

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

**MASLAK VE ŞİŞLİ LOKASYONLARINDA 4G SİNYAL GÜCÜNÜN  
HARİTALANDIRILMASI VE TOPOĞRAFYA İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Eyüp KAYA**

**İletişim Sistemleri Anabilim Dalı**

**Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şinasi KAYA**

**HAZİRAN 2019**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

**MASLAK VE ŞİŞLİ LOKASYONLARINDA 4G SİNYAL GÜCÜNÜN  
HARİTALANDIRILMASI VE TOPOĞRAFYA İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Eyüp KAYA  
(705141019)**

**İletişim Sistemleri Anabilim Dalı**

**Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şinasi KAYA**

**HAZİRAN 2019**



İTÜ, Bilişim Enstitüsü'nün 705141019 numaralı yüksek lisans öğrencisi Eyüp KAYA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “MASLAK VE ŞİŞLİ LOKASYONLARINDA 4G SİNYAL GÜCÜNÜN HARİTALANDIRILMASI VE TOPOĞRAFYA İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. Şinasi KAYA** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Cem GAZIOĞLU** .....  
İstanbul Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**      **06 Mayıs 2019**  
**Savunma Tarihi :**    **14 Haziran 2019**





*Eşime ve Aileme,*





## ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübelerini devamlı olarak aktaran, desteklerini esirgemeyen ve bu çalışmayı tamamlamamda büyük katkısı olan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Şinasi KAYA'ya sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Kendisinden aldığım derslerde ve bu tezi tamamlama sürecinde fikir ve görüşleriyle tezime katkı sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER'e teşekkür ederim.

Çalışmada gerçekleştirmiş olduğum rotaların oluşturulması ve verilerin toplanması konusunda fikir ve görüşleri ile bana destek olan başta Muzaffer GÖLCÜ ve Ramiz Erdem AYKAÇ olmak üzere General Mobile firmasının saygıdeğer Ar-Ge ekibine, Proje Donanım ekibine, Furkan KAZAZ'a ve Buse Nur TEK'e değerli desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında yanımda olan, hayatıma anlam ve değer katan değerli eşim Sevgi Seda Kaya'ya, her zaman fedakarlıkları ve desteklerinden dolayı başta anne ve babam olmak üzere tüm aileme sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs 2019

Eyüp KAYA  
Elektrik-Elektronik Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY .....	xix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. İSTANBUL MASLAK VE ŞİŞLİ BÖLGESİ TOPOĞRAFİK ANALİZLERİ</b>	<b>3</b>
<b>3. MOBİL TEKNOLOJİLERİN GELİŞİM SÜREÇLERİ.....</b>	<b>7</b>
3.1 Birinci Nesil Mobil Kablosuz Haberleşme: 1G .....	8
3.2 İkinci Nesil Mobil Kablosuz Haberleşme: 2G .....	10
3.3 Üçüncü Nesil Mobil Kablosuz Haberleşme: 3G.....	12
3.4 Dördüncü Nesil Mobil Kablosuz Haberleşme: 4G .....	13
<b>4. 4G HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİNİN İNCELENMESİ .....</b>	<b>17</b>
<b>5. YÖNTEM, UYGULAMA VE BULGULAR.....</b>	<b>29</b>
5.1 Rota 1 Toplanan Veriler ve Analizleri .....	36
5.2 Rota 2 Toplanan Veriler ve Analizleri .....	45
5.3 Rota 3 Toplanan Veriler ve Analizleri .....	53
5.4 Rotaların ve Toplanan Verilerin Genel Analizi ve Yorumlanması.....	66
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>73</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>75</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>77</b>



## **KISALTMALAR**

<b>AMPS</b>	: Advanced Mobile Phone System
<b>AuC</b>	: Authentication Center
<b>BS</b>	: Base Station
<b>BSC</b>	: Base Station Controller
<b>BSS</b>	: Base Station Subsystem),
<b>CDMA</b>	: Code Division Multiple Access
<b>EDGE</b>	: Enhanced Data Rates for GSM Evolution
<b>EIR</b>	: Equipment Identity Register
<b>EPC</b>	: Evolved Packet Core
<b>FDMA</b>	: Frequency Division Multiple Access
<b>FM</b>	: Frekans Modulasyonu
<b>GPRS</b>	: General Packet Radio Service
<b>GSM</b>	: Global System for Mobile Communications
<b>HLR</b>	: Home Location Register
<b>IMT</b>	: International Mobile Telecommunications
<b>ITU-R</b>	: International Telecommunications Union-Radio
<b>km</b>	: Kilometre
<b>LLC</b>	: Logical Link Control
<b>LOS</b>	: Line of Sight
<b>LTE</b>	: Long Term Evolution
<b>m</b>	: Metre
<b>MAC</b>	: Media Access Control
<b>MMS</b>	: Multimedia Message
<b>MS</b>	: Mobile Station
<b>MSC</b>	: Mobile Switching Center
<b>NSS</b>	: Network & Switching Subsystem
<b>OFDM</b>	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
<b>OSS</b>	: Operation & Support Subsystem
<b>QoS</b>	: Quality of Service
<b>PSTN</b>	: Public Switched Telephone Network
<b>RAN</b>	: Radio Access Network
<b>TDMA</b>	: Time Division Multiple Access
<b>UMTS</b>	: Universal Mobile Telecommunications System
<b>VLR</b>	: Visitor Location Register
<b>WiMAX</b>	: Worldwide Interoperability for Microwave Access



