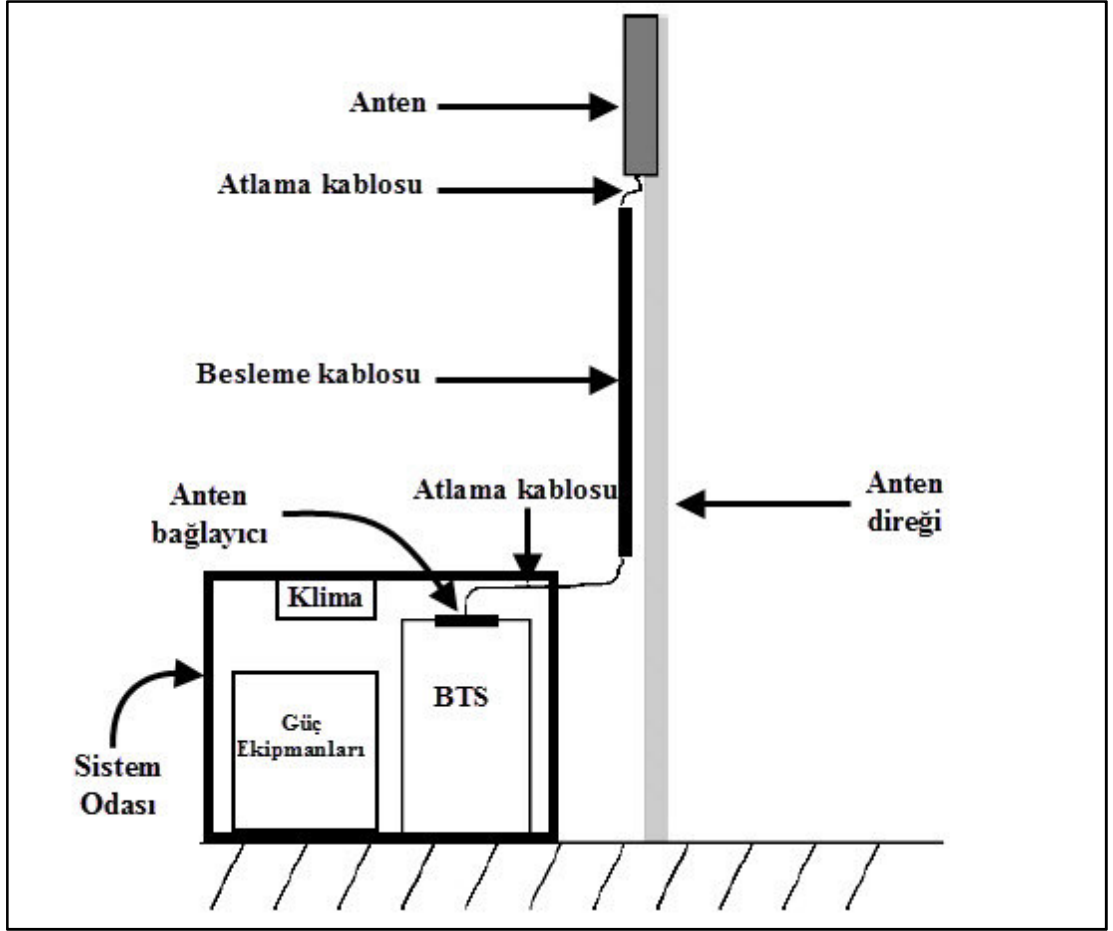
Çizelge 2.1 : Kablosuz haberleşme teknolojileri arasındaki maksimum data hızı ve kanal band genişliği farklılıkları [17].

TEKNOLOJİ	TEORİK MAKSİMUM DATA HIZI	KANAL BAND GENİŞLİĞİ
GSM	14.4 kbps	200 kHz
GPRS	171 kbps	200 kHz
EDGE	474 kbps	200 kHz
Cdma2000	307 kbps	1.25 MHz
1xEV-DO Rev. A	3.1 Mbps	1.25 MHz
UMTS	2 Mbps	5 MHz
HSDPA	14 Mbps	5 MHz
HSPA + (2 x 2 MIMO)	42 Mbps	5 MHz
802.16e WiMAX	74.8 Mbps	20MHz
802.16e 2 x 2	160 Mbps	20MHz
802.16e 4 x 4	300 Mbps	20MHz
LTE	100 Mbps	20MHz
LTE 2 x 2 MIMO	172.8 Mbps	20MHz
LTE 4 x 4 MIMO	326.4 Mbps	20MHz

2.3 Baz İstasyonu Yapısı ve Kavramları

Baz istasyonu yapısı antenler, atlama kabloları, besleme kabloları, anten direkleri ve bu ekipmanların birbirleri ile bağlantısı sonucunda anten bağlayıcıları ile

bağlandıkları içerisinde elektronik kartların olduğu Base Transceiver Station (BTS yada Node B) tarafından oluşur (Şekil 2.6) [7].



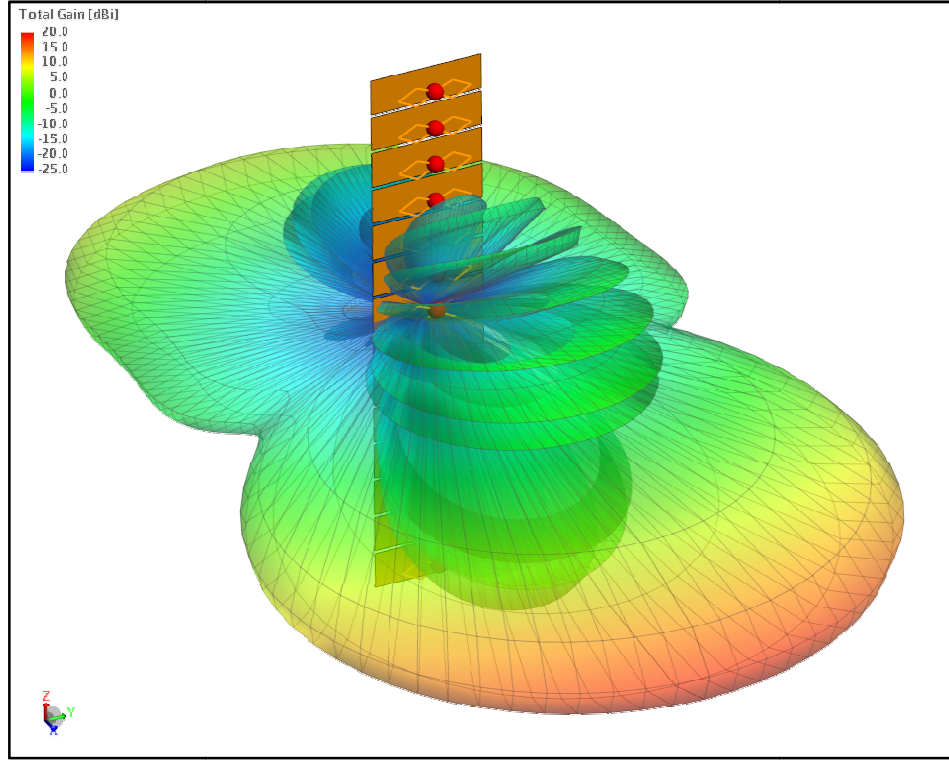
Şekil 2.6 : Baz istasyonu genel yapısı ve sistem odası [7].

- Anten: Baz istasyonu antenleri alıcı ve verici görevindedirler. Alıcı antenlere gelen elektromanyetik dalga anten çıkışında elektrik sinyallerine dönüştürülür, verici antenlere giden elektrik sinyalleri ise anten çıkışında elektromanyetik dalgalara dönüştürülür. Antenler amaçlarına göre çeşitli yön, ebat ve kazanç değerlerinde olabilirler. “Anten kazancı” anten seçimindeki en önemli parametrelerden biridir. Anten kazancını doğrudan etkileyen faktörler anten boyu, odak uzaklığı, anten verimliliği ve antenin yapıldığı malzemedir. Anten seçimindeki en önemli hususlardan bir diğeri de antenlerin kullanılacak amaca hizmet verebilecek yayılım karakteristiğine uygunluğudur. Antenin yayılım karakteristiği dikey ve yatay düzlemlerde yaptığı ışınım diyagramı ile belirtilir [18]. Yönsüz antenler dikey ve yatay düzlemlerde her yönde eşit ışınım yaparken yönlü antenler ise her yönde eşit

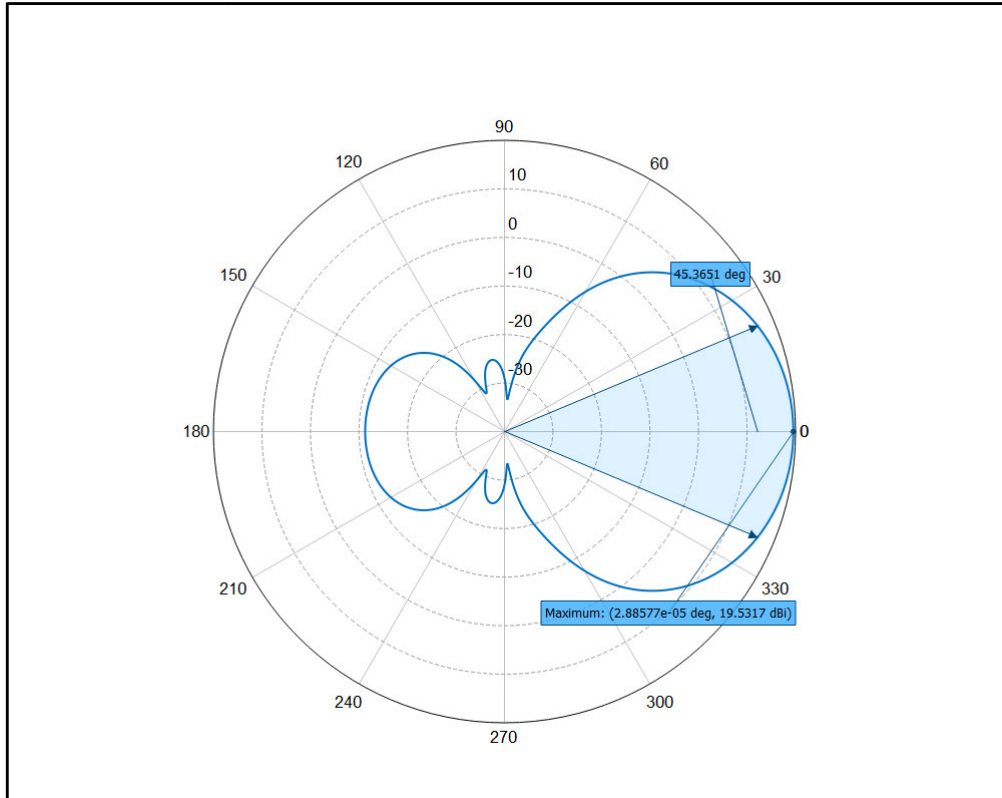
ışınım yapmayarak sadece çevirildikleri yönde ışınım yaparlar. Baz istasyonlarında genellikle yönlü anten kullanılır. Yapıların yoğun olduğu yerlerde, karayollarında, sahil kesiminde, tünellerde ve kırsalda servis verecek olan baz istasyonu antenleri, yatay ve dikeyde yaptığı ışınım modelleri baz alınarak seçilir. Örneğin karayollarında ve tünellerde yatay düzlemde dar açılı, dikey düzlemde geniş açılı ışınım yapan antenler seçilirken; şehir merkezinde ise yatay düzlemde geniş açılı, dikey düzlemde dar açılı ışınım yapan antenler seçilmektedir. Antenin baktığı yönde ana ışınım alanına ana lob, yanlardaki ışınım alanlarına yan loblar, antenin arkasında oluşturduğu ışınım alanına ise arka lob denir. Antenlerin ışınım diyagramlarında yatay düzlemde ve dikey düzlemde ana lobun gücünün yarıya düştüğü derece gücün büyük kısmının harcandığı yeri belirlemek açısından çok önemlidir. Kırsalda, şehir merkezinde yada yollarda kullanım amacına göre ana lobun gücünün yarıya düştüğü dereceler anten seçimini oldukça etkiler. 1800MHz frekans bandında LTE baz istasyonu anteni için şehir merkezinde kullanılacak Finite Arrays Method (FAM) ile Antenna Magus programında tasarlanan antene ait 3 boyutlu ışınım diyagramı Şekil 2.7'deki gibidir [19].

1800MHz frekans bandında LTE baz istasyonu anteni için şehir merkezinde kullanılacak Finite Arrays Method (FAM) ile Antenna Magus programında tasarlanan antene ait yatay düzlemdeki ışınım diyagramı Şekil 2.8'deki ve dikey düzlemdeki ışınım diyagramı Şekil 2.9'deki gibidir [19].

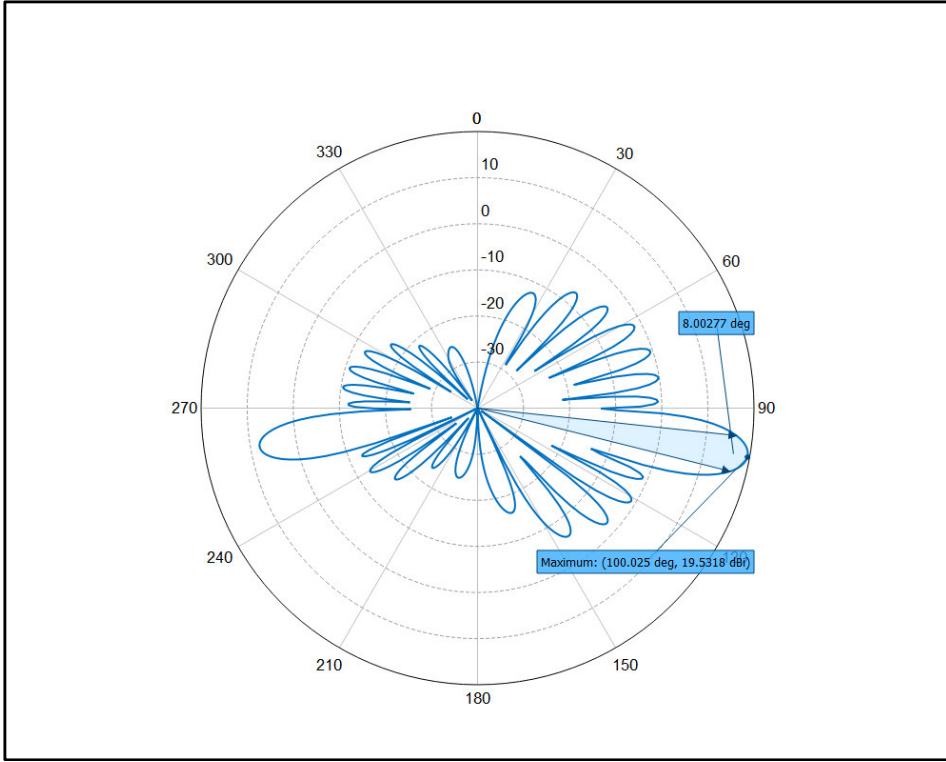
Antenlerin servis vermesi gereken mesafeler, bölgedeki planlama mühendisleri tarafından belirlenir. Belirlenen mesafelere kadar servis verilebilmesi için antenleri belli açılarda aşağı veya yukarı yönlerde eğmek gerekebilir. Eğme işlemi mekanik ve elektriksel yol ile yapılabilir [20]. Mekanik eğimde, Şekil 2.10'daki ışınım diyagramında görüldüğü üzere kapsama alanı yassılaşıyor ve dengersiz bir şekilde azalır. Fakat Şekil 2.11'de görüldüğü üzere elektriksel eğim ile kapsama alanı her yönde eşit miktarda dairesel olarak azalır.



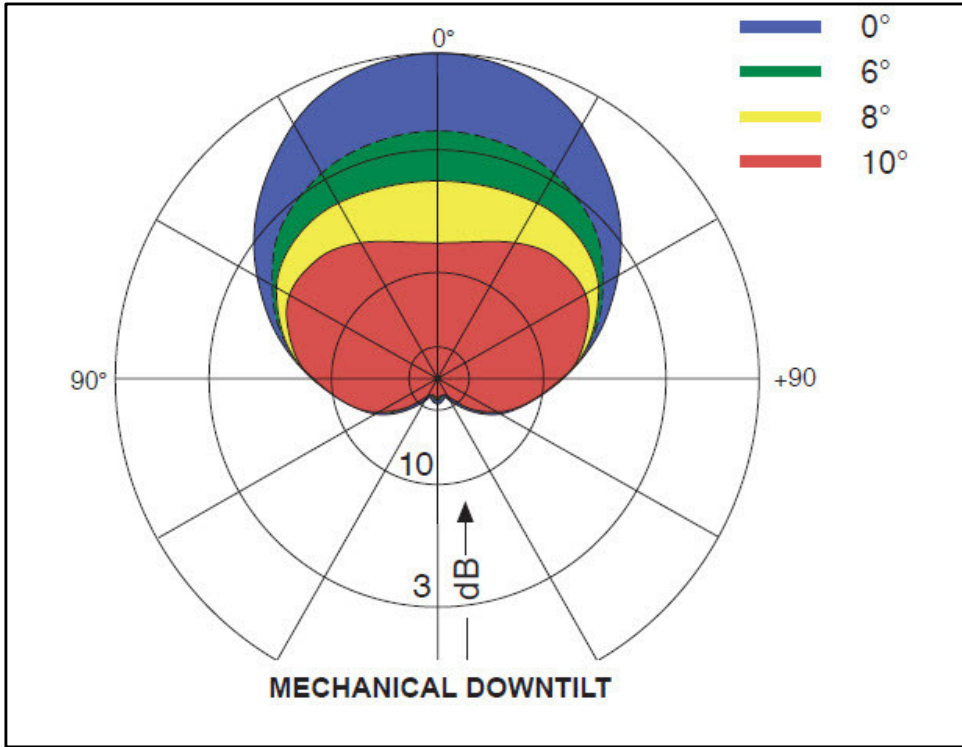
Şekil 2.7 : Kazanç değerini gösteren 3 boyutlu ışınım diyagramı [19].



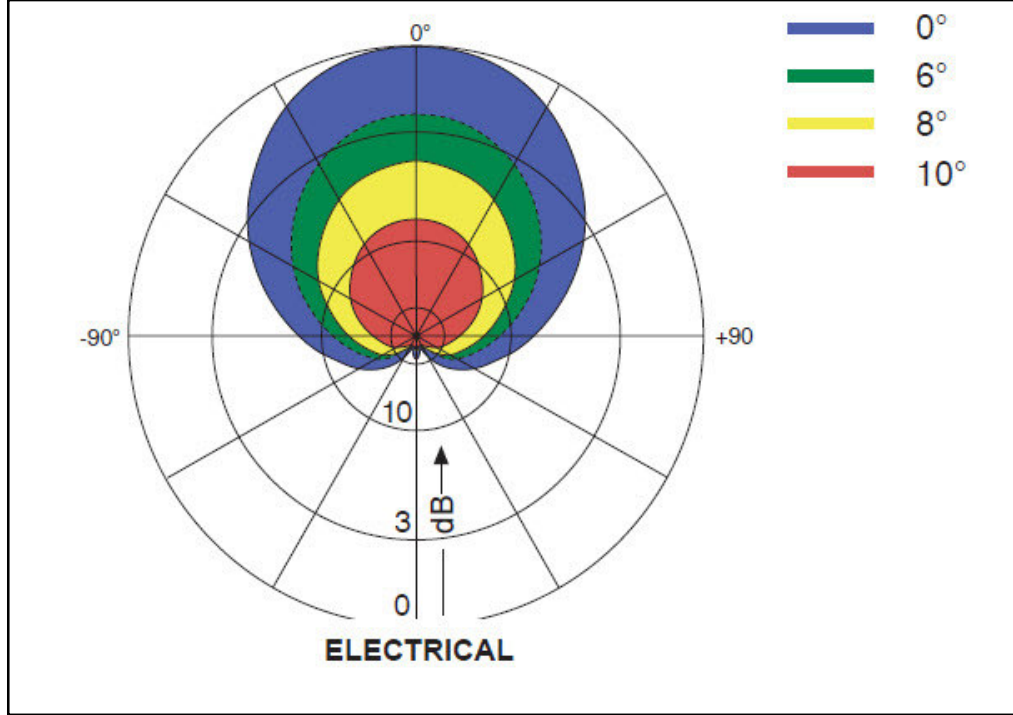
Şekil 2.8 : Yatay düzlemde 45.3651 derecede ana lobun gücünün yarıya düştüğü ışınım diyagramı [19].



Şekil 2.9 : Dikey düzlemde 8.00277 derecede ana lobun gücünün yarıya düştüğü ışınım diyagramı [19].



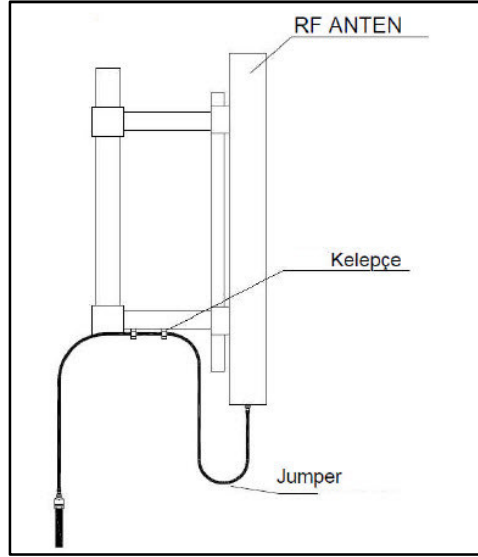
Şekil 2.10 : Aşağı yönde mekanik eğim ile ışınım diyagramındaki değişim [20].



Şekil 2.11 : Aşağı yönde elektriksel eğim ile ışınım diyagramındaki değişim [20].

Baz istasyonu antenleri duvara, çatı üzerine, kuleye yada konteynır üzerine monte edilebilir. Bina dışına montajı yapılan antene “açık alan anten” yada “bina dışı anten” denir. Bina içerisine montajı yapılan daha küçük kapsama alanlarına sahip antene ise “bina içi anten” denir. Bazı antenler ihtiyaca göre hem bina dışı hem de bina içi anten olarak kullanılabilir [21].

- Atlama kablosu: “Jumper cable” olarak bilinmektedir. Baz istasyonu teknolojisine göre kullanıldığı yerler değişmektedir. Bağlanılacak malzemeler arasında geçişi sağlar. Malzemenin iletkenliğine ve kablonun uzunluğuna göre güçten kayıba yol açar. Atlama kablolarına yön verirken keskin dönüşler yapılmamasına dikkat edilir. Bu nedenle “S bağlantısı” dediğimiz yuvarlak dönüşler yaptırılarak yön verilmesi tavsiye edilir (Şekil 2.12). Aksi durumda yansıma denilen RF problemine yol açar. Bu problemi baz istasyonundan gelecek olan alarmlardan yada baz istasyonunun istatistiklerindeki enterferans artışından anlaşılabilir. Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) yansımadan kaynaklanan duran dalgadaki en yüksek ve en alçak gerilimin oranlanmasıyla hesaplanır. VSWR arttıkça antene gidecek veya antenden gelecek olan güçte kayıplar yaşanır.



Şekil 2.12 : Atlama kablosu ve “S bağlantısı” [21].