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 3.1: Mobil haberleşme nesillerinin karşılaştırılması. ....	16
Çizelge 4.1: 4G anten parametreleri. ....	23
Çizelge 5.1: Cihaz tanımlamaları. ....	31
Çizelge 5.2: Rota tanımlamaları. ....	33
Çizelge 5.3: Gün ve zaman tanımlamaları. ....	35
Çizelge 5.4: Operatör tanımlamaları. ....	36
Çizelge 5.5: Maslak ve İTÜ rota, operatör ve test cihazı tanımlamaları. ....	36
Çizelge 5.6: Şişli rotası, operatör ve test cihazı tanımlamaları. ....	36
Çizelge 5.7: r1.o1 toplanan veriler. ....	37
Çizelge 5.8: r1.o1 toplanan verilerin analizi. ....	37
Çizelge 5.9: r1.o2 toplanan veriler. ....	37
Çizelge 5.10: r1.o2 toplanan verilerin analizi. ....	38
Çizelge 5.11: r1.o3 toplanan veriler. ....	38
Çizelge 5.12: r1.o3 toplanan verilerin analizi. ....	39
Çizelge 5.13: Rota 1 sinyal gücü kırılımı. ....	39
Çizelge 5.14: r2.o1 toplanan veriler. ....	45
Çizelge 5.15: r2.o1 toplanan verilerin analizi. ....	46
Çizelge 5.16: r2.o2 toplanan veriler. ....	46
Çizelge 5.17: r2.o2 toplanan verilerin analizi. ....	47
Çizelge 5.18: r2.o3 toplanan veriler. ....	47
Çizelge 5.19: r2.o3 toplanan verilerin analizi. ....	47
Çizelge 5.20: Rota 2 sinyal gücü kırılımı. ....	48
Çizelge 5.21: r3.o1 toplanan veriler. ....	53
Çizelge 5.22: r3.o1 toplanan verilerin analizi. ....	54
Çizelge 5.23: r3.o2 toplanan veriler. ....	54
Çizelge 5.24: r3.o2 toplanan verilerin analizi. ....	55
Çizelge 5.25: r3.o3 toplanan veriler. ....	55
Çizelge 5.26: r3.o3 toplanan verilerin analizi. ....	56
Çizelge 5.27: Rota 3 / Gün 1 sinyal gücü kırılımı. ....	56
Çizelge 5.28: Rota 3 / Gün 2 sinyal gücü kırılımı. ....	62
Çizelge 5.29: Operatör ve rota bazlı toplam baz istasyonu sayıları. ....	66
Çizelge 5.30: Operatörlerin sinyal gücü ortalamaları. ....	67
Çizelge 5.31: Rota 1 / Cihaz 1 top 5 en iyi ve en kötü sinyal seviyesi lokasyon, sinyal gücü ve yükseklik bilgileri. ....	69
Çizelge 5.32: Rota 2 / Cihaz 1 top 5 en iyi ve en kötü sinyal seviyesi lokasyon, sinyal gücü ve yükseklik bilgileri. ....	70
Çizelge 5.33: Rota 3 / Gün 1 top 5 en iyi ve en kötü sinyal seviyesi lokasyon, sinyal gücü ve yükseklik bilgileri. ....	71
Çizelge 5.34: Rota 3 / Gün 2 top 5 en iyi ve en kötü sinyal seviyesi lokasyon, sinyal gücü ve yükseklik bilgileri. ....	72