- Besleme kablosu: “Feeder cable” olarak bilinmektedir. RF sinyalinin BTS ile anten arasında iletilmesini sağlar. Atlama kablolarında olduğu gibi malzemenin yapısı ve uzunluğu iletimde yaşanabilecek güç kaybını etkiler. Yön verilirken yine atlama kablosunda olduğu gibi “S bağlantısı” yapılarak yuvarlak dönüşler yaptırılır aksi durumlarda yansıma denilen RF problemiyle karşılaşılır. Besleme kablolarında yaşanan kayıp atlama kablolarında yaşanan kayıptan daha düşüktür. Bu nedenle anteni kuleye monte edilen bazı istasyonlarında olduğu gibi anten ile BTS arasında çok mesafe olduğunda kaybın az olması için besleme kablosu kullanılabilir (Şekil 2.13). Mesafenin kısa olduğu uzaklıklarda ise atlama kablosu kullanılabilir.



Şekil 2.13 : Kule antenine bağlanan besleme kablosu [21].

- Anten bağlayıcı (konnektör): Besleme kablosunun BTS ile arasındaki bağlantıyı sağlayan konnektördür. Malzemenin kalitesine göre iletimden kayıplar yaşanır.
- Anten direği: Eğer antenler istenilen yükseklikte değilse anten direği ile istenilen yüksekliğe ayarlanır. Fakat anten ile BTS arasında ne kadar mesafe olursa aradaki besleme kabloları da atlama kabloları da o kadar uzun olur, bu da iletimde toplam güç üzerinde kayıba yol açar.
- Güç ekipmanları: Alternatif akım dağıtım panosu montajı yapıldıktan sonra kablolama ile baz istasyonuna güç dağıtımını sağlanır. Ana dağıtım panosunda baralar, şalterler, akım trafoları, mesnet izalotörleri ve pano iç ihtiyaç priz lambaları bulunur.
- Klima: Sistem odasının içindeki tüm ekipmanlar belli bir ısı üretirler ve bu ısı arttıkça ekipmanların üzerindeki devreler zarar görmeye başlar. İçerideki ısı artışını engellemek için klima kullanılır.
- Sistem Odası: Sinyalin modülasyonunu ve demodülasyonunu sağlayan elektronik kartların ve BTS'i oluşturan diğer tüm ekipmanların içinde bulunduğu ve çalıştırıldığı konteynirdir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14a : Sistem odası dış görünümü [14].



Şekil 2.14b : Sistem odası iç görünümü [14].

2.4 Hücresel Haberleşmede Hücre Yapıları

Mobil kullanıcıların iletişimini sağlayabilmesi için ihtiyaç duyulan kapsama alanına hücre denir. Haberleşmenin yapılacağı bölge, hücre adı verilen alanlara bölünür [22]. Şehirlerdeki insan yoğunluğunun şehirlerin her alanına eşit oranda dağılması beklenemez. Bu yüzden baz istasyonları ile mobil telefonlar arasında sinyalleşme sağlanabilmesi için farklı yüksekliklerden, farklı mesafelere ve farklı kapasitelere servis vermesi istenen baz istasyonları kurulması gerekir. Bu farklılıklardan doğan hücreler, kapsadıkları alana göre büyükten küçüğe doğru sırasıyla: Makro, mikro ve piko hücrelerdir [23].

- Makro hücre: Genel itibari ile kırsalda olduğu gibi sinyalin uzak mesafelere kadar gidebilmesi istenen nüfusun çok yoğun olmadığı alanlarda tercih edilir. Bu nedenle kapsama alanı oldukça geniştir. Makro hücre baz istasyonları 40-60Watt aralığındaki çıkış gücü ile 25-35km aralığındaki bir yarıçapa sahip alanı kapsayabilir [22]. Makro hücre için en uygun baz istasyonu lokasyonu, kapsanacak bölgeye tümüyle hakim olabilecek yüksek noktalardır. Baz

istasyonları kulelere, yüksek binaların çatılarına yada benzer yüksek lokasyonlara kurulabilir (Şekil 2.15, Şekil 2.16).

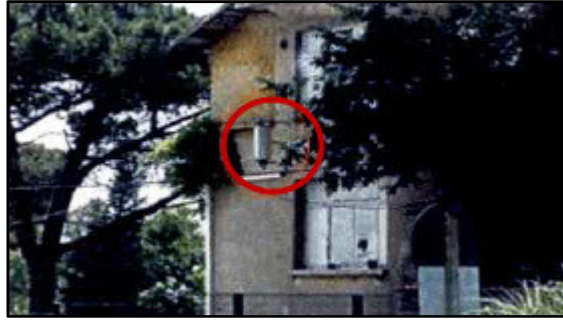


Şekil 2.15 : Makro hücre için kuleye monte edilmiş anten.



Şekil 2.16 : Makro hücre için çatıya monte edilmiş anten.

- Mikro hücre: Şehir içinde nüfusun yoğun olduğu alanlarda tercih edilir. Bu tip hücreler için kurulan baz istasyonlarının çıkış gücü azaltılarak komşu hücreler ile enterferans oluşturması engellenmeye çalışılır. Makro hücre baz istasyonu antenlerine göre mikro hücre baz istasyonu antenlerinin boyu daha kısadır. Mikro hücre baz istasyonu antenleri tercihen makro hücre baz istasyonu antenlerine göre daha alçak lokasyonlara monte edilir. 5-10Watt çıkış gücü ile 100-300m aralığındaki bir yarıçapa sahip alanı kapsayabilir (Şekil 2.17) [21, 22].



Şekil 2.17 : Mikro hücre için binanın yan duvarına monte edilmiş anten [21].

- Piko hücreler: Genel olarak bina içi haberleşmede kullanılır. Otellerde, hastanelerde, konser salonlarında, metro istasyonlarında ve alışveriş merkezleri gibi yerlerde kullanılır. 1-3 Watt çıkış gücü ile 10-50 metre aralığındaki bir yarıçapa sahip alanı kapsayabilir (Şekil 2.18) [21, 22].



Şekil 2.18 : Piko hücre için otoparka monte edilmiş anten.

2. 5 RF Sinyallerin Sağlığa Etkisi ve Alınan Önlemler

Günümüzün en çok tartışılan konularından biri olan baz istasyonlarının insan sağlığına olan etkisi üzerine birçok araştırma yapılmıştır ve insan sağlığına zarar verip vermediği henüz kesinleşmemiştir. World Health Organization (WHO) tarafından yapılan araştırmalar sonucunda baz istasyonlarından yayılan zayıf RF sinyallerinin insan sağlığına zararlı olduğuna dair ikna edici bilimsel bir kanıt olmadığı belirtilmiştir [24].

Türkiye'deki baz istasyonlarının yaydıkları RF dalgalara ait elektrik alan şiddeti Avrupa Birliği (AB) tavsiye kararı olan 41V/m'nin çok altındaki 10.2V/m ile sınırlıdır (Çizelge 2.2) [25].

Çizelge 2.2 : Ülkelerin mobil haberleşme için belirledikleri elektrik alan şiddeti [V/m] sınır değerleri [25].

ÜLKE	MOBİL HABERLEŞME İÇİN ELEKTRİK ALAN ŞİDDETİ [V/m] SINIR DEĞERLERİ
İsviçre	4
Lüksemburg	4
Bulgaristan	6.1
Polonya	6.1
Rusya	6.1
İtalya	6.1
Türkiye	10.2
Belçika	10.2
Slovenya 1.Bölge	12.9
Yunanistan	32.9
Slovenya 2.Bölge	41
Diger Avrupa Ülkeleri	41

Baz istasyonları gibi cep telefonları da yaydıkları RF dalgaları ile elektromanyetik radyasyon (EMR) oluştururlar. Cep telefonlarından yayılan elektrik alan şiddetleri ile bazı elektrikli ev aletleri kıyaslanacak olursa, cep telefonlarının oldukça düşük seviyelerde elektrik alan ürettikleri görülmektedir. Cep telefonlarının en yüksek elektrik alan ürettikleri an arama ve aranma anlarıdır. 2013 yılında Mersin'de Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) tarafından yapılan testlerde cep telefonlarının ürettiği elektrik alan şiddeti ortalama 4.6 V/m ile 17.5 V/m aralığında ölçülmüştür [23].

1956'da ve radyasyon güvenliği üzerine uzmanlaşan Health Physics Society (HPS), RF dalganın insan sağlığı üzerine etkisi ile ilgili bir çok seminer düzenlemiş, konferanslara katılmış ve yayınlar yapmıştır. Ülkelerin iletişim kurumlarının belirttiği güvenlik mesafesi değerlerine uyulması durumunda baz istasyonlarının herhangi bir zararı olmayacağı yönünde açıklama yapılmıştır [26]. Türkiye'de baz istasyonlarının güvenlik mesafesi ile BTK ilgilenmektedir. Antenden itibaren (antenin yayın yönünde) olan mesafenin cihaz çıkış gücü, anten kazancı, elektrik alan limit değerleri dikkate alınarak hesaplanan metre cinsinden değerine güvenlik mesafesi denir ve International Radiation Protection Association (IRPA) tarafından belirlenen formül ile hesaplanır [27] **(2.1)**.

$$d = \frac{\sqrt{30.P.10^{G/10}}}{E} \quad (2.1)$$

P: Cihaz çıkış gücü [Watt].

G: Anten kazancı [dBi].

E: Elektrik alan limit değeri [V/m].

d: Güvenlik mesafesi [m].

BTK tarafından çevre ve insan sağlığı dikkate alınarak tek bir cihaz için ölçülen elektrik alan şiddeti değeri International Commission On Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) tarafından belirlenen limit değerlerinin ¼'ünü aşamaz (Çizelge 2.3) [27].

Okul öncesi eğitim ile temel eğitim kuruluşlarının bulunduğu mahallerde güvenlik hesabı yapılırken bahçe sınırları da dikkate alınmalıdır. Sağlık kuruluşlarında kurulacak elektronik haberleşme cihazlarının ortamda oluşturacağı elektrik alan şiddet değeri 3V/m'yi geçemez [27]. Baz istasyonları için saha seçimi yaparken her saha için güvenlik mesafesi dikkate alınarak yapılmalıdır. BTK yaptığı denetimler sonucunda limit değerlerin aşıldığını tespit ettikten sonra ilgili operator firmalarına durumu bildirir ve 10 iş günü içerisinde gerekli tedbirlerin alınarak durumun düzeltilmesini ister. 10 iş gününden sonra tekrar limit değerlerin üzerinde ölçüm alınırsa para cezası verilir ve düzeltilene kadar baz istasyonunun abonelere servis vermesi durdurulur [27].

Çizelge 2.3 : Ortam ve tek bir cihaz için belirlenen limit değerler (f : MHz olarak frekans bandı) [27].

FREKANS ARALIĞI [MHz]	TEK CİHAZ İÇİN ELEKTRİK ALAN ŞİDDETİ [V/m] LİMİT DEĞERİ	ORTAMIN TOPLAM ELEKTRİK ALAN ŞİDDETİ [V/m] LİMİT DEĞERİ	TEK CİHAZ İÇİN MANYETİK ALAN ŞİDDETİ [A/m] LİMİT DEĞERİ	ORTAMIN TOPLAM MANYETİK ALAN ŞİDDETİ [A/m] LİMİT DEĞERİ	TEK CİHAZ İÇİN MANYETİK AKI YOĞUNLUĞU [μ T] LİMİT DEĞERİ	ORTAMIN TOPLAM MANYETİK AKI YOĞUNLUĞU [μ T] LİMİT DEĞERİ	TEK CİHAZ İÇİN EŞDEĞER DÜZLEM DALGA GÜÇ YOĞUNLUĞU [W/m^2] LİMİT DEĞERİ	ORTAMIN TOPLAM EŞDEĞER DÜZLEM DALGA GÜÇ YOĞUNLUĞU [W/m^2] LİMİT DEĞERİ
0.010-0.15	22	87	1.3	5	1.5	6.25	-	-
0.15-1	22	87	$0.18/f$	$0.73/f$	$0.23/f$	$0.92/f$	-	-
1-10	$22/\sqrt{f}$	$87/\sqrt{f}$	$0.18/f$	$0.73/f$	$0.23/f$	$0.92/f$	-	-
10-400	7	28	0.02	0.073	0.023	0.092	0.125	2
400-2000	$0.341/\sqrt{f}$	$1.375/\sqrt{f}$	$0.0009/\sqrt{f}$	$0.0037/\sqrt{f}$	$0.001/\sqrt{f}$	$0.0046/\sqrt{f}$	$f/3200$	$f/200$
2000-60000	15	61	0.04	0.16	0.05	0.2	0.625	10

3. BAZ İSTASYONU İÇİN SAHA SEÇİMİ

Dünyanın çeşitli ülkelerinde farklı teknolojilere ait RF kapsamanın olmadığı birçok alan mevcuttur. Bu alanlarda kapsama sağlamak amacıyla operator firmaları tarafından sahada teknik ekipler çalıştırılarak keşif yaptırılır ve en uygun lokasyonlar belirlenerek saha seçimi yapılır. Kapsamanın olduğu alanlarda yeni teknoloji gelmesi durumunda, sahalardaki mevcut baz istasyonlarının varlıklarını koruyarak yeni teknolojiye ait ekipmanların üzerlerine eklenmesiyle sahadaki teknolojiyi yükseltmek, mevcut baz istasyonunun kaldırılarak sadece yeni teknolojiye ait baz istasyonunu kullanmak veya yeni sahalar için keşif yapmak mümkündür. Mevcut sahaların iptal edilerek yeni teknolojiye yükseltilmesi yada mevcut BTS'e yeni teknolojiye sahip ekipmanlar eklenerek iki teknolojinin birden aynı lokasyonda servis vermesiyle operator firmaları hem yeni saha için keşif maliyetinden kurtulur hem de teknik ekip bölgedeki optimizasyon çalışmaları için zaman kazanır. Fakat bölgede belli periyotlarda yeni keşifler yapılarak mevcut lokasyonlardan daha az maliyetli daha uygun lokasyonlar bulunabilir.

Anten tipi, anten kazancı, anten çıkış gücü, kullanılacak frekans bandı ve yükseklik kapsamayı etkileyen en önemli parametrelerdir. Eger bilgisayar ortamında çeşitli RF modelleme programlarında bu parametrelerle yapılan modellemeler sonucunda eski teknolojiye sahip mevcut sahalarda yeni teknoloji ile kapsama sağlanamıyorsa, yeni saha arayışına gidilir. Saha seçimi yapılmadan önce çalışma alanı belirlenir ve ardından gerekli keşifler yapılarak en uygun sahaların seçilmesi amaçlanır.

Bu çalışmada şehir içinde saha kurulması en uygun olan lokasyonlar yapıların çatıları olarak belirlenmiştir. Çünkü şehirlerde kırsaldaki gibi kule kurulması kolay olan boş arazi bulunması çok zordur.

Saha seçimi ile ilgili çalışmaların bilgisayar ortamında yapılması ile planlamacı mühendislere sahada keşif için ayırdıkları zamandan tasarruf etmeleri sağlanarak yardımcı olunur [5]. Yüksek lisans tez çalışmasında yazılan kod ile oluşturulan "Saha Seçme Aracı" uygulaması kullanılarak en uygun sahaların seçilmesiyle kapsamanın sağlanması amaçlanmaktadır.

3.1 Çalışma Alanı

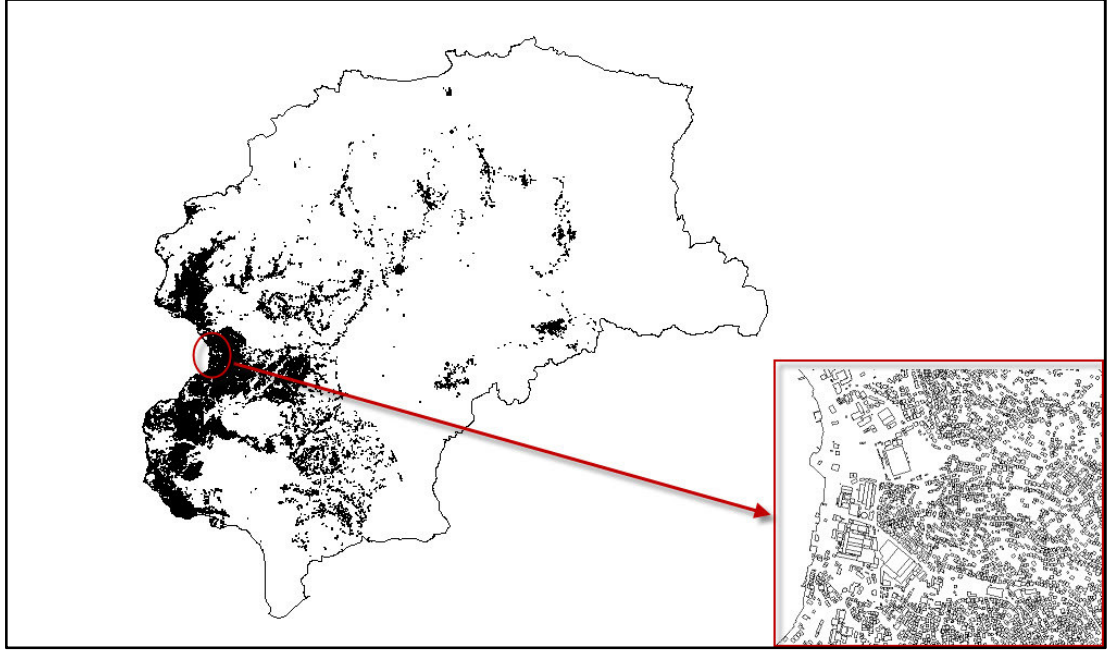
Bilgisayar ortamındaki RF araçların modellemeleri sonucunda kapsanılmasının muhtemel olduğu fakat gerçekte yükseklik farklılığından ötürü çok alçak yada çok yüksek yerleşimlerde, binaların da RF sinyalleri zayıflatıcı etkisi ile kapsamının sağlanamaması durumları ile karşılaşılabilir. Yükseklik farkının çok olduğu bölgelerde saha seçimi bu yüzden oldukça zordur. Ayrıca denize kıyısı olan yerlerde kurulan baz istasyonları tarafından gönderilen RF sinyallerin suyun üzerinde yansımalarından dolayı karşı kıyılarda enterferanslara yol açarak abonelerin servis kalitesini düşürmesi de söz konusudur. Bu sebeplerden ötürü zor coğrafi koşullarda iyi sonuçlar almayı hedefleyen “Saha Seçme Aracı” uygulamasını kullanarak yüksek lisans tez çalışmasında, deniz seviyesinden olan yüksekliği çoğu yerinde farklılık gösteren, Boğaz’a ve Karadeniz’e kıyısı olan İstanbul’un Beykoz ilçesi, çalışma alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 3.1). Beykoz, İstanbul’un Asya Kıtası’nda bulunan ve doğu sınırları 29°16' - 29°15', batı sınırları ise 41°10' - 41°14' arasında olan kıyıları, karayolları ve ormanları ile jeopolitik konumu çok önemli, yüz ölçümü oldukça geniş bir ilçedir [28]. Deniz seviyesinden başlayarak 270 m’ ye kadar yükselen bir coğrafi yapıya sahiptir [29]. Nüfus sayımlarına göre nüfusu sürekli artan Beykoz’un 2012’deki toplam nüfusu 246,352 ‘dir [30].



Şekil 3.1 : Beykoz ilçesinin İstanbul’daki coğrafi konumu.

3.1.1 Çalışma Alanı İçin “Obje Oluşturma Aracı” Uygulaması ile Veritabanı Hazırlama.

“Saha Seçme Aracı” uygulamasında çalışma alanı olan Beykoz’un veritabanına yapıların merkezlerinin koordinatları, yapı isimleri, kat sayıları, deniz seviyesinden olan yükseklikleri, kat yükseklikleri ile deniz seviyesinden olan yüksekliklerin toplamı sonucunda hesaplatılan binaların toplam yükseklikleri girilerek vektör formatta bir veritabanı hazırlanmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Beykoz için vektör formatta hazırlanan veritabanı ve bir kesitin yakınlaştırılmış görüntüsü.

BTK'nın yönetmeliğinde eğitim kurumlarının ve bahçeleri de dahil olma üzere sağlık kurumlarının olduğu lokasyonlara servis verecek baz istasyonlarının elektrik alan şiddetinin $3V/m$ 'yi aşmaması istenmektedir. Bu nedenle eğitim ve sağlık kurumlarının etrafında $3V/m$ değerinde elektrik alan şiddeti uygulayabilecek potansiyeldeki yapıların “Saha Seçme Aracı” uygulaması tarafından uygun baz istasyonu lokasyonu olarak seçilmemesi için veritabanından silinmesi gerekecektir. Güvenlik mesafesi belirlenen anten kazancı, cihaz çıkış gücü ve limit elektrik alan şiddeti parametrelerine bağlı olarak hesaplatılmıştır (3.1).

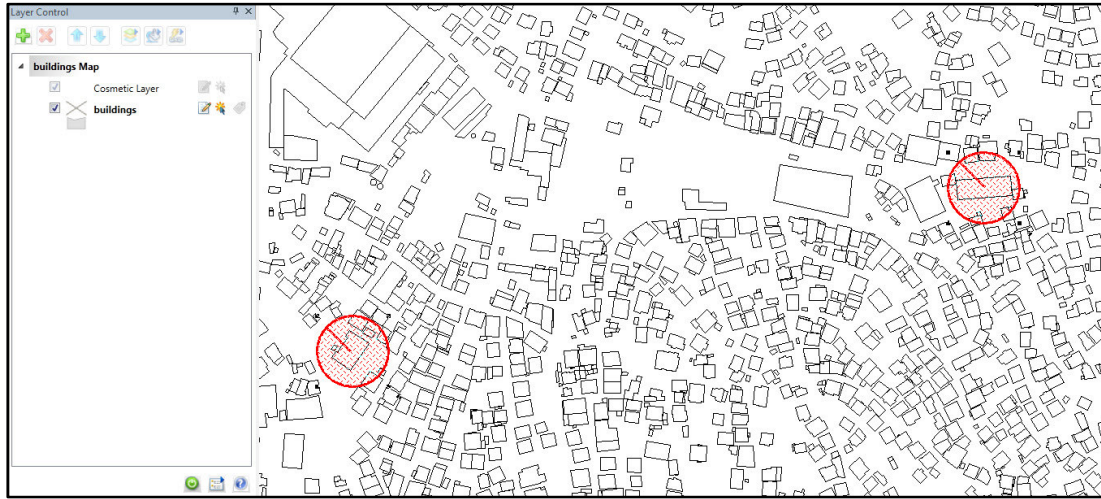
P: 10W [31].

G: 15dBi (Atoll programında LTE uyumlu antenlerin ortalama anten kazancı 15dBi).

E: $3V/m$ (Elektrik alan şiddeti limit değeri)

$$d = \frac{\sqrt{30.10.10^{15/10}}}{3} \approx 32.47 \text{ m} \quad (3.1)$$

Güvenlik mesafesi yaklaşık olarak 32.47m hesaplanmıştır. “Saha Seçme Aracı” uygulamasında bu mesafeyi 10 katından daha fazla olan 350m olarak belirleyip BTK’nın yönetmeliğine daha kararlı bir güvenlik mesafesi ile uyulması amaçlanmıştır. Ayrıca eğitim ve sağlık kurumlarının yakın çevresinde baz istasyonunun görünmesi ile doğabilecek halk tepkisine karşı da daha uzak bir mesafeye baz istasyonu kurularak önlem alınmıştır. Çünkü eğitim ve sağlık kurumlarının çevresinde kurulabilecek baz istasyonlarına karşı doğabilecek halk tepkisi baz istasyonunun mevcut lokasyonundan kaldırılmasına kadar birçok probleme sebep olabilir. Halk tepkisinden doğabilecek problemin önüne geçilmesi için eğitim kurumlarının ve bahçeleri de dahil olmak üzere sağlık kurumlarının etrafında yarıçapı 350m olan daireler çizilerek, bu dairelerin kapsadığı ve kestiği yapılar veritabanından silinmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : Eğitim ve sağlık kurumları için belirlenen ve yarıçapı 350m olan güvenlik mesafelerine ait daireler ile kapsanan ve kesişen yapılar.