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1: Birinci nesil mobil haberleşme mimarisi.....	9
Şekil 3.2: İkinci nesil GSM mimarisi. ....	11
Şekil 3.3: Üçüncü nesil mobil haberleşme mimarisi (Korhonen, 2003).....	13
Şekil 3.4: LTE ağ mimarisi (Singh ve Singh, 2016).....	15
Şekil 4.1: IEEE 802.16 standartı protokol şeması (IEEE, 2002).....	18
Şekil 4.2: Her yöne ışına yapan antenler kullanılarak büyük hücreler ve tekrarlı frekans kullanımı yapan hücreleri planlanması (Harris, 2011).....	19
Şekil 4.3: 4G mobil haberleşmede röle mimarisi (Mineli vd., 2013).....	21
Şekil 4.4: Yönlü ve yönsüz antenlere ait ışına örüntüleri (Amine ve Khireddine, 2017).....	22
Şekil 4.5: Baz istasyonu ve mobil kullanıcı Arasındaki açı ve uzaklık (Amine ve Khireddine, 2017).....	24
Şekil 4.6: Baz istasyonları arasındaki downlink enterferansı (Amine ve Khireddine, 2017).....	25
Şekil 4.7: Mobil hücrelerde veri trafiği yoğunlaşması. ....	26
Şekil 4.8: Mobil hücrelerde uyku modu uygulaması.....	27
Şekil 5.1: Türkiye’de faaliyet yürüten mobil haberleşme şirketlerine ait frekans spektrumları.....	30
Şekil 5.2: Veri toplama görüntüsü. ....	31
Şekil 5.3: Baz istasyonu noktası-1.....	32
Şekil 5.4: Baz istasyonu noktası-2.....	32
Şekil 5.5: Baz istasyonu noktası-3.....	33
Şekil 5.6: Rota 1 / Maslak lokasyonu uydu görüntüsü. ....	34
Şekil 5.7: Rota 2 / İTÜ Kampüs lokasyonu uydu görüntüsü. ....	34
Şekil 5.8: Rota 3 / Şişli lokasyonu uydu görüntüsü.....	35
Şekil 5.9: Rota 1 / Turkcell sinyal gücü haritası.....	40
Şekil 5.10: Rota 1 / Turkcell operatörü sinyal gücü dağılımı.....	40
Şekil 5.11: Rota 1 / Turkcell / Cihaz 1 sinyal gücü ile yükseklik ilişkisi grafiği. ....	41
Şekil 5.12: Rota 1 / Vodafone sinyal gücü haritası. ....	42
Şekil 5.13: Rota 1 / Vodafone operatörü sinyal gücü dağılımı.....	42
Şekil 5.14: Rota 1 / Vodafone / Cihaz 1 sinyal gücü ile yükseklik ilişkisi grafiği. ....	43
Şekil 5.15: Rota 1 / Türk Telekom sinyal gücü haritası. ....	44
Şekil 5.16: Rota 1 / Türk Telekom operatörü sinyal gücü dağılımı. ....	44
Şekil 5.17: Rota 1 / Türk Telekom / Cihaz 1 sinyal gücü ile yükseklik ilişkisi grafiği. ....	45
Şekil 5.18: Rota 2 / Turkcell sinyal gücü haritası.....	48
Şekil 5.19: Rota 2 / Turkcell operatörü sinyal gücü dağılımı.....	49
Şekil 5.20: Rota 2 / Turkcell / Cihaz 1 sinyal gücü ile yükseklik ilişkisi grafiği. ....	49
Şekil 5.21: Rota 2 / Vodafone sinyal gücü haritası. ....	50

<b>Şekil 5.22:</b> Rota 2 / Vodafone operatörü sinyal gücü dağılımı.....	<b>51</b>
<b>Şekil 5.23:</b> Rota 2 / Vodafone / Cihaz 1 sinyal gücü ile yükseklik ilişkisi grafiği. ....	<b>51</b>
<b>Şekil 5.24:</b> Rota 2 / Türk Telekom sinyal gücü haritası. ....	<b>52</b>
<b>Şekil 5.25:</b> Rota 2 / Türk Telekom operatörü sinyal gücü dağılımı. ....	<b>52</b>
<b>Şekil 5.26:</b> Rota 2 / Türk Telekom / Cihaz 1 sinyal gücü ile yükseklik ilişkisi grafiği. .....	<b>53</b>
<b>Şekil 5.27:</b> Rota 3 / Gün 1 / Turkcell sinyal gücü haritası.....	<b>57</b>
<b>Şekil 5.28:</b> Rota 3 / Gün 1 / Turkcell operatörü sinyal gücü dağılımı. ....	<b>57</b>
<b>Şekil 5.29:</b> Rota 3 / Turkcell / Gün 1 / Öğleden Önce / Cihaz 3 sinyal gücü ile yükseklik ilişkisi grafiği. ....	<b>58</b>
<b>Şekil 5.30:</b> Rota 3 / Gün 1 / Vodafone sinyal gücü haritası.....	<b>59</b>
<b>Şekil 5.31:</b> Rota 3 / Gün 1 / Vodafone operatörü sinyal gücü dağılımı.....	<b>59</b>
<b>Şekil 5.32:</b> Rota 3 / Vodafone / Gün 1 / Öğleden Önce / Cihaz 1 sinyal gücü ile yükseklik ilişkisi grafiği. ....	<b>60</b>
<b>Şekil 5.33:</b> Rota 3 / Gün 1 / Türk Telekom sinyal gücü haritası. ....	<b>61</b>
<b>Şekil 5.34:</b> Rota 3 / Gün 1 / Türk Telekom operatörü sinyal gücü dağılımı. ....	<b>61</b>
<b>Şekil 5.35:</b> Rota 3 / Türk Telekom / Gün 1 / Öğleden Önce / Cihaz 2 sinyal gücü ile yükseklik ilişkisi grafiği. ....	<b>62</b>
<b>Şekil 5.36:</b> Rota 3 / Gün 2 / Turkcell sinyal gücü haritası.....	<b>63</b>
<b>Şekil 5.37:</b> Rota 3 / Gün 2 / Turkcell operatörü sinyal gücü dağılımı. ....	<b>64</b>
<b>Şekil 5.38:</b> Rota 3 / Gün 2 / Vodafone sinyal gücü haritası.....	<b>64</b>
<b>Şekil 5.39:</b> Rota 3 / Gün 2 / Vodafone operatörü sinyal gücü dağılımı.....	<b>65</b>
<b>Şekil 5.40:</b> Rota 3 / Gün 2 / Türk Telekom sinyal gücü haritası. ....	<b>65</b>
<b>Şekil 5.41:</b> Rota 3 / Gün 2 / Türk Telekom operatörü sinyal gücü dağılımı. ....	<b>66</b>

## MASLAK VE ŞİŞLİ LOKASYONLARINDA 4G SİNYAL GÜCÜNÜN HARİTALANDIRILMASI VE TOPOĞRAFYA İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ

### ÖZET

Günümüzde hızla gelişme gösteren teknolojilerin en başında mobil ürünlere ait teknolojiler yer almaktadır. Mobil ürünler kategorisinde kuşkusuz en teknolojik ve tüketiciler tarafından en çok tercih edilen ürünler akıllı telefonlardır. Akıllı telefon sektörü sürekli olarak gelişme ve değişim gösteren bir sektördür. Özellikle bu sektördeki gelişmeler kullanıcıların daha hızlı veri indirme/yükleme sunması, uzun batarya ömrü, yüksek çözünürlük ve net görüntü sunan ekranlar, daha kaliteli fotoğraf ve video kalitesi sunan kameralara yöneliktir. Her yeni teknolojinin entegre edilmesiyle akıllı telefonlara yönelik hizmet veren diğer sektörlerinde bu teknolojik gelişmeleri takip etmesi ve bunlara yönelik çalışmalar yapmasını gerektirmektedir. Bu teknolojik gelişmelerden biride baz istasyonları konusundadır. Baz istasyonlarının geliştirilmesi için kapsama alanlarının, verimliliğinin ve kapasitesinin artırılması gibi konular üzerinde çalışılmaktadır.

4G teknolojisinin Türkiye’de ilk olarak Nisan 2016 yılında hizmete sunulmasından daha öncesinde 4G teknolojisini destekleyen akıllı telefonlar kullanıcılara satışa sunulmuştu. Daha sonrasında operatörlerin alt yapılarındaki teknolojik değişiklikler konusunda ilgili yatırımları yapması ve hayata geçirmesi sonrasında kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Bu yatırımlar yeni, teknolojik ve yüksek maliyetli yatırımlar olması sebebiyle ilk olarak yoğun nüfusa sahip şehirlerden başlayarak Türkiye’nin diğer şehirlerine kademeli olarak yayılmıştır. 4G servislerinin büyükşehirlerin büyük bir kısmında kapsama alanları olmasına rağmen henüz küçük şehirlerde ve büyük şehirlerin taşra kısımlarında kapsama alanı genellikle bulunmamaktadır. Bu sebepten ötürü kullanıcılar bu bölgelerde ciddi seviyede 4G servislerinde yararlanamıyorlar veya 3G hızları seviyelerinde hizmete sahip oluyorlar.

Bu çalışmada veri indirme/yükleme hızı ve performansını direkt olarak etkileyen sinyal gücü seviyesi konusu incelenmiştir. Sinyal gücü seviyeleri kullanılan akıllı telefonda yer alan işlemci ve modem tümleşik devrelerinin özellikleri dahilinde indirme/yükleme hızlarına ulaşmaktadır. Günümüzde akıllı telefonların büyük bir bölümü altyapı hizmeti sunan operatörlerin sunmuş oldukları hızların çok daha üstü veri indirme/yükleme hızına sahiptirler. Sinyal gücü seviyesinin bağlı olduğu diğer bir önemli hususta operatörler tarafından kurulan baz istasyonlarıdır. Bu çalışma ile İstanbul şehrinin Maslak, Şişli ve İTÜ Ayazağa kampüsü lokasyonlarında tüm operatörlerin sinyal gücü verilerini toplayarak seviyelerinin incelenmesi, karşılaştırılması, haritalandırılması ve topoğrafya ile ilişkilendirmesi hedeflenmektedir.



## **MAPPING OF 4G SIGNAL STRENGTH IN MASLAK AND ŞİŞLİ LOCATIONS AND RELATIONSHIP WITH TOPOGRAPHY**

### **SUMMARY**

Mobile technologies play a major part in today's rapidly improving technologies. In mobile devices category, the most technological and preferred devices by costumers are inargubly smartphones. Smartphone sector is a sector which is all the time showing development and change. Especially the developments in this sector is aimed at offering faster downloading or uploading data to customers, longer battery life, high quality of resolution, screens offering 'clear' display, more qualified photograph and video. Because of the fact that every new technology is being entegrated, other areas which give service in terms of smart phones have to follow these technological developments and make researches on these topics. One of these technological developments is about base stations. The development of coverage areas, efficiency and capacity for the development of base stations is being studied.