2000 yılında İstanbul İl Çevre Müdürlüğü’nün yaptığı yazılı açıklamada BTK tarafından güvenlik mesafesine tabi tutulan eğitim ve sağlık kurumları da dahil olmak üzere akaryakıt istasyonlarına, dolun tesislerine, kamu binalarına ve parklara baz istasyonu kurulması yasaklanmıştır [32]. Tüm bu lokasyonların veritabanından silinerek “Saha Seçme Aracı” uygulaması tarafından baz istasyonu lokasyonu olarak seçilmemesi sağlanmıştır. Sonuç olarak BTK yönetmeliğine ve İstanbul İl Çevre Müdürlüğü’nün yaptığı yazılı açıklamaya uyarak “Saha Seçme Aracı” uygulaması için yeni bir veritabanı hazırlanmıştır.

Yeni veritabanındaki yapılardan koordinatları birbirlerine yakın her üç yapıdan ikisi veritabanından silinerek uygulamanın çalıştıracağı veri sayısı azaltılmıştır. Böylece uygulama daha az veriyle çalıştığı için daha kısa sürede sonuç vermiş olacaktır.

Her yapı için yapıların deniz seviyelerinden olan yüksekliğine kat yükseklikleri ilave edilerek toplam yükseklik verisi oluşturulmuştur. Her kat için kat yüksekliği 3m olarak belirlenmiştir. Toplam yükseklik ile saha seçerken en yüksek noktaya göre saha seçilmesi sağlanmıştır. Toplam yüksekliğe göre en yüksekten en alçağa doğru veritabanındaki veriler sıralanmıştır.

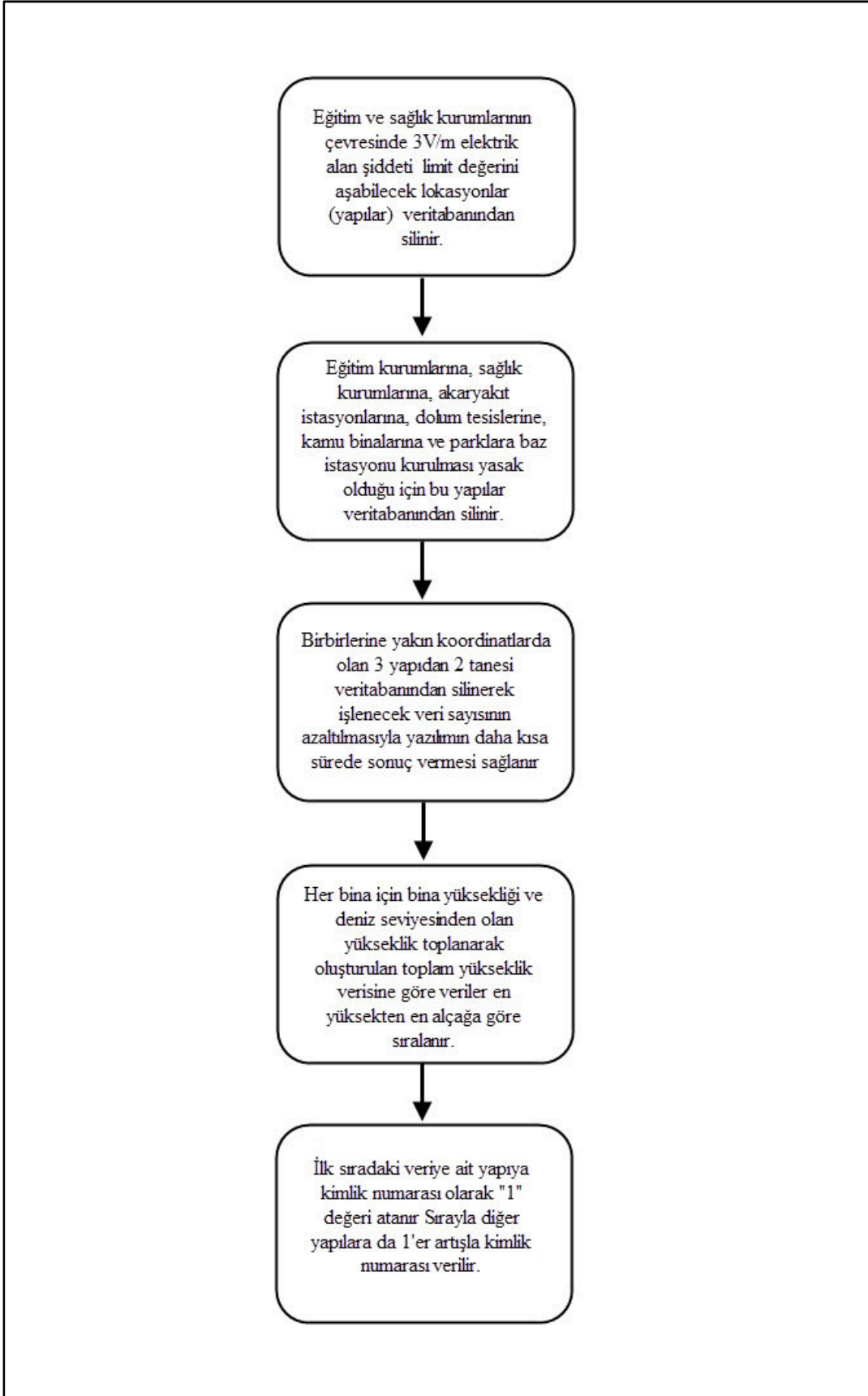
İlk veriye ait yapıdan başlayarak her veriye kimlik numarası atanır. Bu kimlik numarası ile belirlenecek kapsama mesafesi yardımıyla karşılaştırılacak yapının diğer sıralardaki yapıları kapsayıp kapsamadığı belirlenir. Eğer kapsıyorsa kimlik numaralarına bakılarak o yapılara baz istasyonu yerleştirilmesinin gerek olmadığı belirlenir. Karşılaştırma her zaman ilk sıradan başlar. İşlem adımları Şekil 3.4'te verilmektedir.

3.2 “Saha Seçme Aracı” ile Uygun Baz İstasyonu Lokasyonlarının Seçilmesi

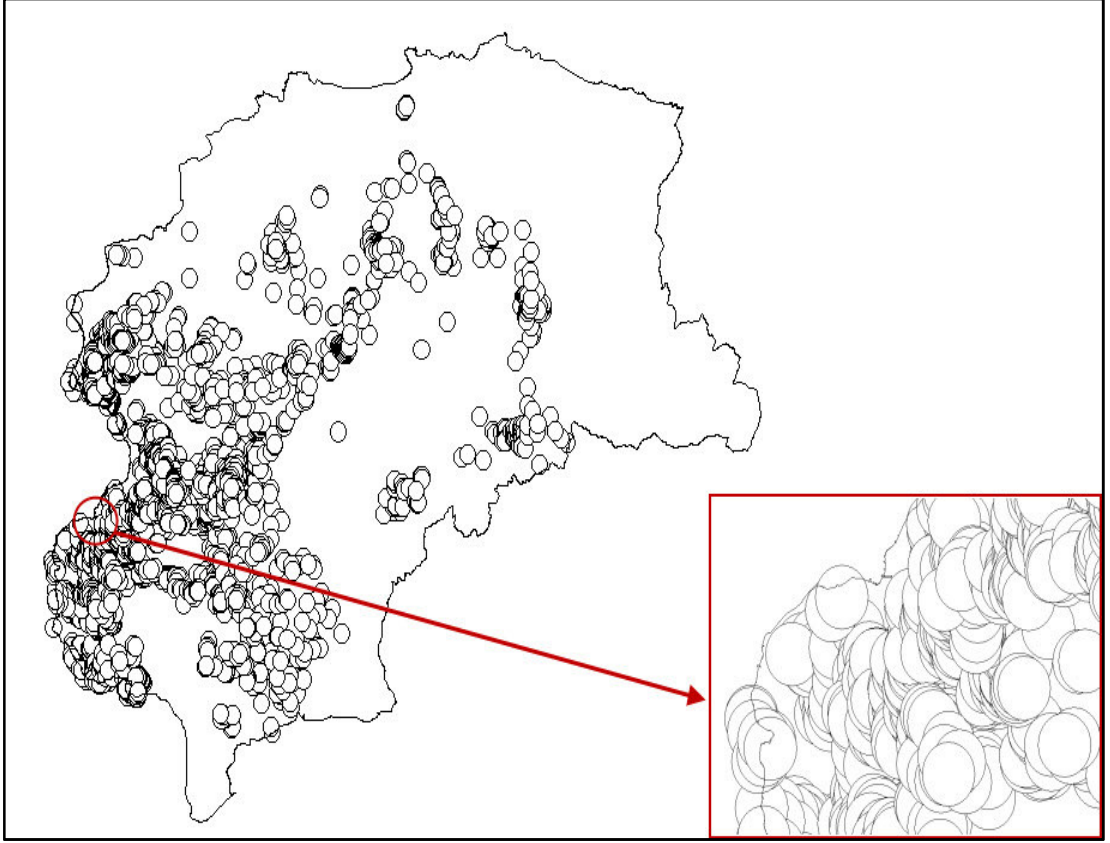
Beykoz'da yerleşimin olduğu alanlarda uygun baz istasyonu lokasyonu seçilebilmesi için belli bir algoritma ile hazırlanan ve derlenen “Saha Seçme Aracı” uygulaması kullanılmıştır. Baz istasyonu lokasyonu seçerken yapıların deniz seviyesinden olan yüksekliği, kullanılacak haberleşme teknolojisinin frekans bandına göre belirlenecek kapsama alanı mesafesi ve güvenlik mesafesi dikkate alınmıştır.

Veritabanındaki veriler toplam yükseklik verisine göre en yüksekten en alçağa göre sıralanmıştır. Böylece 1.satırdaki veri, baz istasyonu lokasyonu için en yüksek nokta, en son sıradaki veri ise baz istasyonu lokasyonu için en alçak nokta olarak belirlenmiştir.

Mikro ve makro hücrelerin kapsama alanlarının aralığında olacak şekilde 900MHz, 1800MHz ve 2100 MHz frekans bandları kullanılarak menzili 300m olan bir hücre yapısı ile kapsama sağlanarak piko hücrelerde olduğu gibi bina içinde de servis verilmesi hedeflenmiştir. Böylece bina içinde ve dışında iyi sinyal seviyesiyle kapsama sağlanması amaçlanmıştır. Veritabanındaki yapıların merkezlerindeki koordinatlar baz alınarak “Saha Seçme Aracı” ile yarıçapı 300m olan daireler çizilir ve bu dairelere ait yapılardan toplam yüksekliği en fazla olandan saha seçmeye başlanılır (Şekil 3.5).



Şekil 3.4 : “Obje Oluşturma Aracı” uygulamasıyla veritabanı hazırlanması.

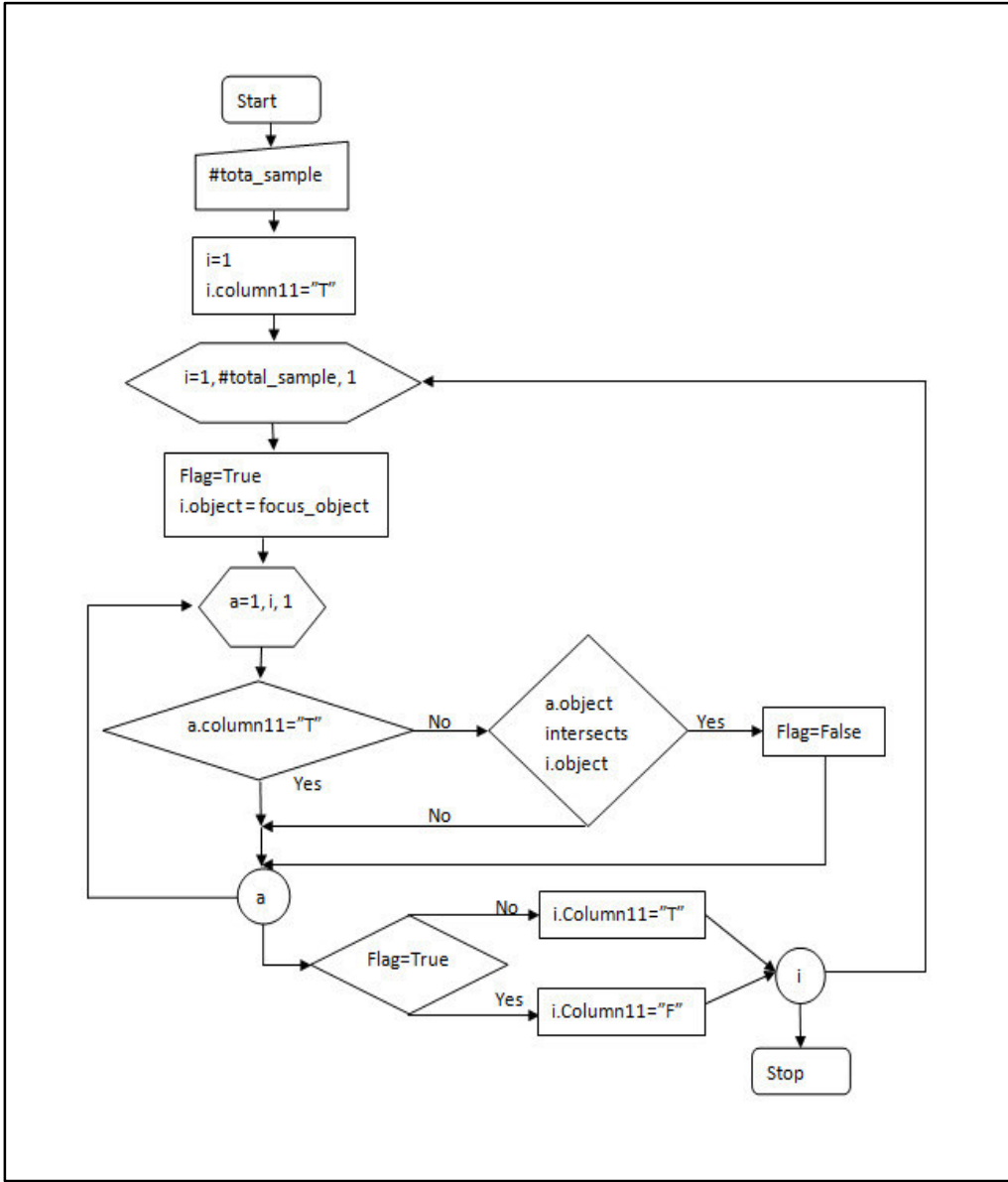


Şekil 3.5 : Her yapının baz istasyonu lokasyonu olduğu varsıyalarak merkezlerinden itibaren çizilen 300m yarıçapındaki kapsama alanı daireleri.

Veritabanında 1.sıradaki veri olan yapıya ait toplam yükseklik en fazla olduğu için uygulama bu yapının lokasyonunu ilk uygun baz istasyonu lokasyonu olarak belirler. Her yapının toplam yükseklik bilgisi önceden hesaplatılan yapılara ait bina yüksekliği ile yapıların deniz seviyesinden olan yüksekliklerinin toplamıdır. Aynı ayrı iki yükseklik bilgisi üzerinde çalışmak yerine toplamları olan toplam yükseklik bilgisi parametresi üzerinde çalışmak daha pratiktir.

Daha sonra ikinci baz istasyonu lokasyonu seçilmesi işlemine geçilir. Bu andan itibaren uygulama algoritması tüm yapılara ait verileri karşılaştırarak uygun baz istasyonu lokasyonunu seçmeye başlar. Beykoz'da yapıların olduğu tüm alanlarda kapsama sağlanana kadar algoritma uygun baz istasyonu lokasyonlarını seçmeye devam eder.

Yapıların merkezinden başlayarak 300m yarıçapında çizilen dairelerin birbirleri ile kesişip kesişmediği belirlenir ve bu hesaba göre toplam yüksekliği en fazla olan lokasyonlar uygun baz istasyonu lokasyonları olarak seçilir. İşlem adımlarını gösteren akış diyagramı Şekil 3.6'de gösterilmektedir.



Şekil 3.6 : “Saha Seçme Aracı” uygulaması için hazırlanan akış diyagramı.

- **Start** : Program çalıştırılır.
- **#total_sample** : Veritabanındaki her yapı bir örnek elemanı temsil eder. Uygun sahaların seçileceği yapıların sayısı (örnek elemanı sayısı), Şekil 3.7’deki veritabanına ait görüntüde bulunan satır sayısı olan 2718 satır sayısı kadardır.

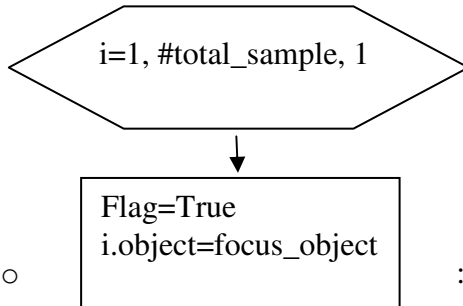
RID	Elevation	Floor	TotalFloor_Height	ElevationWith_Floor_Height	Latitude	Longitude	BuildingID	CANCELFlag	CANCELID	column11
1	277.697	0	0	277.697	41.1248	29.1413	No Name	0	_c	_a
2	270.931	1	3	273.931	41.1239	29.1354	DEPO	0	_c	_a
3	273.117	0	0	273.117	41.1263	29.1347	No Name	0	_c	_a
4	271.852	0	0	271.852	41.1251	29.1356	No Name	0	_c	_a
5	270.935	0	0	270.935	41.1253	29.1359	No Name	0	_c	_a
6	270.263	0	0	270.263	41.1268	29.1337	No Name	0	_c	_a
7	268.457	0	0	268.457	41.1248	29.1386	No Name	0	_c	_a
8	267.783	0	0	267.783	41.1233	29.1444	No Name	0	_c	_a
9	260.911	2	6	266.911	41.1238	29.1348	KONUT	0	_c	_a
10	262.877	1	3	265.877	41.1237	29.1432	KONUT	0	_c	_a
11	260.268	1	3	263.268	41.1234	29.1349	KONUT	0	_c	_a
12	259.919	0	0	259.919	41.1234	29.1349	No Name	0	_c	_a
13	257.714	0	0	257.714	41.1249	29.1343	No Name	0	_c	_a
14	254.927	0	0	254.927	41.1294	29.1407	No Name	0	_c	_a
15	244.814	3	9	253.814	41.1226	29.1411	KONUT	0	_c	_a
16	244.92	2	6	250.92	41.1217	29.1354	KONUT	0	_c	_a
17	248.281	0	0	248.281	41.0779	29.188	No Name	0	_c	_a
18	247.074	0	0	247.074	41.1216	29.1395	No Name	0	_c	_a
19	246.448	0	0	246.448	41.1214	29.1377	No Name	0	_c	_a
20	239.124	2	6	245.124	41.1225	29.1339	ISIKLI CESME CAMII	0	_c	_a
21	243.739	0	0	243.739	41.1265	29.1501	No Name	0	_c	_a
22	242.796	0	0	242.796	41.1217	29.1352	No Name	0	_c	_a
23	232.964	3	9	241.964	41.1056	29.1327	ACARKENT B331	0	_c	_a
24	241.414	0	0	241.414	41.1237	29.134	No Name	0	_c	_a
25	240.745	0	0	240.745	41.1292	29.1507	No Name	0	_c	_a
26	239.981	0	0	239.981	41.1212	29.1395	No Name	0	_c	_a
27	239.57	0	0	239.57	41.1211	29.1388	No Name	0	_c	_a
28	230.204	3	9	239.204	41.1206	29.1396	KONUT	0	_c	_a

records 1 - 29 of 2718

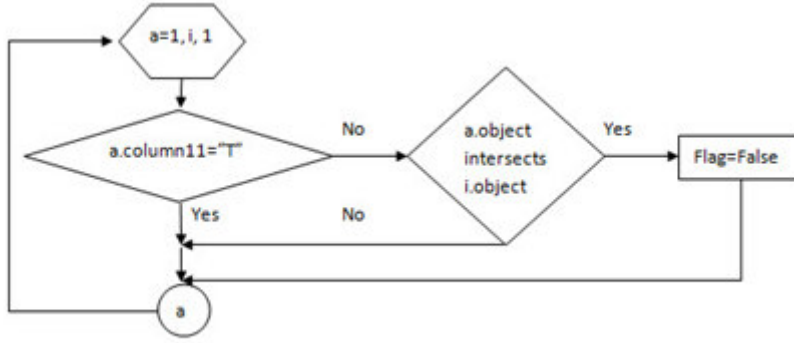
Toplam
örnek
eleman
sayısı
= 2718

Şekil 3.7 : Veritabanındaki toplam örnek eleman sayısı.

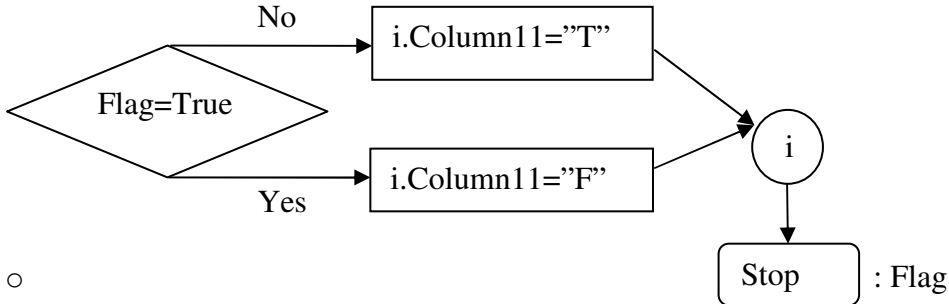
- $i=1$
 $i.column11="T"$: “i” değişkeni algoritmanın hangi satırda olduğunu yani hangi yapıya ait bilgilerin okunduğunu belirler. “i” değişkenine 1 değeri atanarak 1.satırdaki yapıya ait 11.kolon bilgisine “T” yazılır. Buradaki “T” değeri “True” ‘yu temsil eder. “True” bilgisi bize bu yapının bulunduğu lokasyonun uygun baz istasyonu lokasyonu olduğunu bildirir. Veritabanında 1.satırdaki veriye ait yapının toplam yüksekliği en fazla olduğu için uygulama bu yapının lokasyonunu ilk uygun baz istasyonu lokasyonu olarak belirler.



- $i=1, \#total_sample, 1$: 1’den toplam örnek eleman sayısı olan 2718’e kadar 1’er sırayla bir döngü oluşturulur. Bu döngü ile i.sıradaki yapının “Flag” bilgisi “True”; i.obje ise “focus object” yani odak obje olarak belirlenir. Böylece her odak obje kendisinden sonraki sırada olan objelerle kıyaslanacaktır.

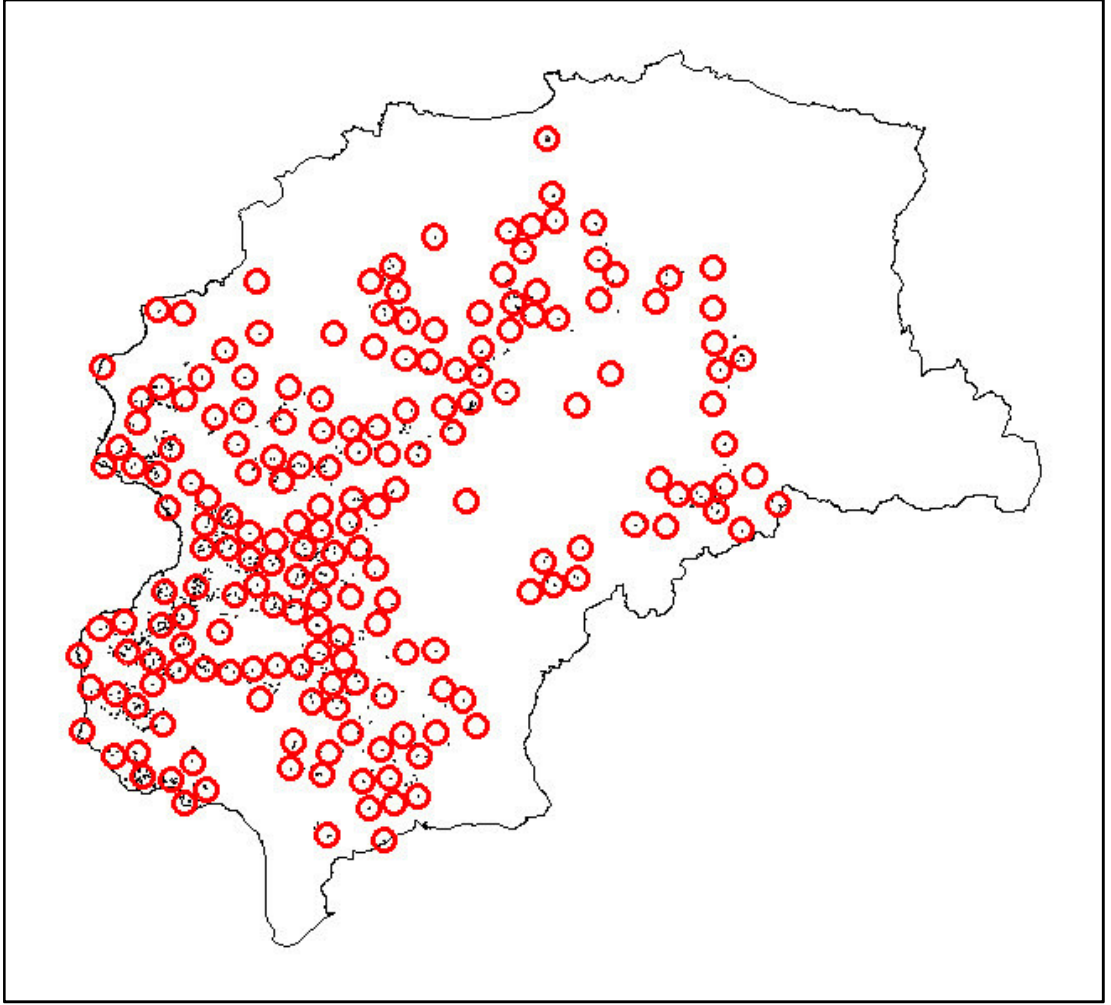


- : Burada kıyaslanacak olan bilgi yarıçapı 300m olan kapsama alanı dairelerine sahip odak obje ile diğer objeler birbirleri ile kesişiyor mu kesişmiyor mu bilgisidir. “a” değişkeni 1.sıradaki objeden i.sıradaki odak objeye kadar 1’er sırayla giderek bir döngü oluşturur. Eğer a.sıradaki objeye ait 11.kolon bilgisi “T” ise a.sıradaki obje için hiçbir işlem yapılmadan döngüden çıkılır. Eğer 11.kolon bilgisi “T” değilse a.obje ile i.objenin kesişme durumuna bakılır; kesişiyorlarsa Flag bilgisine “False” yazdırılarak Flag bilgisi güncellenir ve döngüden çıkılır. Bu durumda a.sıradaki objeye ait yapının bulunduğu lokasyon uygun baz istasyonu seçilecek lokasyon değildir. Eğer a.obje ile i.obje kesişmiyorlarsa döngüden herhangi bir işlem yapılmadan çıkılır.



- : Flag bilgisi eğer “True” ise i.satırdaki 11.kolon bilgisine “F”; yalnızca “T” yazdırılarak i’ye ait döngüden çıkılır ve program sonlandırılır.

Sonuç olarak veritabanında 11.kolona ait “T” bilgisini içeren verilerin filtrelenmesiyle sadece uygun baz istasyonu lokasyonu için seçilen yapıların bilgisini elde etmiş oluruz. Veritabanındaki 2718 yapı içinden 190’ı uygun baz istasyonu lokasyonu olarak seçilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 : Veritabanındaki 2718 yapı içinden 190'ı uygun baz istasyonu lokasyonu olarak seçilmiştir.

4. SEÇİLEN SAHALAR İLE ATOLL'DA KAPSAMA ALANININ HESAPLATILMASI

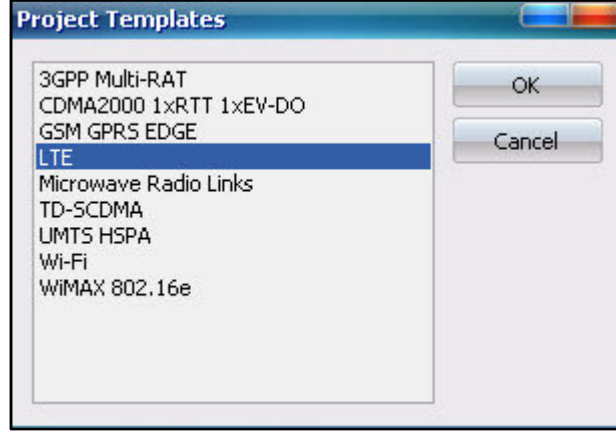
Planlama mühendisleri tarafından seçilen baz istasyonu lokasyonlarının tahmini kapsama alanının bilgisayar ortamında yapılabilmesi için geliştirilen bir çok bilgisayar programı vardır. Bu çalışmada radyo planlama ve optimizasyon yazılımı olan Atoll programı versiyon 3.1.2 ile RF kapsama haritası çıkartılarak saha seçiminin başarılı olup olmadığı araştırılmıştır. Atoll ile kapsama alanı hesaplatılırken, RF dalganın yayıldığı alanının ve yol kaybının hesaplatılması için coğrafi verilerden yararlanır. Coğrafi veriler ilgili bölgenin belli çözünürlükteki deniz seviyesinden olan yükseklik bilgilerini ve arazi kullanımına ait bilgilerini içerir. Deniz seviyesinden olan yükseklik bilgisini içeren sayısal yükseklik modeli (SYM) veritabanı ne kadar yüksek çözünürlükte olursa o kadar doğru hesaplama yapılır. Arazi kullanım alanları ise deniz, yol, yapı, orman gibi sınıflara ayrılır [33]. Bu sınıfların her birine belli katsayılar atanarak RF dalganın yol kaybının hesaplatılması sağlanır.

4.1 Coğrafi Bilgileri İçeren Veritabanlarının ve Saha Lokasyonlarının Atoll Programına Aktarılması

Sinyal seviyesine göre kapsama alanını hesaplabilmesi için coğrafi bilgileri içeren veritabanlarının ve saha lokasyonlarının Atoll programına aktarılmasında aşağıdaki işlemler yapılır:

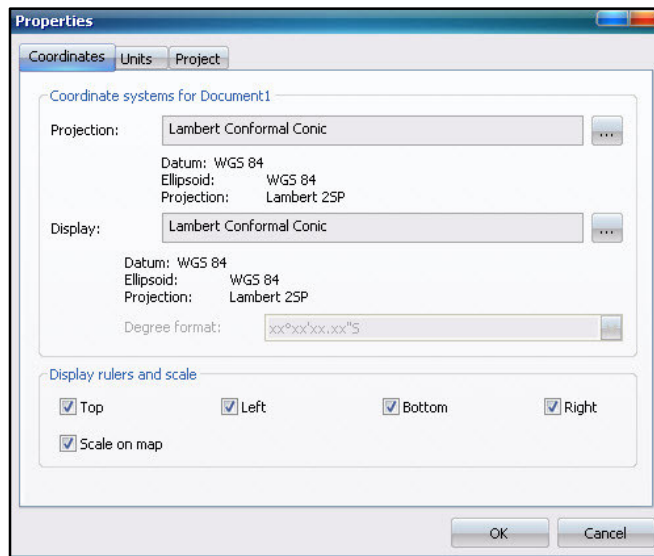
- Kapsama alanının hesaplatılacağı baz istasyonu teknolojisinin Atoll'un hazır taslaklarından seçilmesi: Listeden LTE taslağı seçilir (Şekil 4.1).
RF yayın band genişliği şehir içinde kullanılacak olan 10MHz band genişliğine; transmision için mikrodalga linkleri ise 11GHz frekansına bandına ayarlanır.
- Harita projeksiyonunun belirlenmesi: Harita projeksiyonu dünyanın 3 boyutlu yüzeyini 2 boyutlu harita üzerinde göstermek için kullanılan matematiksel bir ifadedir [34]. Lambert Konformal Konik projeksiyonu kartografi, jeodezi ve

küresel konumlama için kullanılan “World Geodic System” (WGS) standartıdır.



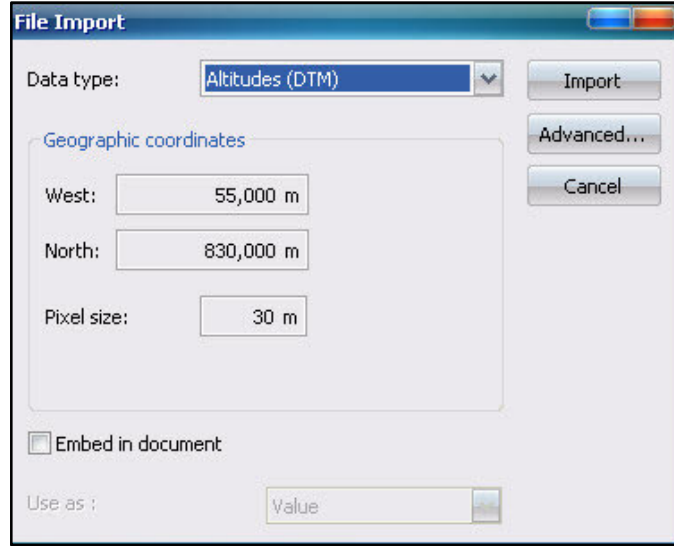
Şekil 4.1 : Atoll versiyon 3.1.2’ye ait proje taslakları.

- Harita projeksiyonunun belirlenmesi: Harita projeksiyonu dünyanın 3 boyutlu yüzeyini 2 boyutlu harita üzerinde göstermek için kullanılan matematiksel bir ifadedir [34]. Lambert Konformal Konik projeksiyonu kartografi, jeodezi ve küresel konumlama için kullanılan “World Geodic System” (WGS) standartıdır. WGS’nin en son versiyonu olan WGS84 1984’te oluşturulmuş olup 2004’te revize edilmiştir. Atoll programında orta enlemler için veya haritası çıkarılacak bölgenin doğu-batı yönünde uzandığı durumlar için ideal bir projeksiyon olan Lambert Konformal Konik harita projeksiyonu seçilir (Şekil 4.2).

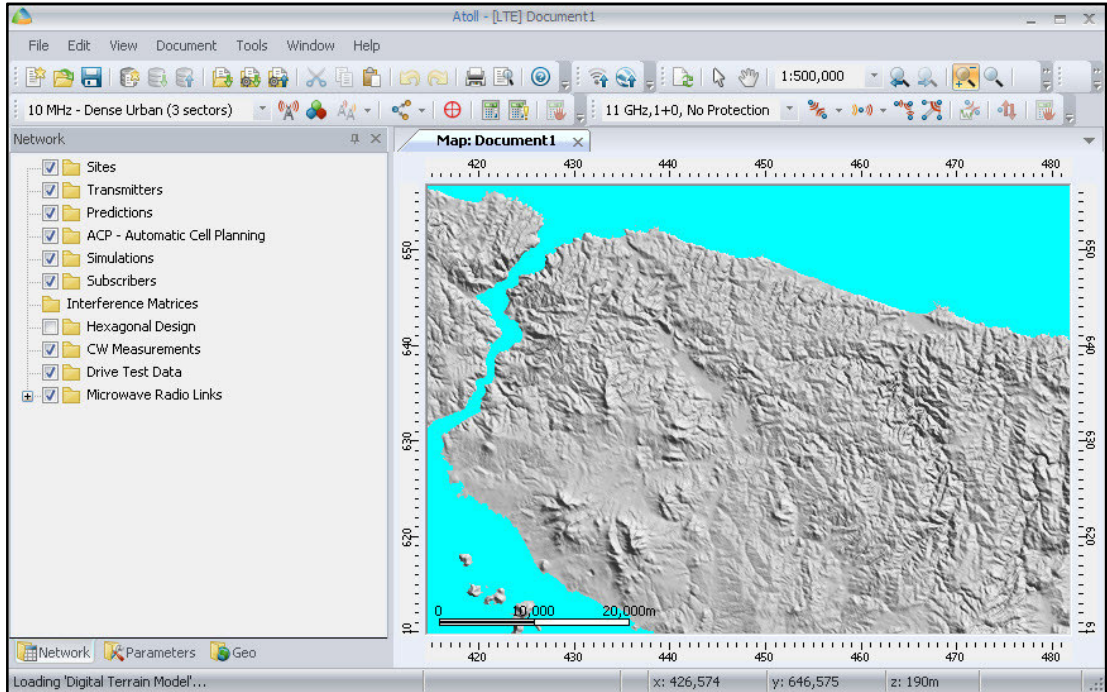


Şekil 4.2 : Koordinat sisteminin tanıtılması.

- Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) veritabanının yüklenmesi: Baz istasyonlarının servis vereceği alana ait görüş mesafesinin hesaplanmasında kullanılır. SYM olarak 30m X 30m çözünürlüğündeki Beykoz'a ait bilgileri içeren veritabanı kullanılır (Şekil 4.3, Şekil 4.4).



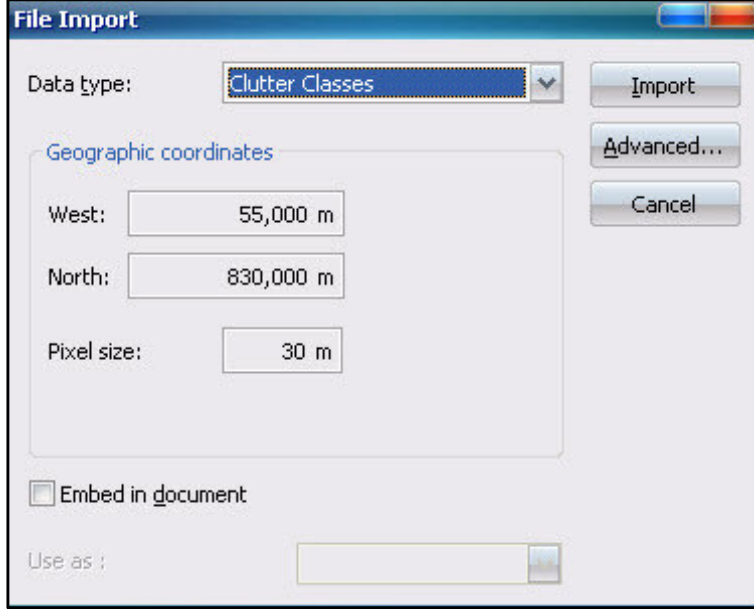
Şekil 4.3 : SYM veritabanının yüklenmesi.



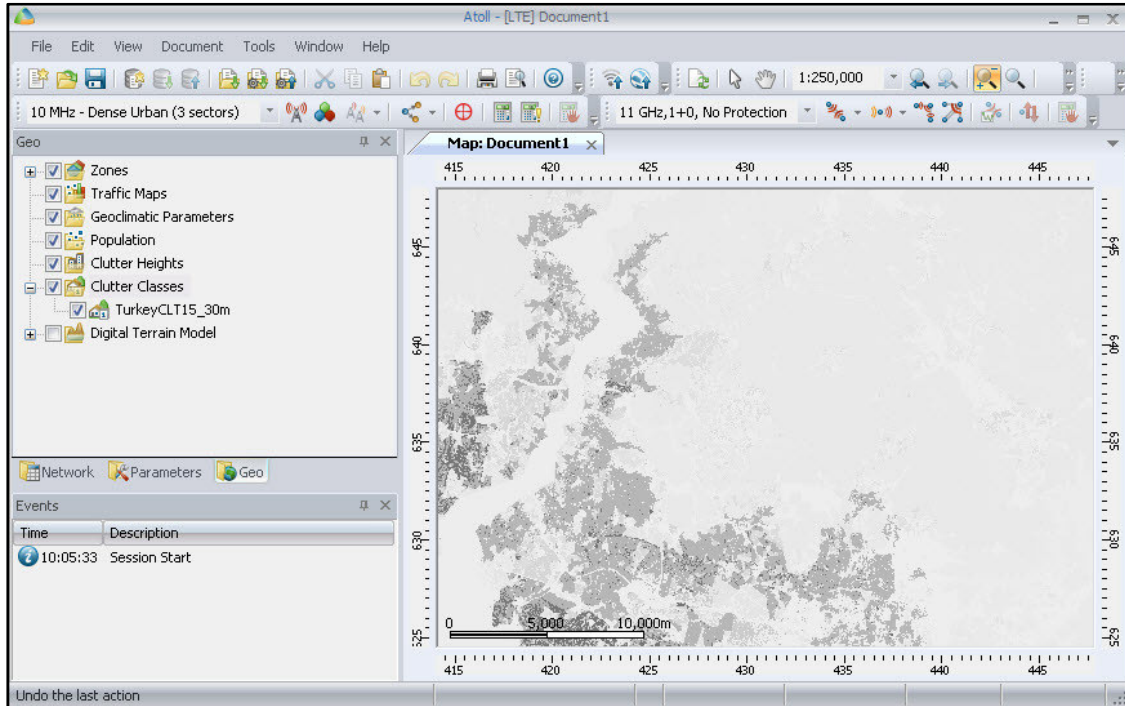
Şekil 4.4 : SYM veritabanının harita üzerindeki görüntüsü.

- Arazi kullanımına ait veritabanının yüklenmesi: Arazi kullanımına ait veritabanı ile sinyal seviyesinin hangi arazilerde ne kadar zayıflayacağı

hesaplanır. Örneğin deniz üzerinde RF dalga yansıyacağı için çok az bir kayıpla uzun mesafelere iletilirken, ormanlık alanın RF dalgaya ait zayıflatma etkisi daha fazla olacağından sinyal daha fazla zayıflayarak daha kısa mesafelere iletilir. 30m X 30m çözünürlüğündeki arazi kullanımına ait veritabanı kullanılmıştır (Şekil 4.5, Şekil 4.6).



Şekil 4.5 : Arazi kullanım alanlarına ait veritabanının yüklenmesi.



Şekil 4.6 : Arazi kullanım alanlarına ait veritabanının harita üzerindeki görüntüsü.

- “Saha Seçme Aracı” uygulaması ile lokasyonları önceden belirlenen baz istasyonlarına ait koordinat bilgileri kullanılarak Atoll programında sahalara ait veritabanının oluşturulması: Seçilen sahaların koordinatları Atoll’da sahalara ait veritabanına girildiğinde karşısına otomatik olarak deniz seviyesinden olan yükseklik bilgisi gelmektedir (Şekil 4.7).

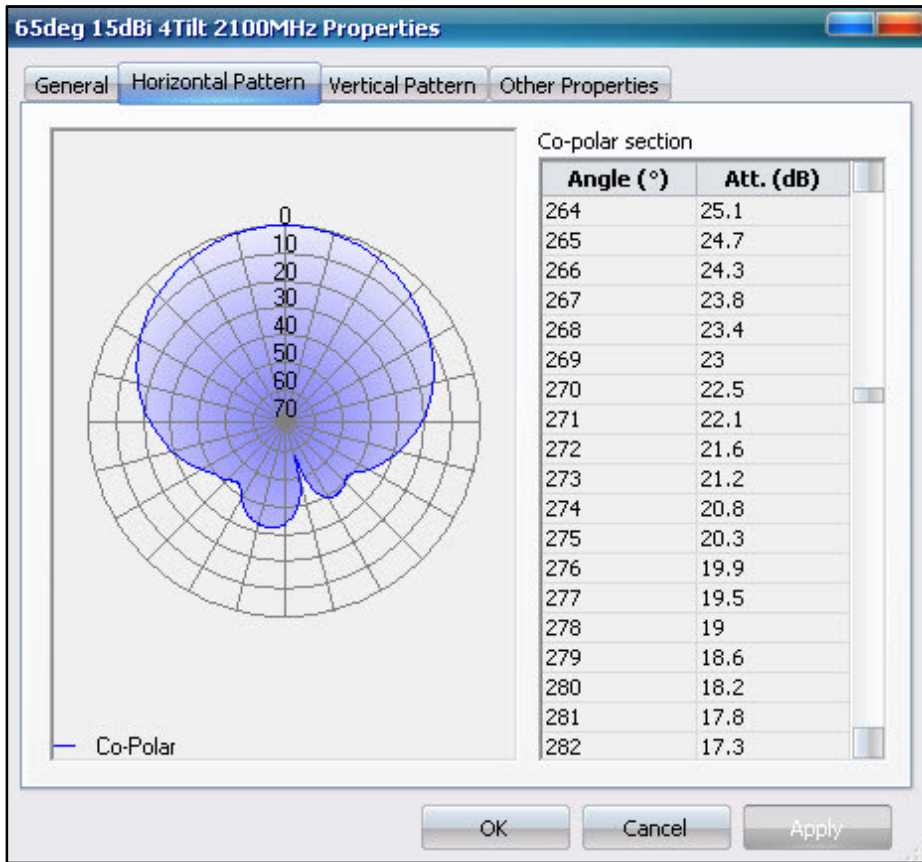
Name	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Comments	Pylon Height (m)	Support Type
Site0	29.1412773	41.12479	[282]		50	
Site1	29.1336549	41.12679	[266]		50	
Site10	29.1189025	41.12463	[223]		50	
Site100	29.0975123	41.09851	[110]		50	
Site101	29.1021905	41.11234	[100]		50	
Site102	29.0930812	41.06696	[112]		50	
Site103	29.1625443	41.17512	[110]		50	
Site104	29.1583835	41.18301	[107]		50	
Site105	29.1051375	41.16120	[106]		50	
Site106	29.1827404	41.14692	[111]		50	
Site107	29.1648080	41.07620	[101]		50	
Site108	29.0908982	41.10336	[109]		50	
Site109	29.0996781	41.15631	[103]		50	
Site11	29.1618207	41.06036	[231]		50	
Site110	29.1300074	41.06901	[97]		50	
Site111	29.1370484	41.08460	[90]		50	
Site112	29.0999110	41.17648	[75]		50	
Site113	29.1189407	41.13875	[91]		50	
Site114	29.1090402	41.10155	[100]		50	
Site115	29.1052283	41.12691	[94]		50	
Site116	29.0876738	41.08964	[79]		50	
Site117	29.1089706	41.15198	[76]		50	
Site118	29.1924785	41.16632	[84]		50	

Şekil 4.7 : Sahalara ait koordinatlara karşılık gelen deniz seviyesinden olan yükseklik bilgisini içeren veritabanının görüntüsü.