4G supporting smartphones had been promoted to customers long before 4G technology was introduced for the first time in April, 2016 in Turkey. Afterwards, it was introduced to customers when the operators were done making relevant investments to technological changes in their altyapis and making it real. These investments, due to being new, technological and high costed investments, were grown rapidly to the other cities of Turkey, starting with the cities which have got the highest population. Although the 4G services have coverage in a large part of the metropolitan areas, there is still no coverage in small cities and in rural areas of major cities. For this reason, users are often not able to use 4G services in these areas or have speed and service at 3G levels.

The sources of the signals received by the mobile devices are base stations located in regions determined by the operators. For locations where base stations will be located, operators are taken into consideration some issues. For example; population density in the region by the operator, the number of customers belonging to the operator, the spreading efficiency of the signal from the location or structure to be located, cost, etc. Therefore, the better signal strength usually can be obtained thanks to a large number of base stations at the central points.

Signal power rate which directly affect the speed of upload or download data and its performance was observed in this research. The signal strength levels on smartphones reach download / upload speeds within the processor and modem features used on that smartphone. In these days, a big majority of smart phones have a far higher speed of download and upload data than the operators that provide infrastructure services. Another important aspect to which the signal strength level depends is the base stations established by the operators. With this study, it aims to gather the signal strength data of all operators at the locations of Maslak, Şişli and ITU Ayazaga campus of the city of Istanbul and to examine, compare, mapping and relationship with topography their levels.

During the data collection, three different routes were determined. Route 1 is Maslak location that the longest one and has a range of 18.7 kilometers. Route 2 which is ITU Ayazağa campus location has a range of 3.9 km and Route 3 which is Şişli location has a range of 7.2 km. Data collection was fulfilled with a different method in Route 3 that is Şişli location. Data were collected on two different days and two different time periods. Data were collected in four different periods as on weekdays Monday and weekend Saturday, in the forenoon and in the afternoon. The reason for choosing these periods is Şişli region. During the weekdays; It has a population of close to 2 million per day due to its central location and transfer points in urban transportation. Considering that this density almost halved at the weekend, it was made in two different periods as weekend and weekdays.

Approximately %78 signal data be found at category of middle and over the middle power signals and rest of %22 signal data stay on category of weak and under the weak power signals which has measured via Turkcell operator along Route 1. Approximately %92 signal data be found at category of middle and over the middle power signals and rest of %8 signal data stay on category of weak and under the weak power signals which has measured via Vodafone operator along Route 1. Approximately %75 signal data be found at category of middle and over the middle power signals and rest of %25 signal data stay on category of weak and under the weak power signals which has measured via Turk Telekom operator along Route 1.

Approximately %100 signal data be found at category of middle and over the middle power signals which has measured via Turkcell operator along Route 2. Approximately %92 signal data be found at category of middle and over the middle power signals and rest of %8 signal data stay on category of weak and under the weak power signals which has measured via Vodafone operator along Route 2. Approximately %78 signal data be found at category of middle and over the middle power signals and rest of %22 signal data stay on category of weak and under the weak power signals which has measured via Turk Telekom operator along Route 2.

Approximately %87 signal data be found at category of middle and over the middle power signals and rest of %13 signal data stay on category of weak and under the weak power signals which has measured via Turkcell operator along first day of Route 3. Approximately %86 signal data be found at category of middle and over the middle power signals and rest of %14 signal data stay on category of weak and under the weak power signals which has measured via Vodafone operator along first day of Route 3.

Approximately %92 signal data be found at category of middle and over the middle power signals and rest of %8 signal data stay on category of weak and under the weak power signals which has measured via Turk Telekom operator along first day of Route 3. Approximately %95 signal data be found at category of middle and over the middle power signals and rest of %5 signal data stay on category of weak and under the weak power signals which has measured via Turkcell operator along second day of Route 3. Approximately %95 signal data be found at category of middle and over the middle power signals and rest of %5 signal data stay on category of weak and under the weak power signals which has measured via Vodafone operator along second day of Route 3. Approximately %93 signal data be found at category of middle and over the middle power signals and rest of %7 signal data stay on category of weak and under the weak power signals which has measured via Turk Telekom operator along second day of Route 3.

When all collected data were examined, it was not observed that there was a clear relationship between height and signal strength. Signal strength was high at some high points, while signal strength was low at some high points. Depending on the location and height of the base stations, the signal strength increases or decreases with respect to the height. In some locations, the signal strength was observed significantly lower. It has been found that these levels for users make it impossible to perform voice communication which is the simplest service or makes it voice communication of very low quality.

In this study, with the data collected, it is aimed to experience the problems of low signal strength experienced by the users and help to find the root cause of these problems. With the collected data, signal strength maps were made up with the location and height information of the regions where signal strength problems were experienced. Moreover, the collected data is intended to assist in possible improvements in locations with low signal strength.





## 1. GİRİŞ

Tarih boyunca ve günümüzde insanlığın en temel ve önemli ihtiyaçlarından biriside haberleşmedir. Bunun önemi ve gerekliliğinden dolayı insanoğlu tarih boyunca haberleşme ve haberleşme teknolojileri ile ilgili çalışmalar yapmıştır ve halen yapmaya devam etmektedir. Haberleşme alanının ilk teknolojik gelişmesi olarak öne çıkan telgrafın 1830'lu yıllarda icadıyla beraber bu yöndeki çalışmalarda hız kazanmıştır. Telgrafın yaygın kullanıma sahip olmasıyla birlikte karşılaşılan ve yaşanan zorlukları en aza indirgenmesi için sürekli yeni çalışmalar ve geliştirmeler yapılmıştır. 1897 yılında ilk telsiz telgrafla beraber kablosuz haberleşmenin ilk adımları atılmıştır. 1876 yılında Graham Bell'in telefonu icat etmesi ve kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte cep telefonları insanların beklentilerinin başında gelen cihazlardan biri olmuştur. Elektronik teknolojilerinin gelişmesiyle beraber telgrafın icadı sonrası süreçte telgraf, telsiz telgraf, telefon ve cep telefonları şeklinde kablosuz haberleşme adına önemli gelişmeler yaşanmıştır.

Teknolojini alanındaki gelişmelerle birlikte cep telefonları büyük değişimlere ve teknolojik özelliklere sahip olmuştur ve olmaya devam etmektedir. Motorola tarafından dünyanın ilk cep telefonunu üreterek 3 Nisan 1973 yılında yine aynı şirkette araştırmacı olarak görev yapan Martin Cooper cep telefonu ile ilk görüşmeyi yapmasını sağlamıştır. Bununla birlikte cep telefonu teknolojisi hızla teknolojik gelişmeler göstererek ivme kazanmıştır. 1G olarak adlandırılan birinci nesil teknoloji yalnızca ses iletimi odaklı analog sistemlerden oluşmaktaydı. 1G sistemlerini 2G, 3G, 4G ve 5G olan yeni nesil teknolojiler takip etmiştir. Her nesil teknolojinin ortak amacı kullanıcılara daha kaliteli ses iletimi, daha yüksek bant genişliği sunmasıyla birlikte kullanıcılara daha yüksek hızda veri akışı imkanı sunmaktır. Teknolojinin sunduğu yüksek hızda veri akışı kullanıcıların kullandıkları operatör ve buldukları lokasyonlara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Bu tezin amacı, kullanıcıların artan yüksek hız ve çekim gücü beklentilerini göz önüne alarak İstanbul’da belirlenen 3 farklı lokasyonda ve Türkiye’de faaliyet gösteren 3 farklı operatörle 4G sinyal gücü seviyelerinin ölçümlemesinin yapılması, sinyal gücü seviyelerinin operatör ve lokasyon bazlı ayrı ayrı haritalandırılması ve çok düşük sinyal seviyesine sahip lokasyonların ve bu lokasyonlara ait yüksekliklerinin belirlenmesi hedeflenmektedir.

Ayrıca toplanan verilerle kullanıcıların sorun yaşadığı veya yaşayabileceği lokasyonların belirlenmesiyle sinyal gücünün çok düşük olduğu noktalarda yapılabilecek iyileştirme çalışmalarına yardımcı olması amaçlanmaktadır.