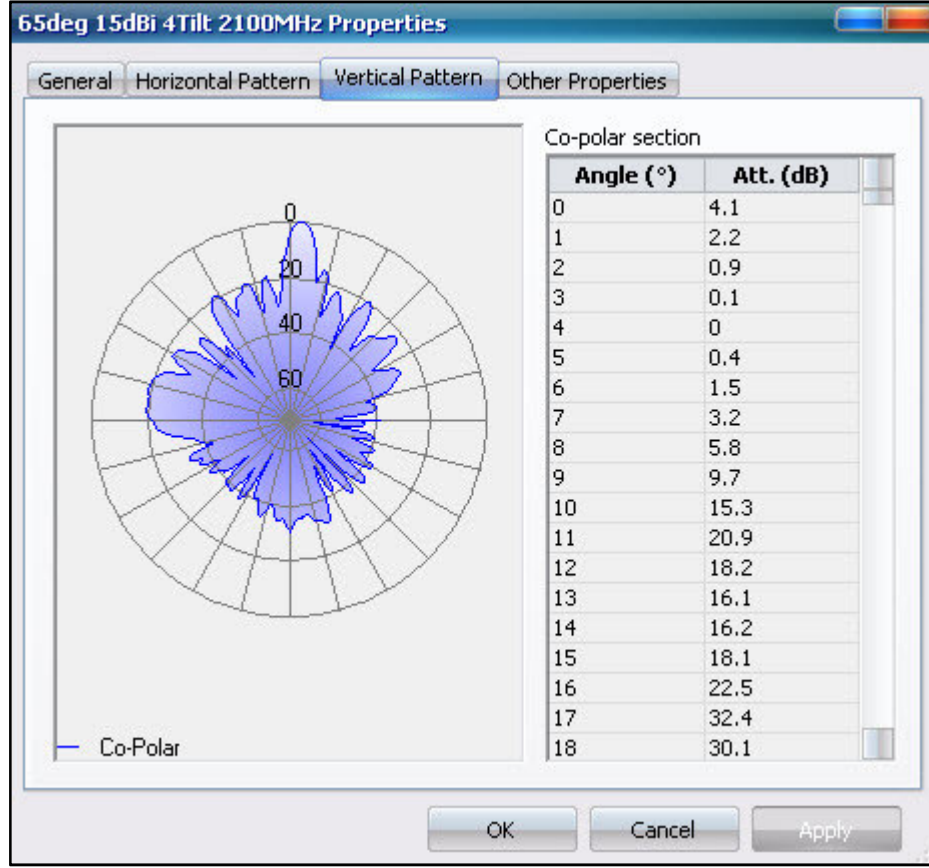
- Baz istasyonlarına ait antenlerin bilgileri ile veritabanı oluşturulması: Her baz istasyonuna birbirleri ile aralarında 120 derece olacak şekilde 3’er tane anten yerleştirilerek baz istasyonunun etrafının 360 derece ile kapsanması amaçlanmıştır. Her anten için Atoll’un anten kataloğundan seçilen yatay düzlemde ışınım genişliği 65 derece, dikey düzlemde ışınım genişliği 18 derece, kazancı 15dBi ve elektriksel eğimi 4 derece olan 900MHz, 1800MHz ve 2100MHz frekans bandlarında çalışan antenler kullanılmıştır (Şekil 4.8, 4.9, 4.10). Anten yüksekliği olarak bina yüksekliği ve 5m anten direğinin toplamı olan uzunluk girilmiştir.

Site	Transmitter	Active	DX (m)	DY (m)	Transmitter Type	Antenna
Site0	Site0_1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site0	Site0_2	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site0	Site0_3	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site1	Site1_1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site1	Site1_2	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site1	Site1_3	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site10	Site10_1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site10	Site10_2	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site10	Site10_3	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site100	Site100_1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site100	Site100_2	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site100	Site100_3	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site101	Site101_1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site101	Site101_2	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site101	Site101_3	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site102	Site102_1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site102	Site102_2	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site102	Site102_3	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site103	Site103_1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site103	Site103_2	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site103	Site103_3	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site104	Site104_1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site104	Site104_2	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz
Site104	Site104_3	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Intra-netwo	65deg 15dBi 4Tilt 2100MHz

Şekil 4.8 : Antenlerin bilgilerini içeren veritabanının görüntüsü.



Şekil 4.9 : Kullanılan anten modeline ait yatay düzlemdeki ışınım diyagramı.










Şekil 4.10 : Kullanılan anten modeline ait dikey düzlemdeki ışınım diyagramı.

4.2 Kapsama Alanının Hesaplanması

Belirlenen saha lokasyonlarının koordinatlarına, deniz seviyesinden olan yükseklik bilgilerine ve sahaların bulunduğu arazi yapısına ait veritabanlarının Atoll'a yüklenerek kapsama alanının hesaplatılabilmesi için bir çok model seçilebilir. Bu çalışmada Atoll versiyon 3.1.2'ye ait RF yayılım modeli taslaklarından SUI, COST-Hata, Okumura-Hata ve SPM modelleri seçilmiştir. Yüksek frekans bandından doğabilecek olan kapsama sorunu nedeniyle daha düşük frekans bandlarında 4G'nin kullanılabilme durumu söz konusudur [11]. Bu nedenle seçilen modellerde yüksek frekans bandı olan 2100MHz'in yanı sıra düşük frekans bandı olan 900MHz ve 1800MHz frekans bandlarına da yer verilmiştir.

Şehir içinde standart olarak antenlere yaklaşık 4-6 derece aralığında aşağı yönde eğim verilir. Böylece antenlerin çok uzaklara servis vermeyerek enterferansa yol açmayacak şekilde şehir içinde belirli mesafelere servis vermesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada kullanılacak antenlere şehir içinde kullanılması amacıyla 4 derece aşağı yönde eğim verilmiştir. Farklı frekans bandlarındaki farklı RF yayılım modelleri ile

RF kapsama hesaplatılabilmesi için Atoll versiyon 3.1.2'deki anten taslaklarından anten kazancı 15dBi; yatay düzlemde yayın genişliği 65, dikey düzlemde yayın genişliği 18 derece olan yönlü antenler kullanılmıştır. Şekil 4.11'deki sinyal seviyelerine ait renklendirme ile kapsama alanları görüntülenmiştir.

		Min	Max	Legend
1		-70		Best Signal Level (dBm) >=-70
2		-75		Best Signal Level (dBm) >=-75
3		-80		Best Signal Level (dBm) >=-80
4		-85		Best Signal Level (dBm) >=-85
5		-90		Best Signal Level (dBm) >=-90
6		-95		Best Signal Level (dBm) >=-95
7		-100		Best Signal Level (dBm) >=-100
8		-105		Best Signal Level (dBm) >=-105

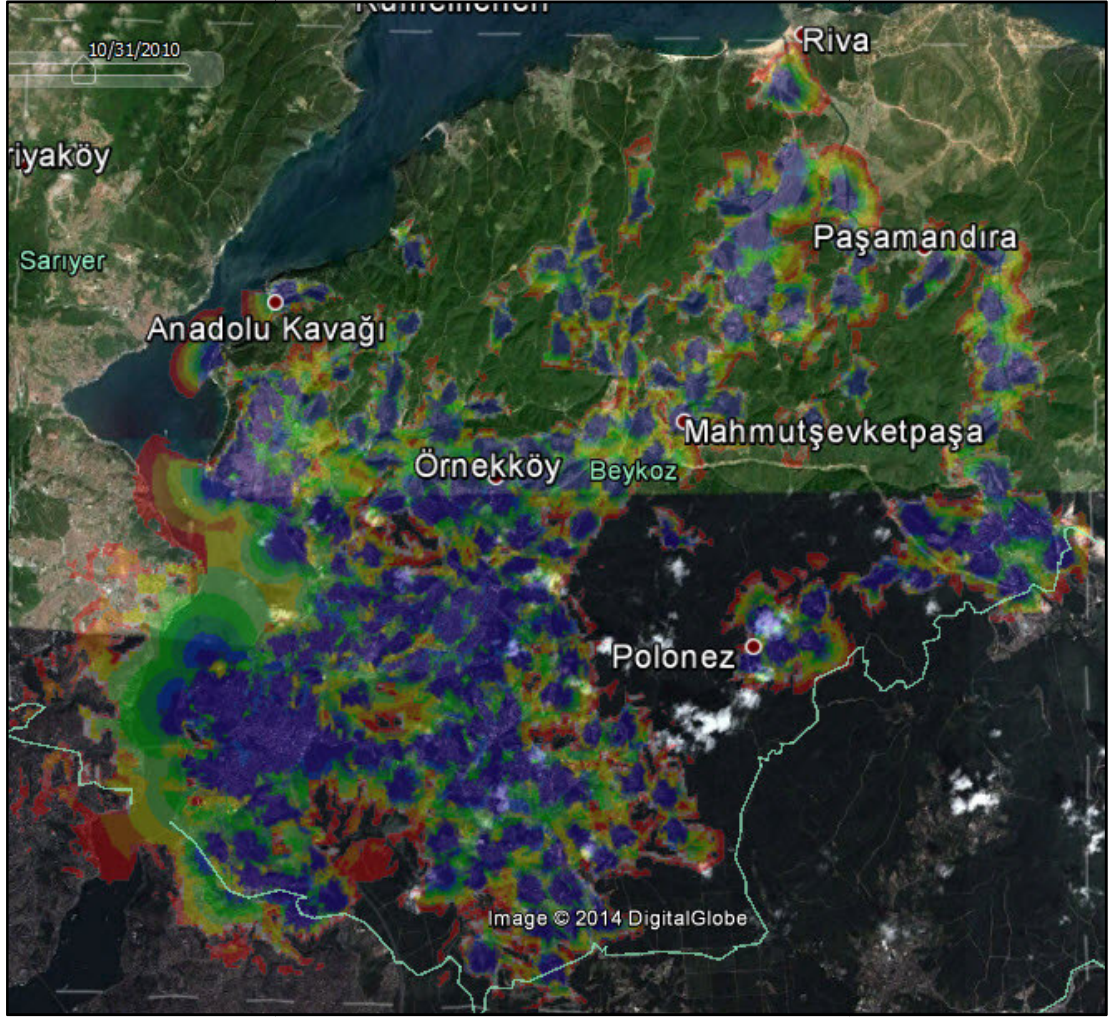
Şekil 4.11 : Kapsama alanlarının sinyal seviyesine göre renklendirilmesi.

Şekil 4.11'deki sinyal seviyeleri ve renklerine göre -70dBm ve üzeri sinyal seviyeleri kapsama için en yüksek ve en kaliteli sinyal seviyeleridir. Sırasıyla sinyal seviyesi -70dBm'den -105dBm'e düştükçe kapsama kalitesi de düşer ve sinyal zayıflar. Sinyal seviyesindeki zayıflama, kalite kötüleşmesi ve data hızının azalması -100dBm'de oldukça farkedilebilir durumdadır. Kapsama alanında -105dBm ve altındaki sinyal seviyelerindeki sesli görüşmede yada data transferinde sık sık kesinti yaşanabilir.

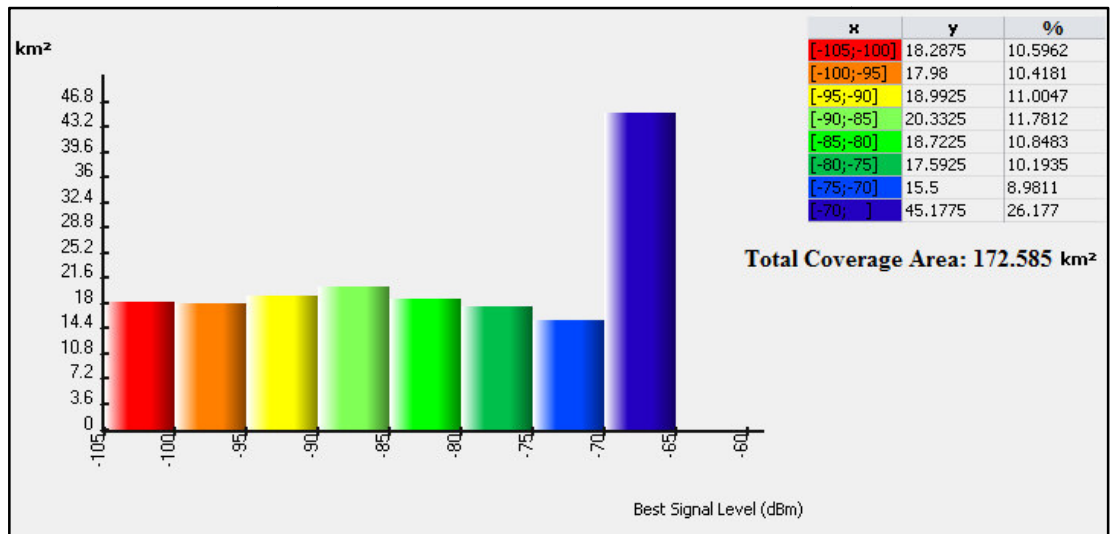
4.2.1 900MHz frekans bandında yayılım modelleri ile kapsama alanının hesaplanması

Atoll versiyon 3.1.2'ye ait anten kataloğundaki anten taslaklarından seçilen, şehir içerisinde servis vermesi için tasarlanan ve bina yoğunluğunun olduğu bölgelerde kapsamaya uygun 4 derece aşağı yönde elektriksel eğime sahip antenlerin, veritabanlarından sırasıyla SUI, COST-Hata, Okumura-Hata, SPM modelleri seçilerek 900MHz frekans bandında kapsama alanı Şekil 4.11'deki sinyal seviyelerine ait renklendirme ile gösterilerek hesaplatılmıştır (Şekil 4.12a, Şekil 4.12b, Şekil 4.13a, Şekil 4.13b, Şekil 4.14a, Şekil 4.14b Şekil 4.15a, Şekil4.15b).

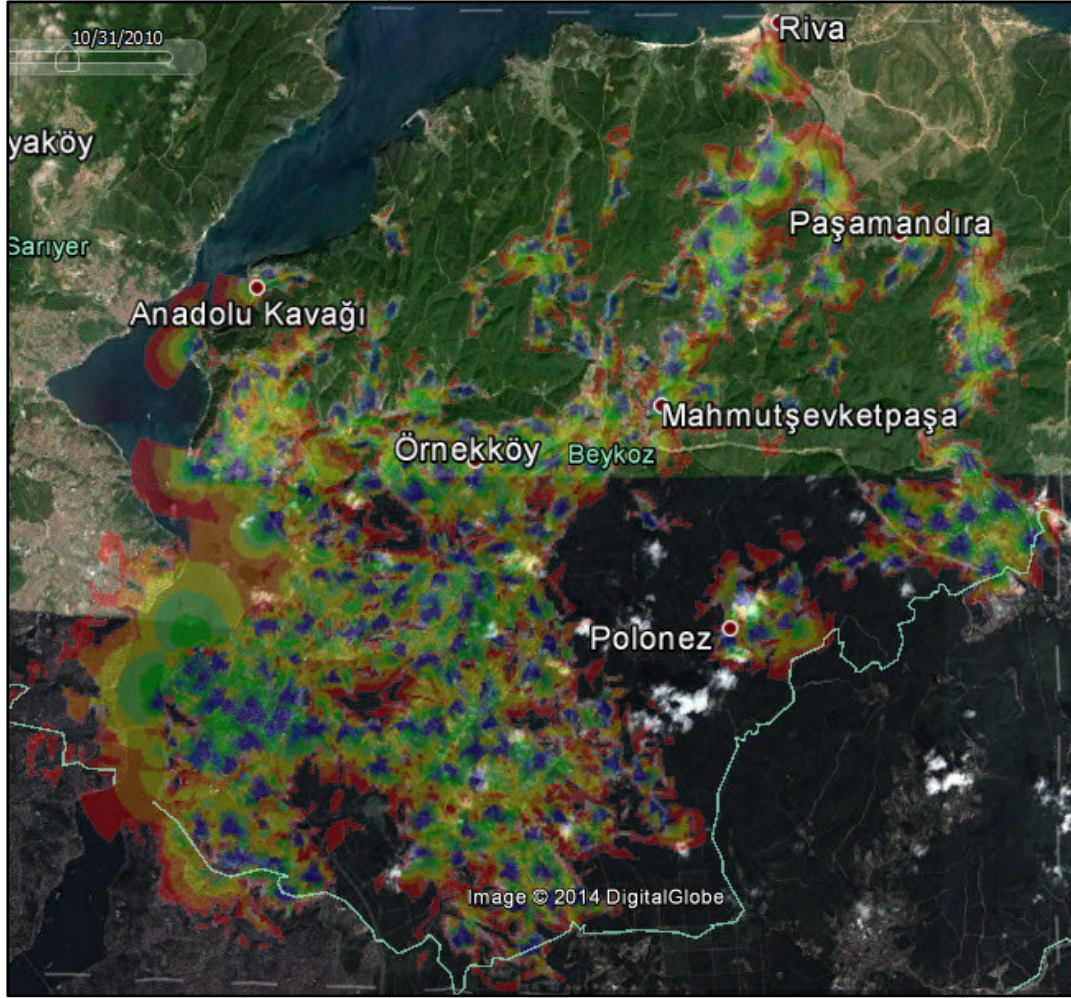
900MHz frekans bandında SUI, COST-Hata, Okumura-Hata ve SPM modellerine ait kapsama alanı simülasyonlarında seçilen tüm RF yayılım modelleri ile veritabanındaki yerleşim yerlerinin neredeyse tamamında RF kapsama sağlanmış durumdadır. Sinyal seviyesine göre kapsama alanlarının en yüksek olduğu modeller sırasıyla Okumura-Hata, SPM, SUI ve son olarakta COST-Hata modelidir.



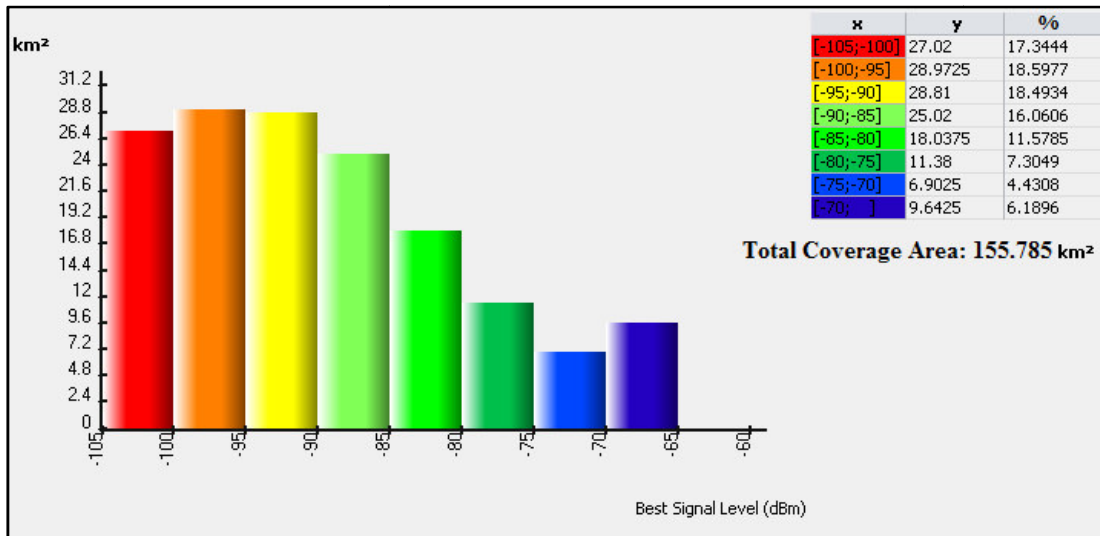
Şekil 4.12a : 900MHz frekans bandında SUI modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.



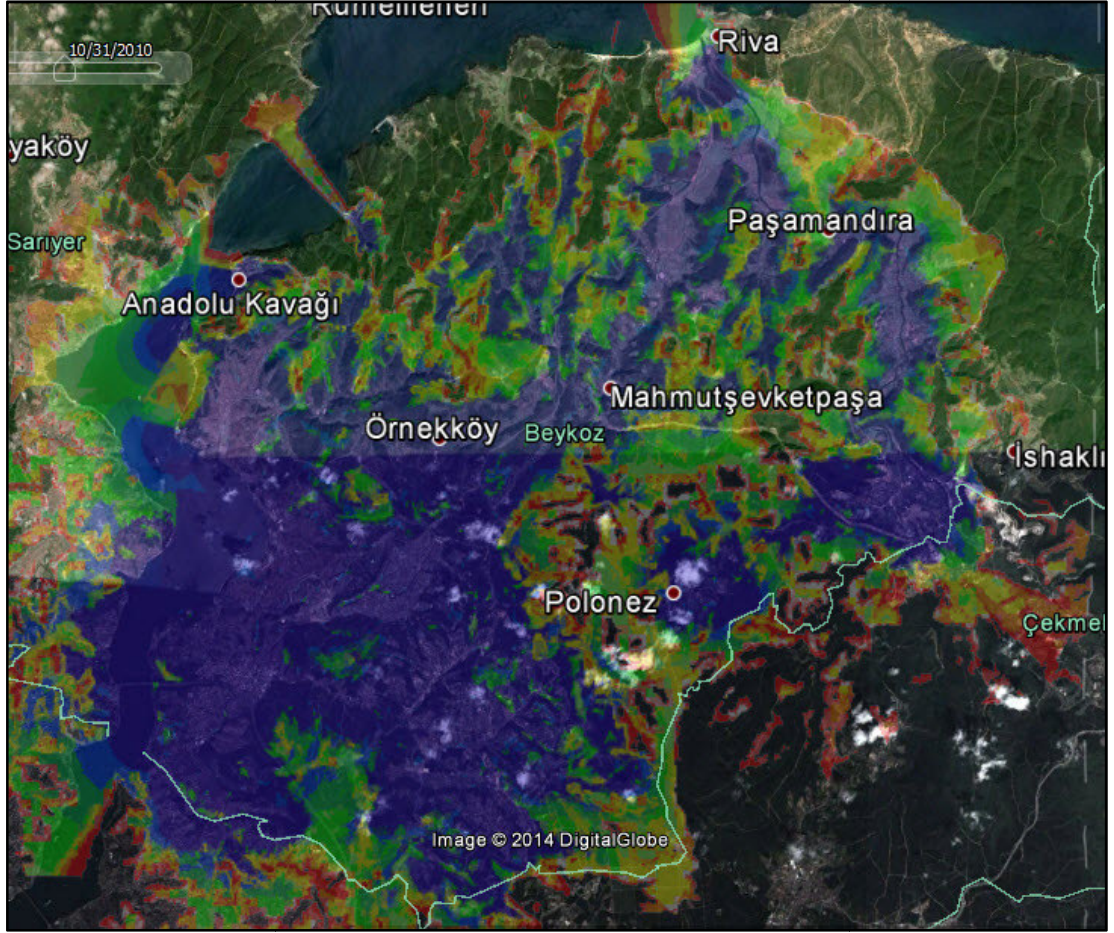
Şekil 4.12b : 900MHz frekans bandında SUI modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.