## 2. İSTANBUL MASLAK VE ŞİŞLİ BÖLGESİ TOPOĞRAFİK ANALİZLERİ

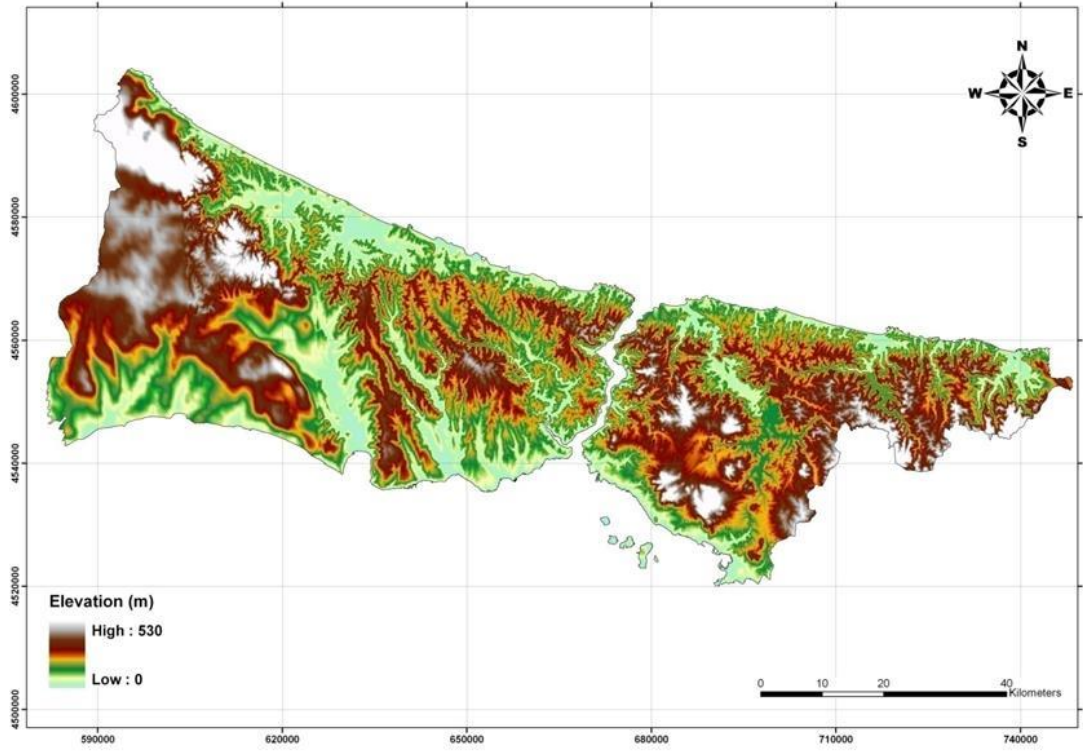
Topoğrafik analizler, hedef bölgenin yükselti yapısını, eş yükseklik eğrileriyle gösteren haritalar üzerinde yapılan çalışmalardır. Bu haritalarda bölgede bulunan dağ, tepe, dere, orman, göl, yol, vb. bütün coğrafi yapılar, özel sembollerle gösterilerek yer alır. Bu haritaların özellikle haberleşme sistemlerinin kurulmasında büyük önemi vardır.

GSM teknolojisi, kullanılan haberleşme teknikleri gereği kablosuz ortamda bilginin alıcı ve verici arasında aktarılmasını sağlar. Ancak bu aktarım sırasında röle görevi gören alt-sistemlerin bulunması kaçınılmazdır. İletim akışının bu ara basamaklarından baz istasyonları ve ağ/anahtarlama merkezleri farklı coğrafi bölgelerdeki kullanıcılar arasında anahtarlama işlevini yürütür. Baz istasyonları kapsama alanı içerisindeki mobil kullanıcı bilgilerini tutar ve bu kullanıcıların haberleşme taleplerini (konuşma, mesajlaşma, internet vb.) ağ ve anahtarlama merkezi üzerinden yerine getirir.

Mobil kullanıcı ile baz istasyonu arasında kesintisiz iletişimin kurulması, GSM teknolojisinin en temel kurallarından biridir. Topoğrafik analizler, hedef bölgede baz istasyonlarının hangi noktalara kurulacağını belirlemek hususunda, GSM ağ mimarisini oluşturan uzmanlara harita tabanı oluşturur. GSM baz istasyonları, kapsama alanları içinde her yere ışın yapabilen her yöne dönük (omni directional) antenler kullanır. Bu antenler, kullanıcı ile optik haberleşmede olduğu gibi doğrudan (line of sight) haberleşme bağı kurulmasını gerekli kılmaz. Mobil kullanıcı, binaların arasında ya da açık arazide tepelerin arasında olsa da, GSM sinyalleri yansıma yaparak mobil istasyon ile iletişim kurabilir. Bu iletişimin garanti altına alınabilmesi ve baz istasyonlarının hedef bölgede doğru yere kurulabilmesi için yapılan analizlere topoğrafik analizler denir.



İstanbul şehri Asya ve Avrupa kıtalarının bir su yolu etrafında kesiştiği, içerisinde vadi, plato, dere, dağ ve tepelerin çokça yer aldığı toprak parçaları üzerine kurulmuştur. Şekil 2.2’de görüldüğü üzere şehir deniz kıyısında yer aldığından en düşük rakım 0m iken, şehrin kuzeybatı kesimleri dağlık ve yüksek yamaçlarla kaplıdır. İstanbul’da en yüksek alanlar 530m ile kentin bu bölümünde yer almaktadır. Avrupa yakası, nispeten Anadolu tarafına göre daha çok düzlük alan içermektedir.



**Şekil 2.2 :** İstanbul ili sayısal arazi modeli.

Şişli'nin ana eksenini oluşturan Beyoğlu platosunda yükseltiler Taksim'de 70-80 metreye, Okmeydanı'nda 80-100 metreye, Mecidiyeköy'de 100-120 metreye ve Levent-Maslak'ta 130-140 metreye kadar çıkar. Şişli'nin en yüksek noktaları Tepeüstü ve Hürriyeti Ebediye, Duatepe ve Esentepe'dir. Şişli bölgesine ait detaylı topoğrafik harita Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

Harita detaylı analiz edildiğinde Şişli merkez ve Beyoğlu'na yakın bölgelerde yüksekliğin 120 m. civarında olduğu, Şişli ve Beyoğlu arasında düz bölgelerin geniş yer kapladığı görülmektedir. Ancak özellikle Mecidiyeköy ve Şişli ile Beşiktaş arasında kalan Nişantaşı ve Fulya bölgeleri engebeli, derin vadiler içeren ve kablosuz haberleşme için zor bir bölgedir.