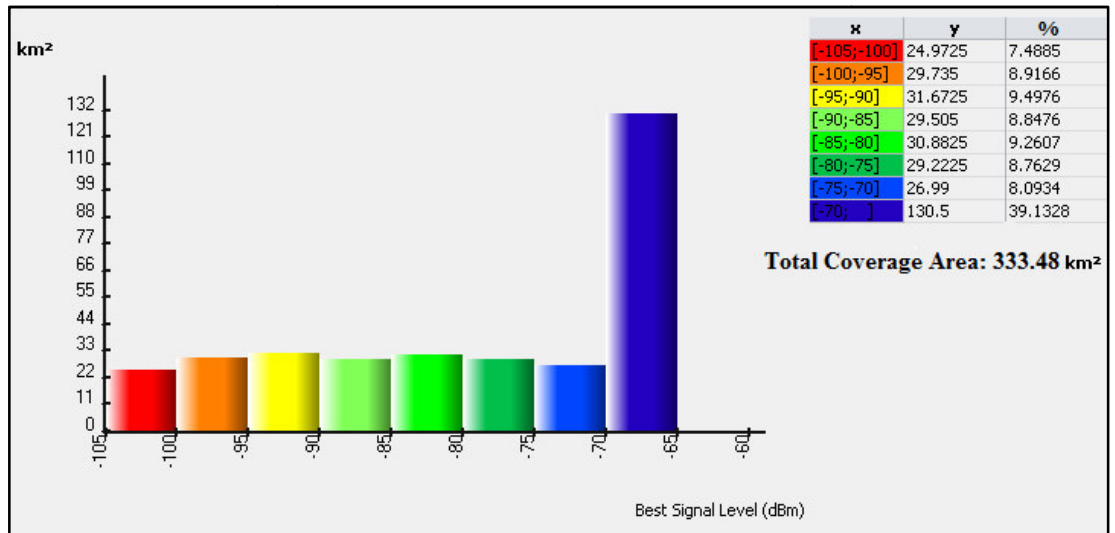
Şekil 4.13a : 900MHz frekans bandında COST-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.



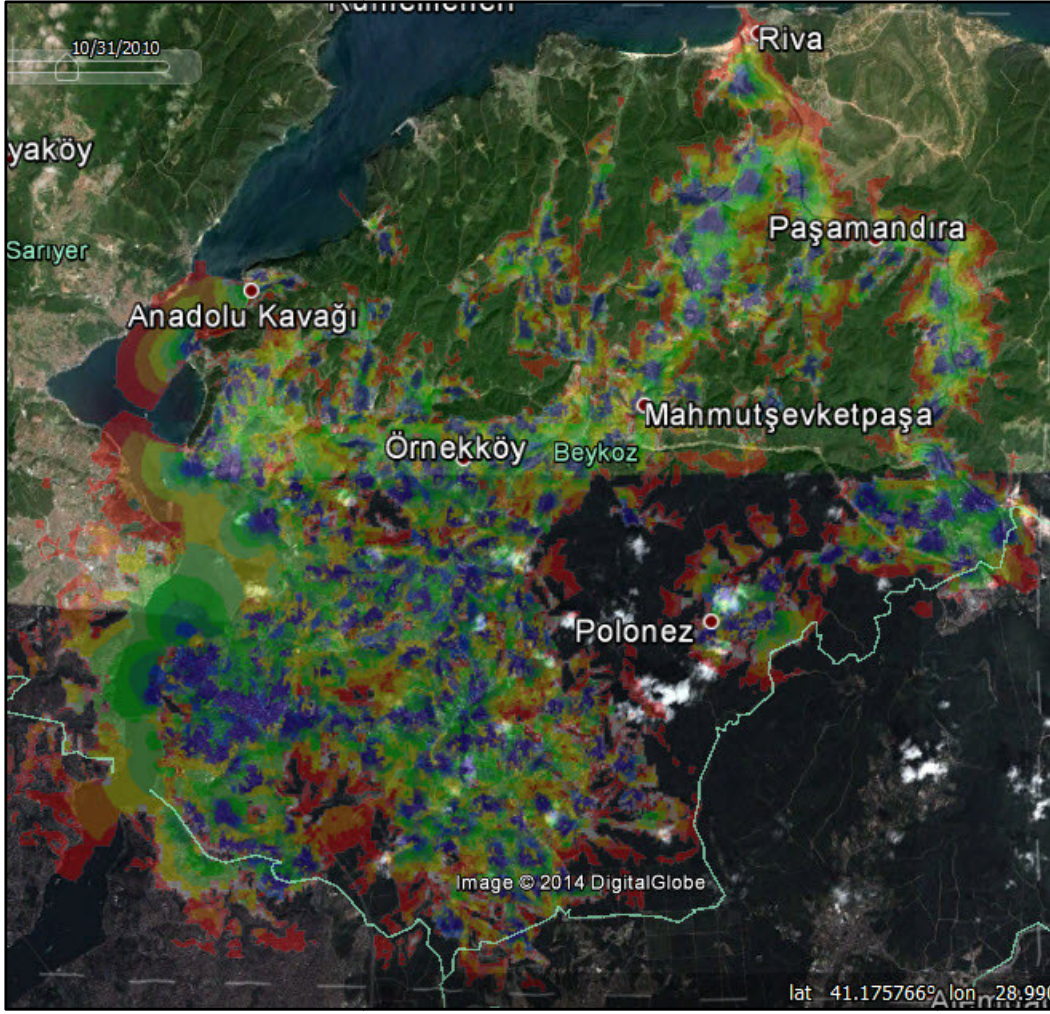
Şekil 4.13b : 900MHz frekans bandında COST-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.



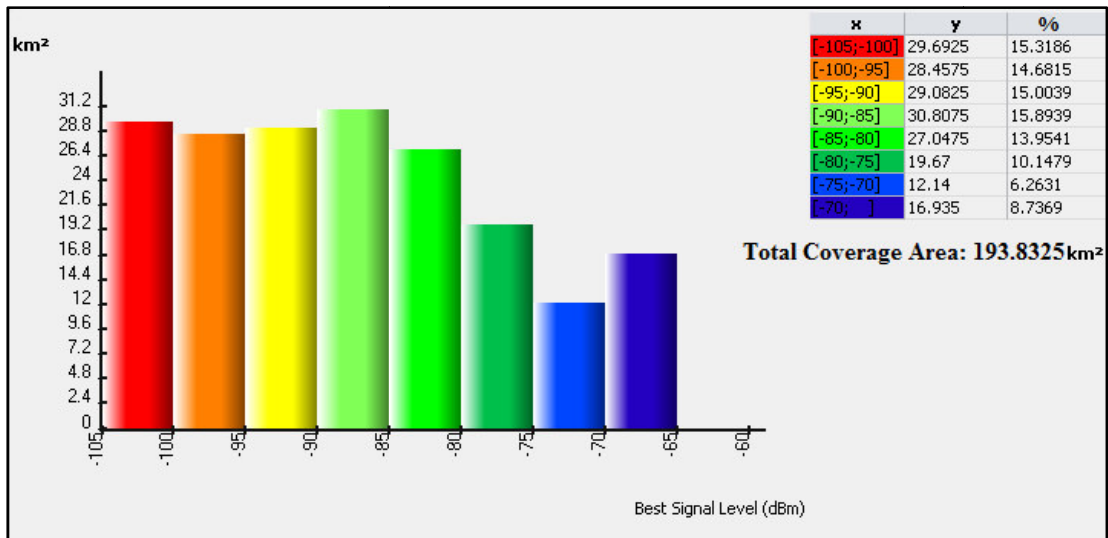
Şekil 4.14a : 900MHz frekans bandında Okumura-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.



Şekil 4.14b : 900MHz frekans bandında Okumura-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.



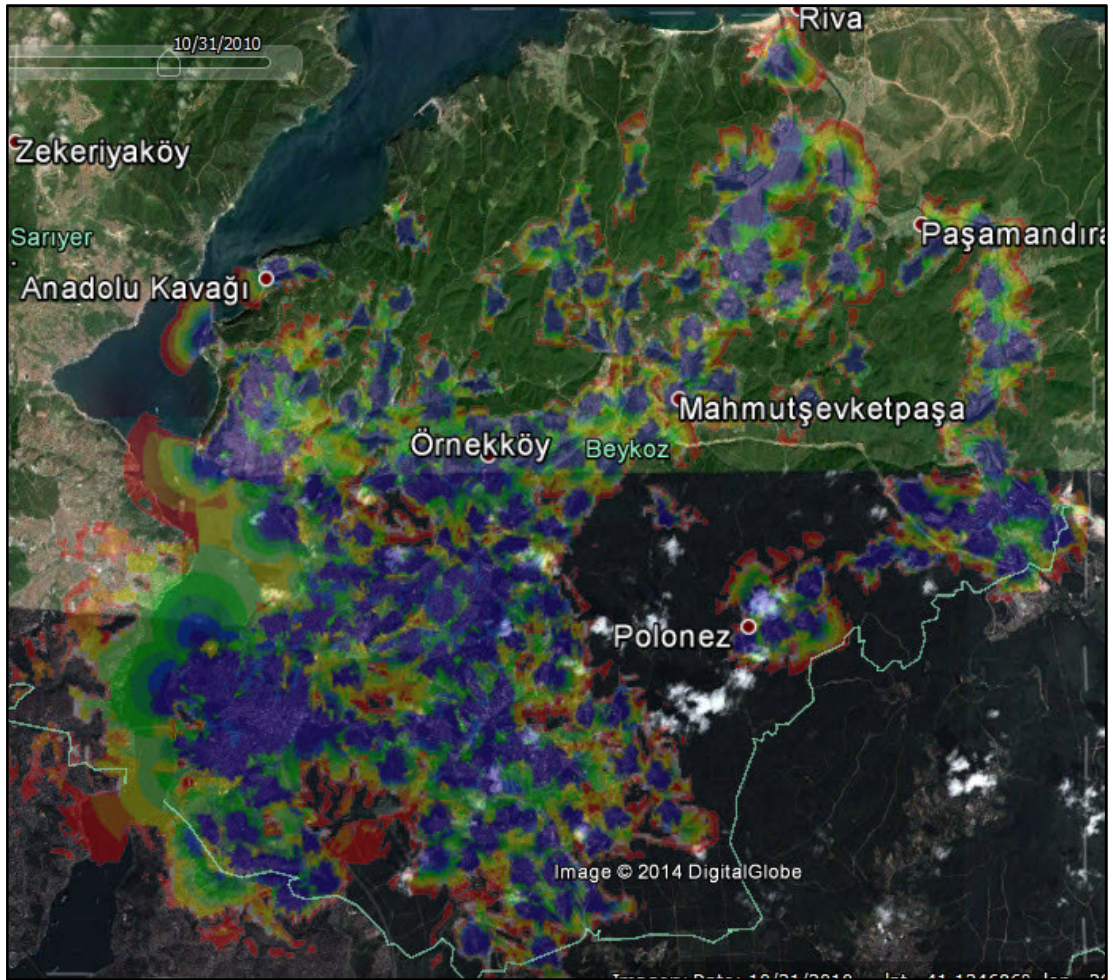
Şekil 4.15a : 900MHz frekans bandında SPM modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.



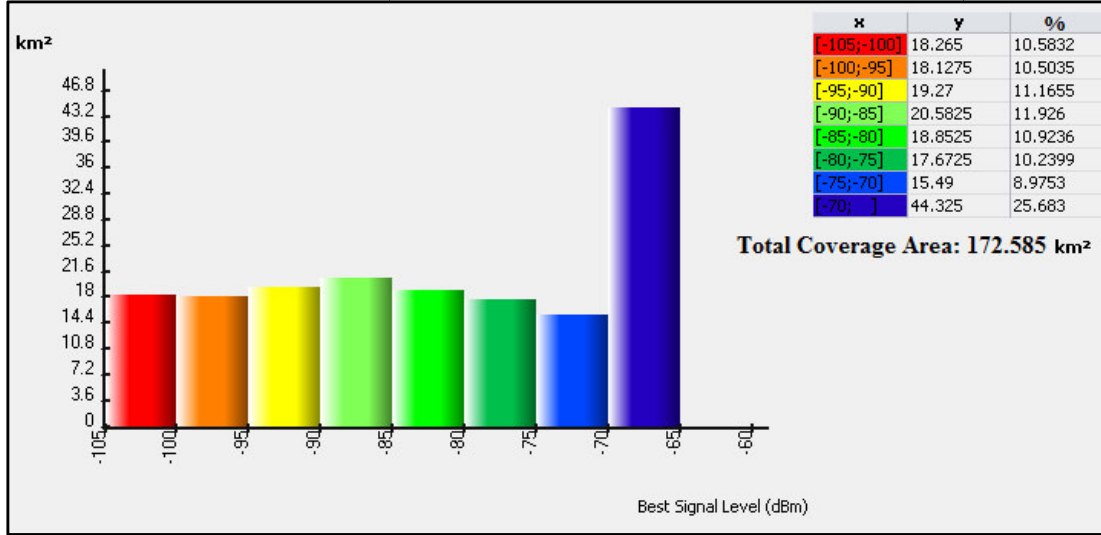
Şekil 4.15b : 900MHz frekans bandında SPM modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.

4.2.2 1800MHz frekans bandında yayılım modelleri ile kapsama alanının hesaplanması

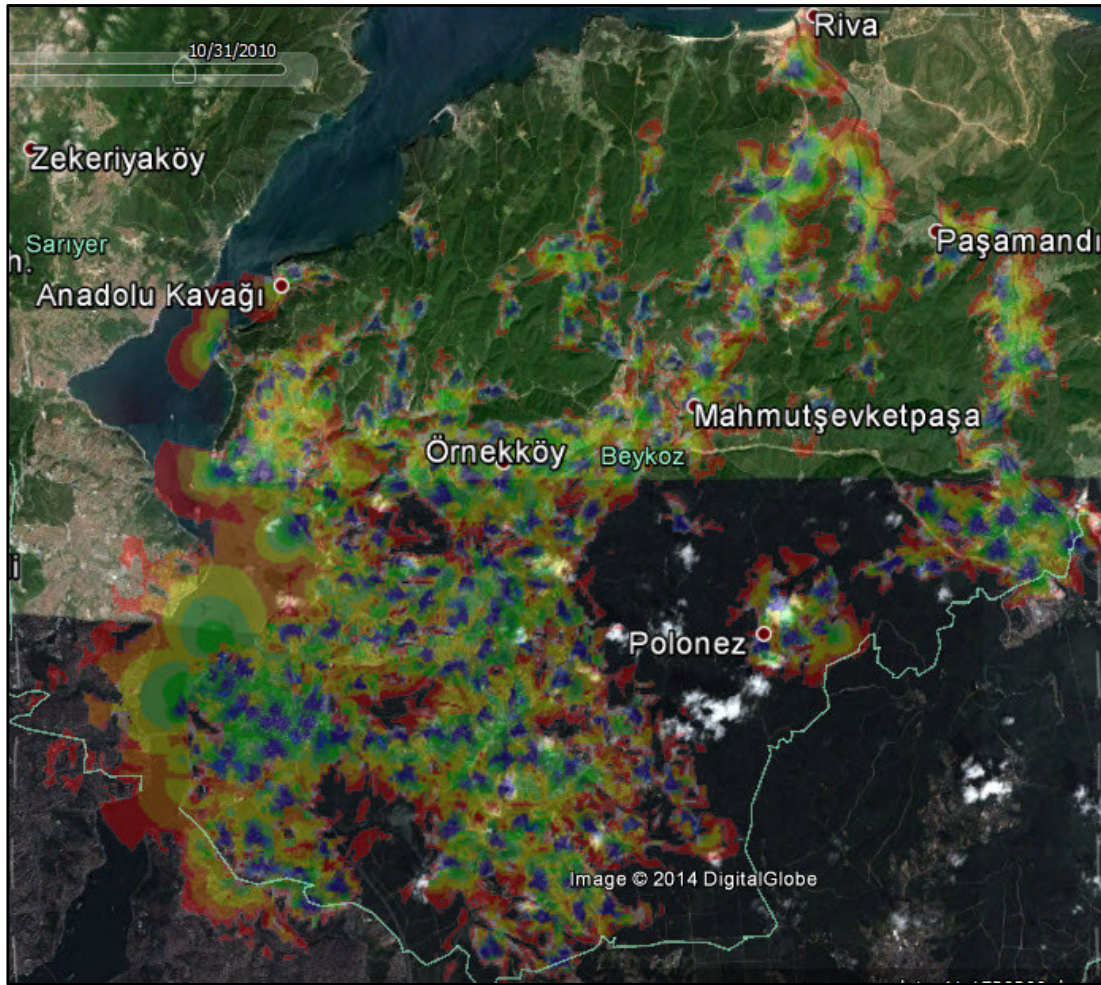
Atoll versiyon 3.1.2 taslağında 1800MHz frekans bandında aşağı yönde 4 derece elektriksel eğime sahip yönlü anten olmadığı için aşağı yönde 2 derece elektriksel eğime sahip antene aşağı yönde 2 derece mekanik eğim verilerek toplamda aşağı yönde eğimi 4 derece olan anten seçimi yapılmıştır. Atoll versiyon 3.1.2'ye ait anten taslaklarından seçilen şehirçi kapsamaya uygun aşağı yönde toplam 4 derece (2 derece elektrik ve 2 derece mekanik) eğime sahip antenlerin veritabanlarından sırasıyla SUI, COST-Hata, Okumura-Hata, SPM modelleri seçilerek 1800MHz frekans bandında kapsama alanı Şekil 4.11'deki sinyal seviyelerine ait renklendirme ile gösterilerek hesaplatılmıştır (Şekil 4.16a, Şekil 4.16b, 4.17a, 4.17b, 4.18a, 4.18b, 4.19a, 4.19b).



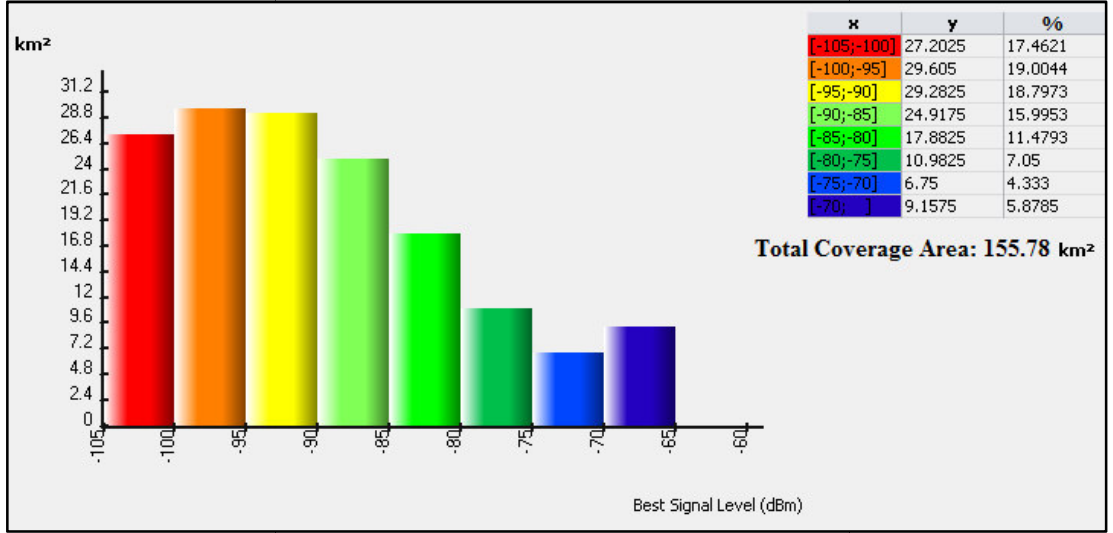
Şekil 4.16a : 1800MHz frekans bandında SUI modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.



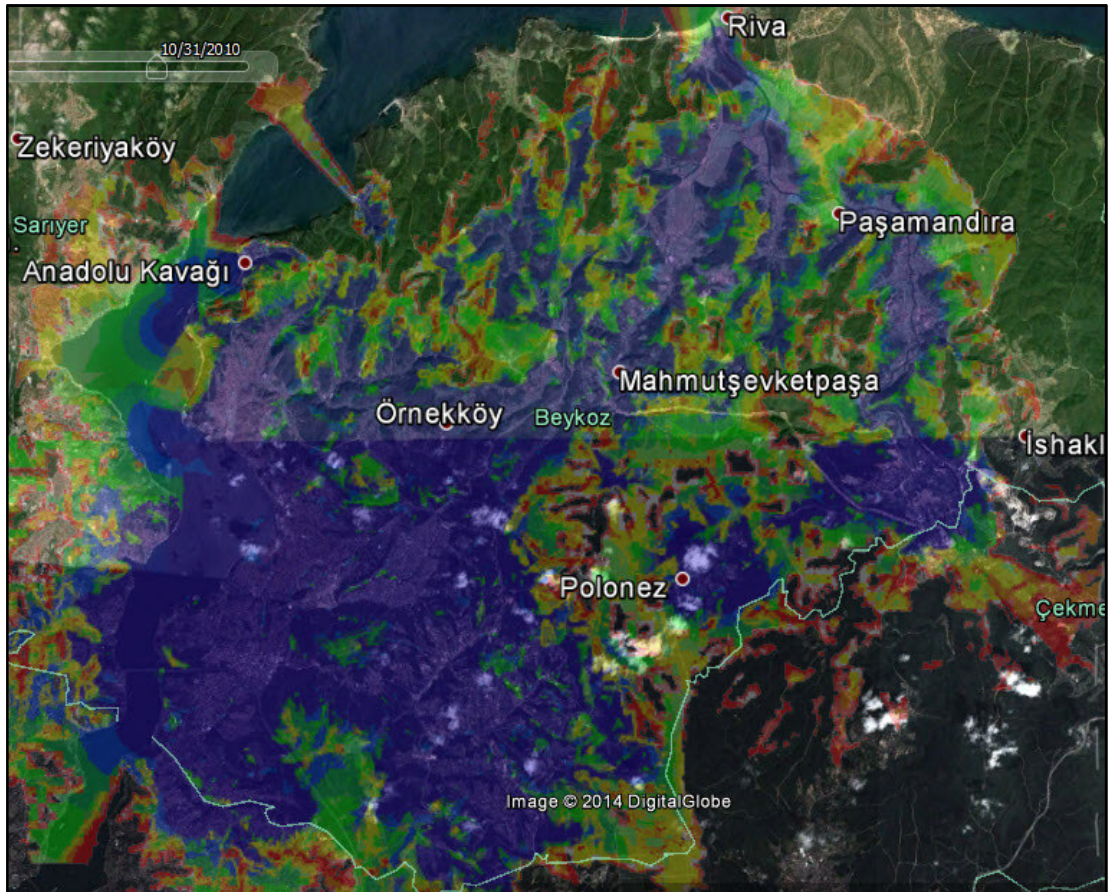
Şekil 4.16b : 1800MHz frekans bandında SUI modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.



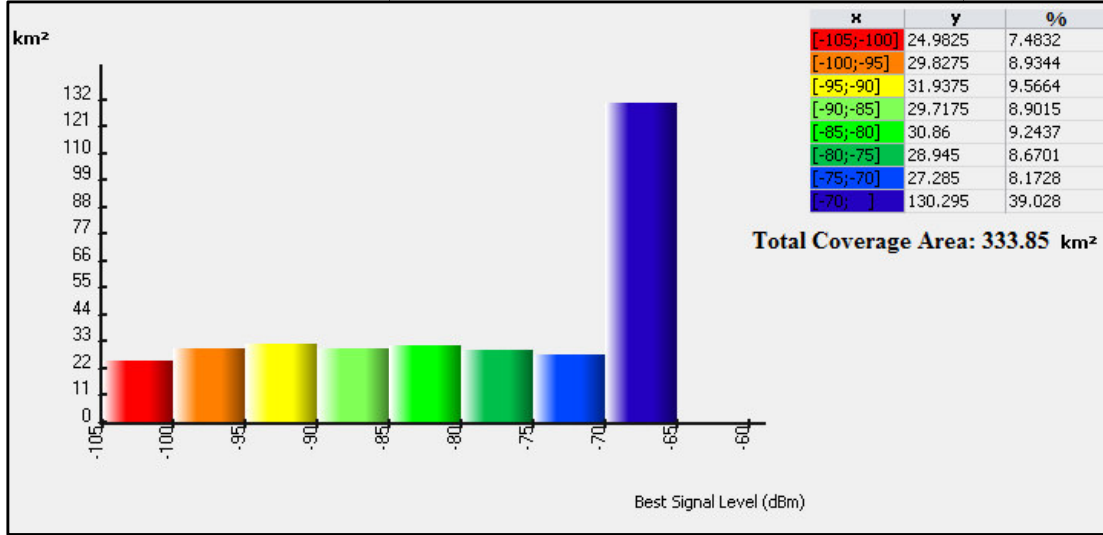
Şekil 4.17a : 1800MHz frekans bandında COST-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.



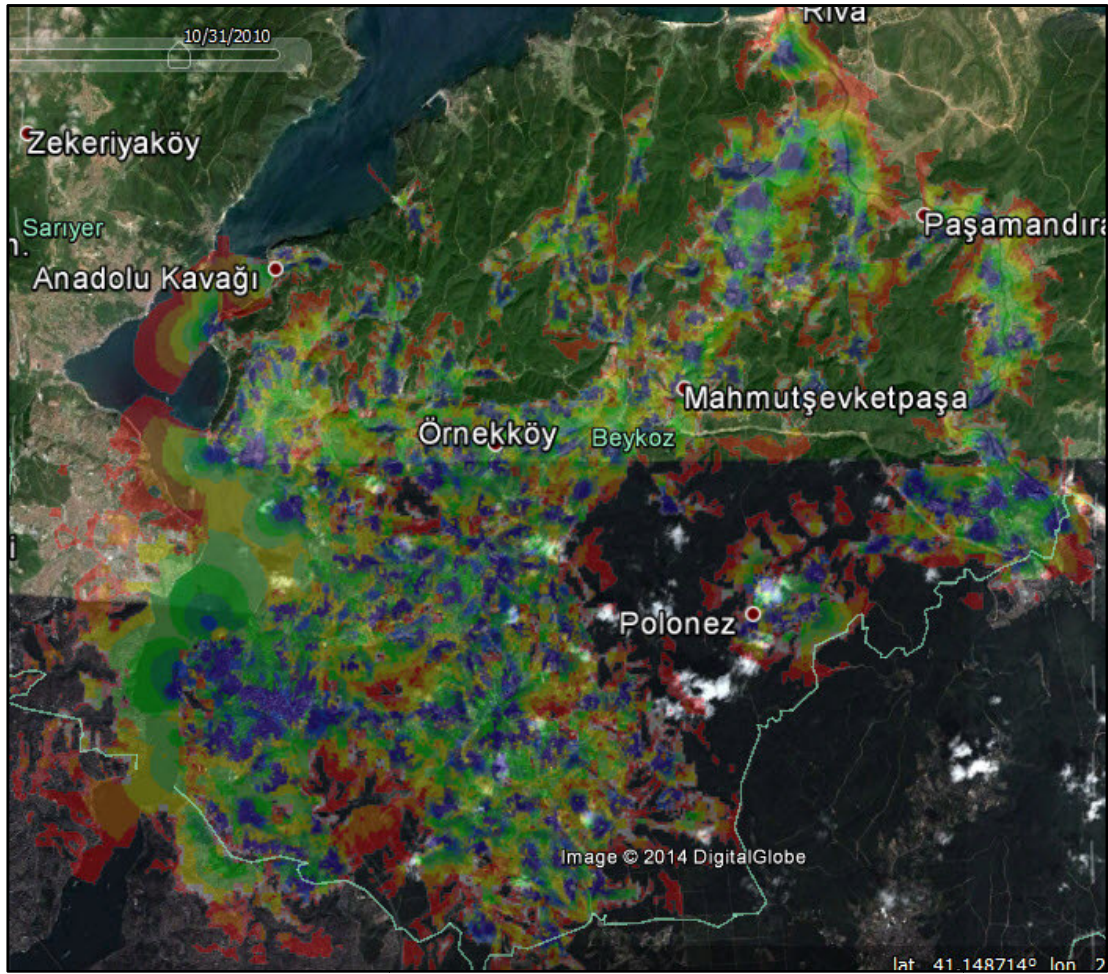
Şekil 4.17b : 1800MHz frekans bandında COST-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.



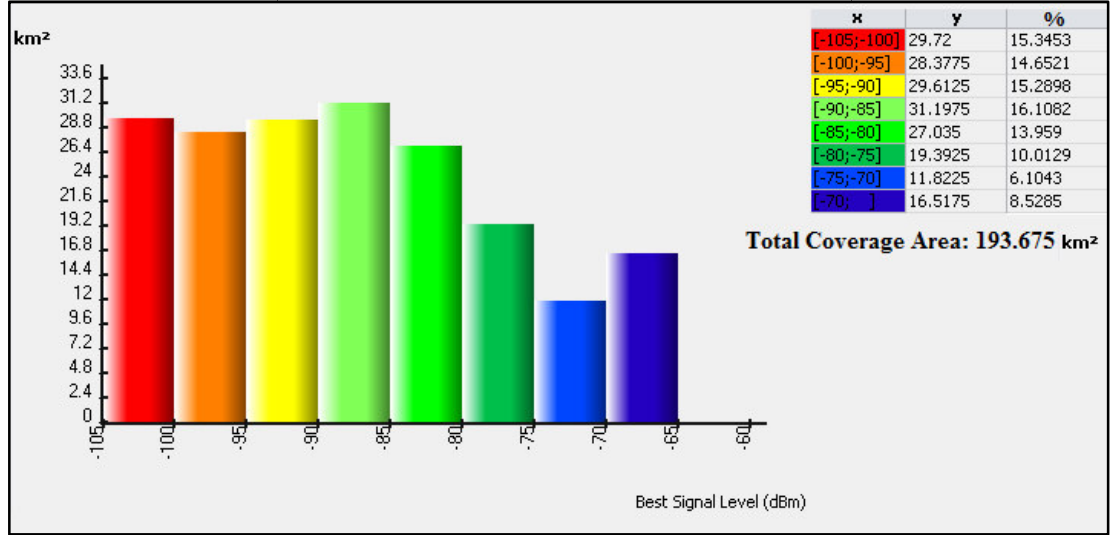
Şekil 4.18a : 1800MHz frekans bandında Okumura-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.



Şekil 4.18b : 1800MHz frekans bandında Okumura-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.



Şekil 4.19a : 1800MHz frekans bandında SPM modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.



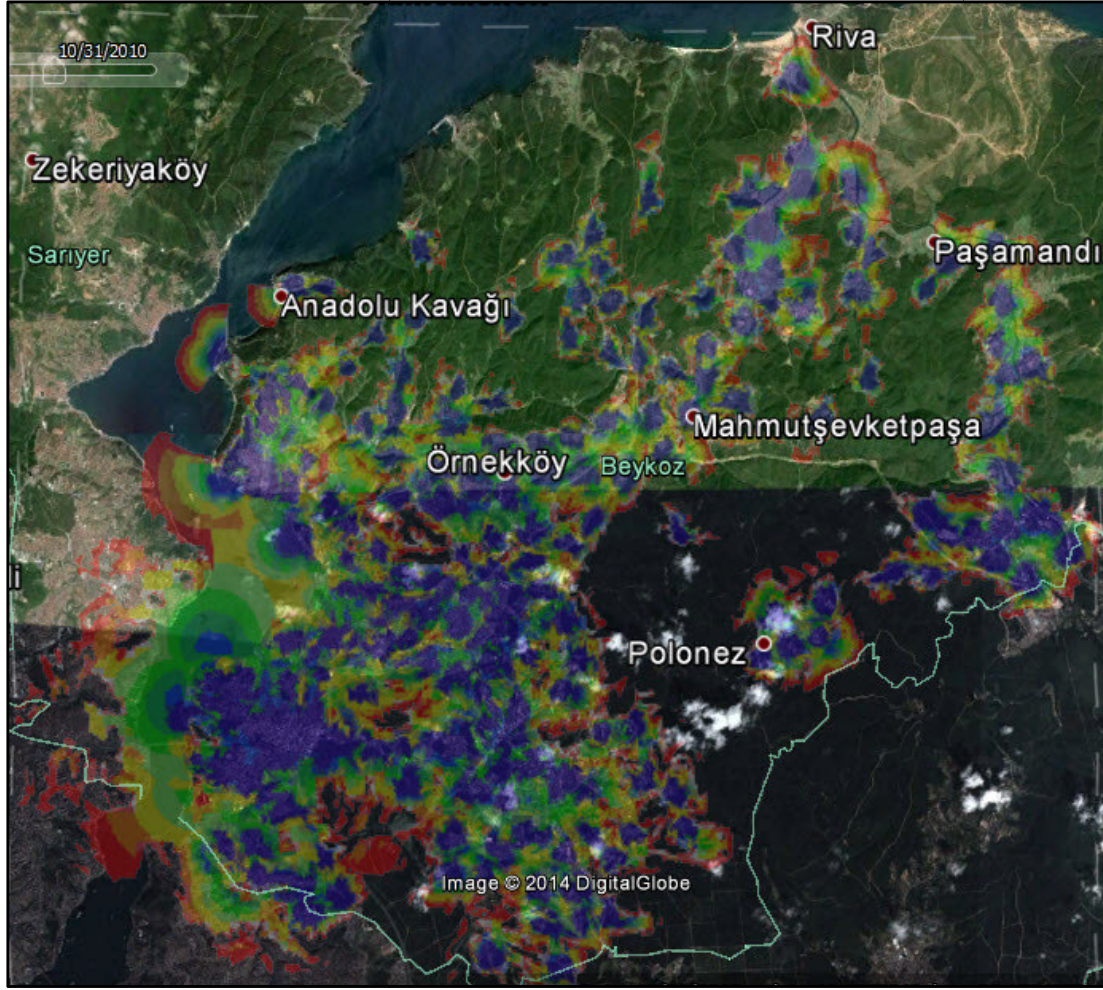
Şekil 4.19b : 1800MHz frekans bandında SPM modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.

1800MHz frekans bandında SUI, COST-Hata, Okumura-Hata ve SPM modellerine ait kapsama alanı simülasyonlarında seçilen tüm RF yayılım modelleri ile veritabanındaki yerleşim yerlerinin neredeyse tamamında RF kapsama sağlanmış durumdadır. Sinyal seviyesine göre kapsama alanlarının en iyi olduğu modeller sırasıyla Okumura-Hata, SPM, SUI ve son olarakta COST-Hata modelidir.

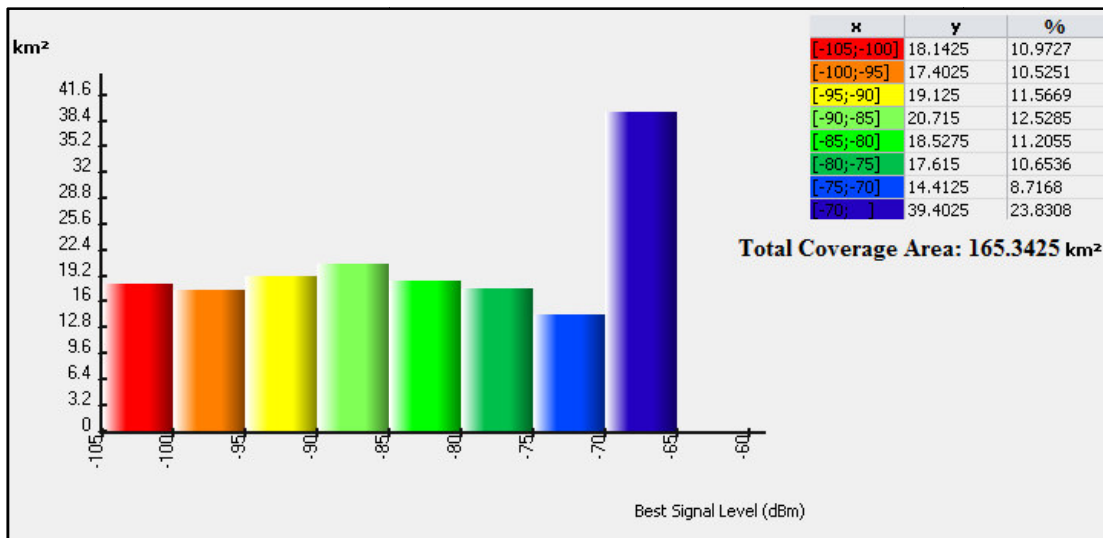
4.2.3 2100MHz frekans bandında yayılım modelleri ile kapsama alanının hesaplatılması

Atoll versiyon 3.1.2'ye ait anten taslaklarından seçilen şehiriçi kapsamaya uygun 4 derece aşağı yönde elektriksel eğime sahip antenlerin, veritabanlarından sırasıyla SUI, COST-Hata, Okumura-Hata, SPM modelleri seçilerek 2100MHz frekans bandında kapsama alanı Şekil 4.11'deki sinyal seviyelerine ait renklendirme ile gösterilerek hesaplatılmıştır (Şekil 4.20a, Şekil 4.20b, 4.21a, 4.21b, 4.22a, 4.22b, 4.23a, 4.23b).

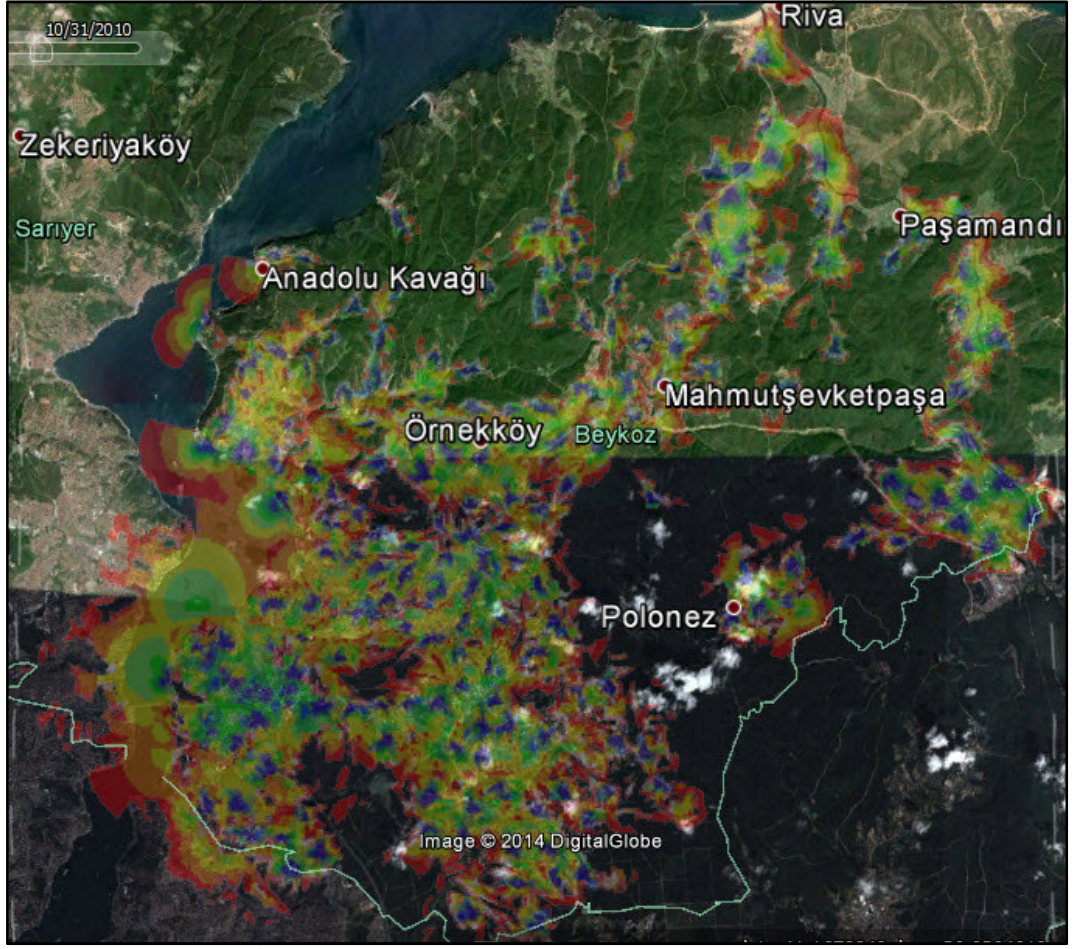
2100MHz frekans bandında SUI, COST-Hata, Okumura-Hata ve SPM modellerine ait kapsama alanı simülasyonlarında seçilen tüm RF yayılım modelleri ile veritabanındaki yerleşim yerlerinin neredeyse tamamında RF kapsama sağlanmış durumdadır. Sinyal seviyesine göre kapsama alanlarının en iyi olduğu modeller sırasıyla Okumura-Hata, SPM, SUI ve son olarakta COST-Hata modelidir.



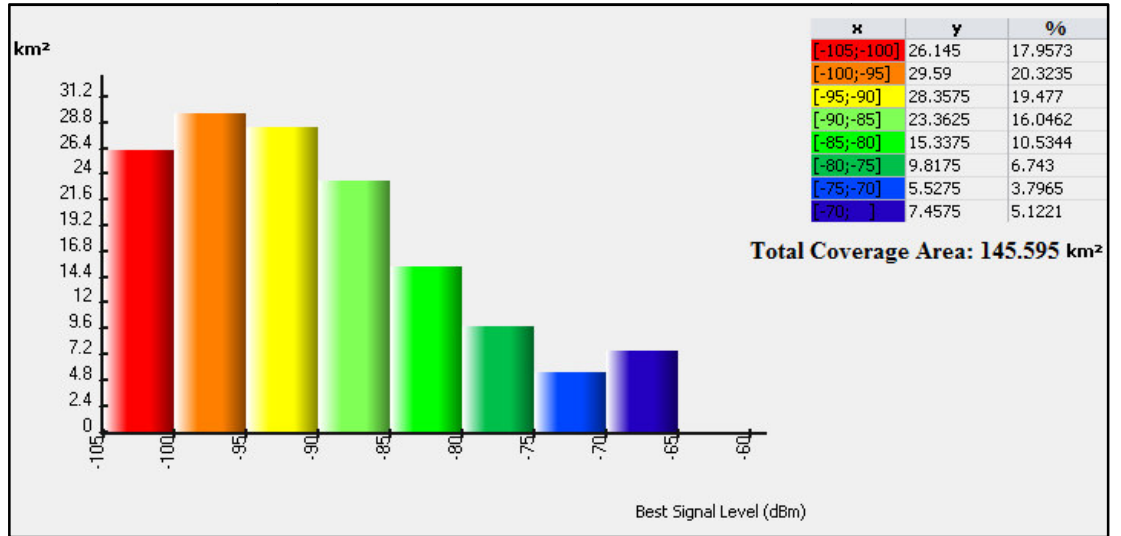
Şekil 4.20a : 2100MHz frekans bandında SUI modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.



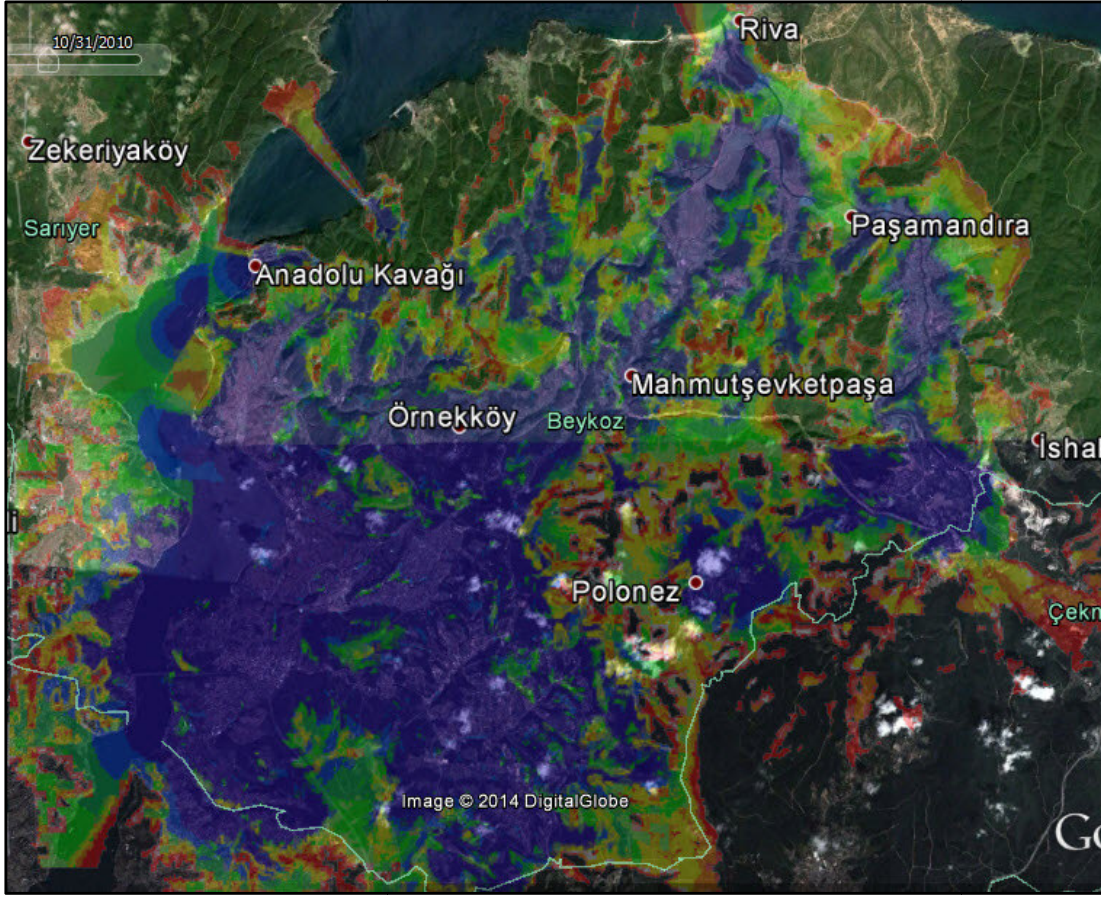
Şekil 4.20b : 2100MHz frekans bandında SUI modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.



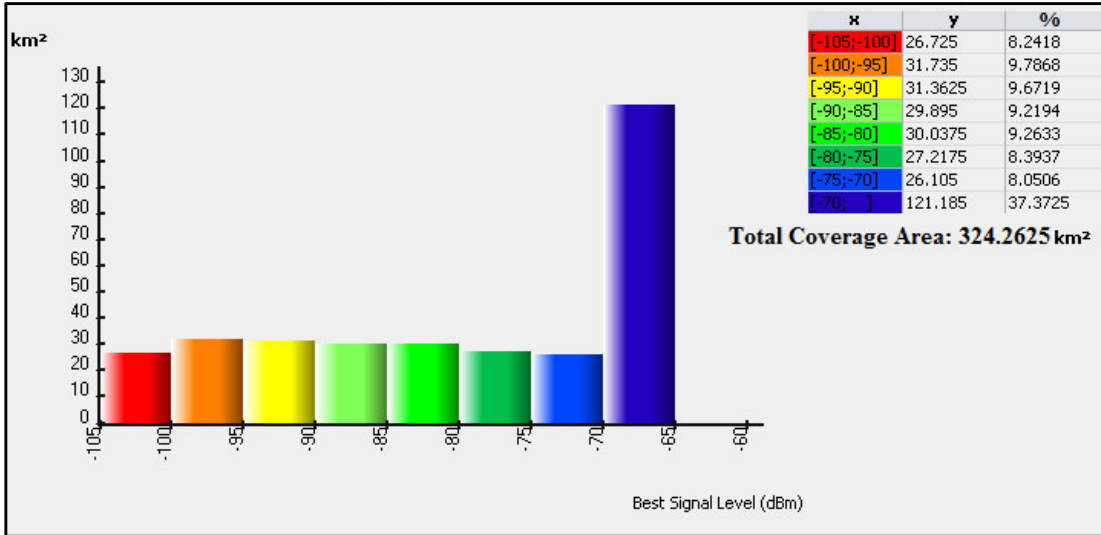
Şekil 4.21a : 2100MHz frekans bandında COST-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.



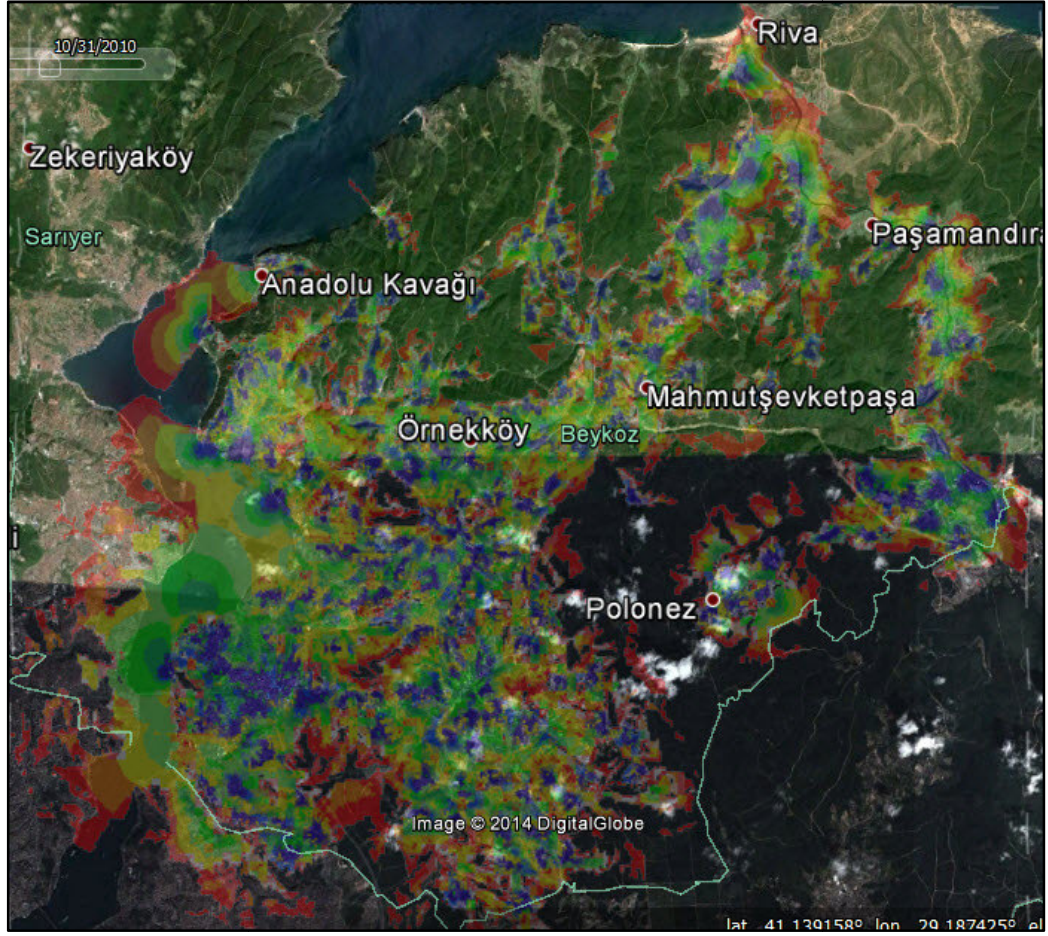
Şekil 4.21b : 2100MHz frekans bandında COST-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.



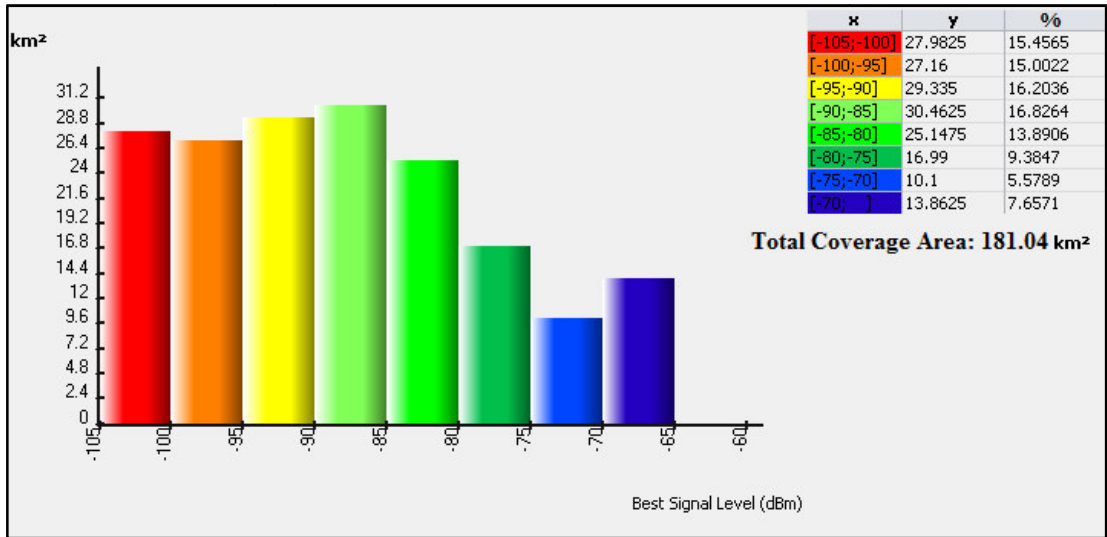
Şekil 4.22a : 2100MHz frekans bandında Okumura-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.



Şekil 4.22b : 2100MHz frekans bandında Okumura-Hata modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.



Şekil 4.23a : 2100MHz frekans bandında SPM modeli ile hesaplatılan kapsama alanı haritası.



Şekil 4.23b : 2100MHz frekans bandında SPM modeli ile hesaplatılan kapsama alanına ait grafik.

2100MHz frekans bandında SUI, COST-Hata, Okumura-Hata ve SPM modellerine ait kapsama alanı simülasyonlarında seçilen tüm RF yayılım modelleri ile veritabanındaki yerleşim yerlerinin neredeyse tamamında RF kapsama sağlanmış durumdadır. Sinyal seviyesine göre kapsama alanlarının en iyi olduğu modeller sırasıyla Okumura-Hata, SPM, SUI ve son olarakta COST-Hata modelidir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yüksek linsans tez çalışmasında coğrafi açıdan baz istasyonu lokasyonu seçimi zor olan Beykoz üzerinde çalışılmıştır. Beykoz'daki yapıların vektör formatında veritabanı oluşturularak BTK kriterlerine ve mobil haberleşmenin yapılacağı bölgenin coğrafi koşullarına bağlı kalınarak geliştirilen algoritma ile yazılan “Obje Oluşturma Aracı” ve “Saha Seçme Aracı” uygulamalarıyla en uygun baz istasyonu lokasyonlarının seçimi yapılmıştır. İstenilen kriterlere uygun sahaların seçilmesinde yönlendirici olabilecek “Obje Oluşturma Aracı” ve “Saha Seçme Aracı” uygulamaları bilgisayar ortamında çok kısa sürede sonuçlar vererek sahaya keşif için çıkan planlamacı mühendisler zaman kazandırması amaçlanmıştır.

BTK kriterleri, saha seçimini yapan planlamacı mühendislerin sahaların onayını alarak istasyonun aktif hale getirilmesinde çok etkilidir. Bu nedenle yazılan “Obje Oluşturma Aracı” ve “Saha Seçme Aracı” uygulamalarında BTK'nın belirlediği güvenlik mesafesi kriteri daha da ağırlaştırılarak en uygun sonuçlar alınmıştır. BTK'nın belirttiği güvenlik mesafesi kriteri için Formül 2.1 ile hesaplanan 32.47m'lik güvenlik mesafesi, sağlık kurumlarının ve hastanelerin etrafında halk tepkisinin oluşmaması için 350m olarak ayarlanmıştır. 2000 yılında İstanbul İl Çevre Müdürlüğü'nün yaptığı yazılı açıklamada BTK tarafından güvenlik mesafesine tabi tutulan eğitim ve sağlık kurumları da dahil olmak üzere akaryakıt istasyonlarına, dolmuş tesislerine, kamu binalarına ve parklara baz istasyonu kurulması yasaklandığı için veritabanından bu lokasyonlar silinerek “Saha Seçme Aracı” uygulaması tarafından baz istasyonu olarak seçilmesi engellenmiştir. Bu doğrultuda Beykoz'a ait yükseklik bilgilerinden yararlanılarak ve BTK ile İstanbul İl Çevre Müdürlüğü'ne ait kriterlere bağlı kalınarak “Saha Seçme Aracı” uygulaması ile en uygun baz istasyonu lokasyonları belirlenmiştir.

İleri haberleşme teknolojisi olan LTE teknolojisi baz alınarak her baz istasyonuna 120 derece aralıklarla yerleştirilmiş 3 antenin çevresinde şehir içinde uygun olan yarıçapı 300m olarak belirlenen kapsama alanı daireleri ile kapsama sağlanmıştır.

Atoll programında 900MHz, 1800MHz ve 2100 MHz frekans bandlarında SUI, COST-Hata, Okumura-Hata ve SPM modelleri ile kapsama alanı hesaplatılarak veritabanındaki yapıların olduğu bölgelerde saha seçimi için belirlenen lokasyonların doğru lokasyonlar olduğu gösterilmiştir.

1900MHz ve 2100MHz frekans bandlarında LTE teknolojisi için RF dalga SUI modelinde COST-231 Hata modeline göre şehir içinde daha az yol kaybı yaşamaktadır [35]. SUI modelinin COST-Hata 'ya göre daha iyi sinyal seviyesinde kapsama alanı hesapladığı Şekil 4.16b ile Şekil 4.17b'nin ve Şekil 4.20b ile Şekil 4.21b'nin -70dBm ve üzeri olan lacivert rengin kapsama alanları karşılaştırılarak görülebilir.

900MHz ve 1800MHz frekanslarında şehir içinde yapılan simülasyonlarda SUI modelinin COST 231 modellerine göre daha iyi sinyal seviyesinde kapsama alanı hesapladığı görülmüştür [36]. Bu sonuç Şekil 4.12b ile Şekil 4.13b'nin ve Şekil 4.16b ile Şekil 4.17b'nin aralarında kapsama alanlarının karşılaştırılmasıyla görülebilir. Özellikle Şekil 4.12b'nin ve Şekil 4.16b'nin Şekil 4.13b'ye ve Şekil 4.17b'ye göre -70dBm ve üzeri olan lacivert rengin kapsama alanı karşılaştırılabilir.

LTE teknolojisi için 1900MHz ve 2100MHz bandlarında şehir içinde RF dalga SPM modelinde COST-Hata modeline göre daha az yol kaybı yaşamaktadır [37]. Bu sonuç Şekil 4.17b ile Şekil 4.19b'nin ve Şekil 4.21b ile Şekil 4.23b'nin sinyal seviyesine göre belirtilen çeşitli renkteki kapsama alanlarının karşılaştırılmasıyla görülebilir.

LTE teknolojisi için 2300MHz frekans bandında 30m yüksekliğindeki antenler ile RF dalga Cost-231 modelinde SUI modeline göre daha az yol kaybı yaşamıştır [38]. Fakat daha düşük frekans bandı olan 2100MHz frekans bandında yapılan simülasyonlar sonucunda Şekil 4.21b ve Şekil 4.23b'nin kapsama alanlarının karşılaştırılmasıyla sinyal seviyesine göre kapsamanın Cost-Hata modelinde daha zayıf çıktığı görülmüştür.

Beykoz'da yapılan BTK kriterlerine ve İstanbul İl Çevre Müdürlüğü'üne bağlı kalınarak hazırlanan algoritma ile seçilen sahaların Atoll'da sinyal seviyesine göre çeşitli frekanslarda ve modellerde LTE kapsama alanlarının hesaplatılmasıyla veritabanındaki yapıların bulunduğu bölgelerin neredeyse tümünün kapsandığı görülmüştür.

Sonuç olarak bilgisayar ortamında hazırlanabilecek algoritmalar ile yazılan kodlar sonucunda oluşturulan uygulamalar ile saha seçimi yapılarak sahada keşif yapacak olan planlamacı mühendisler zaman kazandırılabilir. Böylece mühendislerin üzerindeki iş yükünün büyük bir kısmı alınarak bu iş yükünün yerini haberleşme kalitesini arttıracak optimizasyon çalışmalarına bırakılmasıyla yada müşteri şikayetlerine ait RF problemlere zaman ayrılmasıyla servis kalitesi artırılabilir.

Bu çalışmada coğrafi koşullara ve yapıların yoğunluğuna göre dolaylı olarak belirlenen nüfus bilgilerine bağlı kalınarak her baz istasyonu için aynı özelliklerdeki antenlerle sabit 300m yarıçaplı dairesel kapsama alanı belirlenecek şekilde saha seçimi yapılmıştır. Böylece yapıların yoğun olduğu yerlerde nüfusunda yoğun olacağı varsayılarak belirlenecek olan yatırım planıyla bütçe hedefleri konabilir aynı zamanda sahada keşif yapacak olan planlama mühendislerinin sahada kaybettiği zaman geliştirilen “Obje Oluşturma Aracı” ve “Saha Seçme Aracı” uygulamaları ile geri kazandırılabilir.

Daha gerçekçi sonuçlara ulaşmak için ilgili bölgedeki nüfus dağılımına ait bilgiler işlenerek bu doğrultuda bölgenin yükseklik bilgisiyle birlikte uygun saha seçimi yapılabilir.

Bundan sonraki çalışmalarda şehir içerisinde yada kırsalda yine coğrafi koşullara bağlı kalınarak fakat öncelikle nüfus dağılımına göre farklı kapasitedeki baz istasyonlarının farklı özellikteki antenleri kullanılarak oluşturulacak farklı kapsama alanlarıyla saha seçiminin yapılması hedeflenebilir. Böylece nüfusun az olacağı yerlerde ve nüfusun fazla olacağı yerlerde daha kullanışlı kapsama alanları belirlenerek oluşturulacak olan daha net modellemeler ile nüfusun yoğun olduğu yerlere daha keskin yatırım planlarının yapılması hedeflenebilir.

CBS'nin bu tür projeler için kolaylık ve ekonomik kazanç sağlayabileceği göz önüne alınarak ilgili şirketlerce araştırma ve geliştirme çalışmalarında kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Lu J., Zhu G., Ai B., (2010). *Optimizing Base Station Site Selection and Propagation Prediction for Railway Wireless Network*, Wireless Communication Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2010 6th International Conference, pp.1-4.
- [2] Liansun Z., Liang W., Chunling D., (2008). *Site Selection for Wireless Base Station Based on Map Partitioning*, Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008. WiCOM '08. 4th International Conference, pp.1-4.
- [3] Hurley S., (2000). *Automatic base station selection and configuration in mobile networks*, Vehicular Technology Conference, 2000.IEEE-VTC Fall VTC 2000, 52nd, Vol:6, pp.2585-2592.
- [4] Dolney J. T., Flarend R., (2012). *A GIS-Based Site Identification for the Seasonal Storage of Solar Heating: Promises and Pitfalls*, Transactions in GIS, Vol:17, pp.247-266.
- [5] Kalvenes J., Kennington J., Olinick E., (2006). *Base Station Location and Service Assignments in W-CDMA Networks*, INFORMS Journal on Computing, Vol:18, pp.336-376.
- [6] Berndt H., (2008). *Towards 4G technologies services with initiative*. John Wiley & Sons Ltd. Chippenham.
- [7] Nawrocki M.J., Dohler M., Aghvami A.H., (2006) *Understanding UMTS radio network modeling, planning and automated optimisation*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester.
- [8] Url-1 <<http://tr.wikipedia.org/wiki/1G>>, alındığı tarih: 08.02.2014
- [9] Büyükbaş A., (2005). *CDMA ve UMTS: Üçüncü nesil haberleşme teknolojilerinin karşılaştırılması, Türkiye önerisi*, (uzmanlık tezi), Ankara, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu.
- [10] Url-2 <<http://en.wikipedia.org/wiki/2G>>, alındığı tarih: 08.02.2014
- [11] Gülşen A., (2013). *900MHz ve 1800MHz frekans bandlarının gelecekteki kullanımı ve Türkiye analizi*,(teknik uzmanlık tezi), Ankara, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu.
- [12] Shukla A., Purwar D., Kumar D., (2011). *Mutiple access scheme for future (4G) communication: A comparision survey*, *International Symposium on Devices MEMS, Intelligent Systems & Communication (ISDMISC)*.
- [13] Url-3 <<http://en.wikipedia.org/wiki/3G>>, alındığı tarih: 08.02.2014
- [14] Url-4 <<http://en.wikipedia.org/wiki/4G>>, alındığı tarih: 08.02.2014
- [15] Url-5 <<http://www.cs.wustl.edu/~jain/cse574-08/ftp/lte/#Section5.0>>, alındığı tarih: 15.02.2014

- [16] Talukder Z.H., Islam S.S., Mahjabeen D., Ahmed A., Rafiqu S., Rashid M.A., (2013). *Cell Coverage Evaluation for LTE and WiMAX in Wireless Communication System*, World Applied Sciences Journal, Vol:22, pp.1486-1491.
- [17] Sauter M., (2009) *Beyond 3G - bringing networks, terminals and the web together – LTE, WiMAX, IMS, 4G devices and the mobile web 2.0*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester.
- [18] Prof. Dr. A. Arif Ergin, (2008).Anten Teorisi Lisans Ders Notları, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği.
- [19] Url-6 <<http://www.feko.info/applications/white-papers/designing-an-lte-base-station-antenna-with-the-finite-arrays-method/designing-an-lte-base-station-antenna-with-the-finite-arrays-method/view>>, alındığı tarih: 15.02.2014
- [20] Url-7 <http://www.kathrein.pl/down/technical_information.pdf>, alındığı tarih: 15.02.2014
- [21] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, (2011).*Elektrik-Elektronik Teknolojisi: Baz İstasyonu Montajı*, Ankara.
- [22] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, (2007).*Elektrik-Elektronik Teknolojisi: Kablosuz Ağ Sistemleri*, Ankara.
- [23] Özel G., (2013) *Baz istasyonlarının insanlar üzerindeki sağlık, sosyal ve psikolojik etkileri üzerine bir araştırma*, (idari uzmanlık tezi), Mersin, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu.
- [24] Url-8 <<http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs304/en/>>, alındığı tarih: 15.02.2014
- [25] Uçar N., (2009) *Avrupa ülkelerinde elektromanyetik alanlarla ilgili mevzuatlar ve uygulamalar raporu*, (rapor), Ankara, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu.
- [26] Url-9 <<http://hps.org/publicinformation/ate/faqs/cellphoneqa.html>>, alındığı tarih: 15.02.2014
- [27] BTK YÖNETMELİKLER (2011).
- [28] Musaoglu N., Tanık A., Kocabas V., (2005). *Identification of land-cover changes through image processing and associated impacts on water reservoir conditions*, Environmental Management, Vol.35, No.2, pp.220-230.
- [29] Url-10 <http://www.beykoz.bel.tr/beykoz/cografyasi_0121/>, alındığı tarih: 15.02.2014
- [30] Url-11 <<http://www.tuik.gov.tr/ilGostergeleri/iller/ISTANBUL.pdf>>, alındığı tarih: 01.03.2014
- [31] Url-12 <http://www.motorolasolutions.com/web/Business/Product%20Lines/Dimetra%20TETRA/Infrastructure/TETRA%20Base%20Stations/MST4L/EMEA/XU-EN/J1645_MTS4L_SpecSheet.pdf>, alındığı tarih: 01.03.2014

- [32] **Url-13** <<http://arsiv.ntvmsnbc.com/news/21860.asp>>, alındığı tarih: 01.03.2014
- [33] **Url-14** <http://www.awe-communications.com/Propagation/Rural/DLL/dll_forsk.htm>, alındığı tarih: 01.03.2014
- [34] **Snyder J.P.**, (1987) *Map Projections - A Working Manual*, United States Government Printing Office, Washington.
- [35] **Shabbir N., Sadiq M., Kashif H., Ullah R.**, (2011). *Comparision of Radio Propagation Models for Long Term Evolution (LTE) Network*, International Journal of Next-Generation Networks (IJNGN), Vol:3, No:3 pp.27-41.
- [36] **Sharma P., Singh R.**, (2010). *Comparative Analysis of Propagation Path Loss Models with Field Measured Data*, International Journal of Engineering Science and Technolohy, Vol:2, pp.2008-2013.
- [37] **Rani M., Behara S., Suresh K.**, (2012). *Comparision of Standard Propagation Model (SPM) and Stanfor University Interim (SUI) Radio Propagation Models for Long Term Evolution (LTE)*, International Journal of Agriculture Innovations and Research (IJAIR), pp.221-228.
- [38] **Kale S., Jadhav A.**, (2013). *An Empirically Based Path Loss Models for LTE Advanced Network and Modeling for 4G Wireless Systems at 2.4GHz, 2.6GHz and 3.5GHz*, International Journal of Application or Innovation in Engineering and Management (IJAIEM), Vol:2, pp.252-257.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Mert MARANGOZ

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul-Fatih / 25 Eylül 1988

Adres : Aydınvler Mah. Kırçıçeği Cad. Ay-Gül Apt. No:33. Daire:20 Maltepe/IST.

E-Posta: mertmarangoz@gmail.com; mmarangoz@itu.edu.tr

Lisans : Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, 2006-2010

Mesleki Deneyim ve Ödüller :

- LCC Telecommunication'da RAN Optimizasyon Mühendisi (2011-2012 / İstanbul)
- NCN Telecommunication üzerinden sözleşmeli olarak Huawei'de RAN Optimizasyon Mühendisi (2012 / Azerbaycan)
- PLANO Mühendislik'te RAN Optimizasyon Mühendisi (2012 - 2013 / İstanbul)
- PLANO Mühendislik üzerinden sözleşmeli olarak Vodafone'da Planlama ve Optimizasyon Uzman Mühendisi (2013 - Devam / Antalya)

Yayın ve Patent Listesi:

- **Marangoz M., Musaoğlu N.,** (2014), *Site Selection for Base Stations Based on a New Method*, ASPRS 2014 Annual Conference