### 3. MOBİL TEKNOLOJİLERİN GELİŞİM SÜREÇLERİ

Kablosuz haberleşme teknikleri, 20. yüzyılın başında ilk olarak radyo haberleşmesi ile başlamış, akabinde radar teknolojileri ve 1960'lerden sonra uydu teknolojilerinin gelişmeye başlaması ile daha geniş coğrafyalarda haberleşme imkanı sağlamıştır. Karasal yayın teknolojilerinin hızla gelişmesi sonucu 1980'lerin sonundan itibaren mobil haberleşme cihazları, araç telefonları, çağrı cihazları kullanılmaya başlanmıştır. Son otuz yılda, mobil haberleşme teknolojilerinin hızla değişimi, ortalama her on yılda yeni bir standart ortaya konulmuştur. Geliştirilen her yeni mobil teknoloji, yeni nesil haberleşme ağı olarak adlandırılmaktadır.

Bu gelişim süreçleri içerisinde yeni standartlar, veri hızları, frekans bant kapasiteleri, birincil haberleşme servisleri yenilenmiş, bunlara karşılık yeni zorluklar ve teknolojik gelişim imkanları ortaya çıkmıştır. Kablosuz mobil haberleşmede yeni Nesilleri gösteren G (Generation) tanımı, haberleşme sistemi doğasının her nesil için farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Her bir nesil bir öncekinin üstüne konan yeni bir teknikte arttırılmış kapasite, hız ve uygulamaları beraberinde getirmiştir. Mobil kablosuz haberleşme teknikleri incelendiğinde en temel özellikleri anlamında aşağıdaki sınıflandırma açıklayıcıdır (Gawas, 2015).

- 1. Nesil (1G): Mobil kablosuz haberleşme ağı analog ve sadece ses iletiminin sağlanması amacıyla kullanılmaktaydı.
- 2. Nesil (2G): Dijital haberleşme tekniklerinin kullanılmaya başlandığı, ses iletiminin yanına mesajlaşma özelliğinin eklendiği uygulamalardır.
- 3. Nesil (3G): Daha yüksek veri iletim hızları, arttırılmış frekans kapasitesi ve multimedya uygulamalarının etkinleştirildiği nesildir.
- 4. Nesil (4G): Bu nesilde 3G teknolojileri ile sabit internet ağlarının entegre edilmesi ve kablosuz mobil internetin desteklenmesi sağlanmıştır. Böylece 3G haberleşmedeki internet kapasite sınırlamaları aşılmış ve yeni mobil uygulamaların geliştirilmesi teknik olarak mümkün kılınmıştır.

- 5. Nesil (5G): Henüz standartlaşma aşamasındaki bu teknolojiye, bant genişliklerinin çok yüksek değerlere çıkarılmasıyla, mobil market uygulamalarının tarihteki en yüksek seviyeye çekilmesi planlanmaktadır.

Mobil telefon teknolojilerinin gelişmesi ve özellikle bant genişliklerinin artması basit bir teknolojik adımın çok ötesinde büyük bir ticari devrime de kapı aralamıştır. Misliyle artırılan bant genişlikleri sayesinde akıllı telefon üretim ve uygulama teknolojileri de gelişmiştir. Böylece pek çok ticari aktivite mobil uygulamalar üzerine kaymıştır. Gelişen mobil haberleşme teknolojilerinin yeni nesiller olarak adlandırılmaları daha çok farklılaşan ağ mimarilerinden kaynaklanmaktadır. Donanım ve yazılımların farklılaşması temelde daha yüksek bant genişlikleri ve daha hızlı veri aktarımını desteklemek içindir.

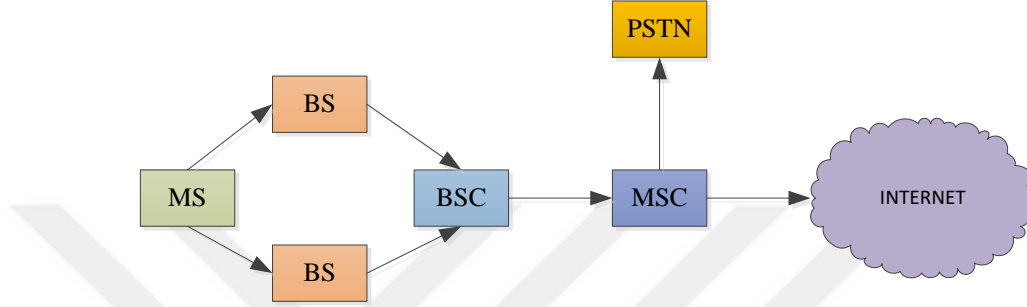
### **3.1 Birinci Nesil Mobil Kablosuz Haberleşme: 1G**

İlk mobil telefon 1982 yılında geliştirilmiş olmakla birlikte, yaygınlaşması ve geniş kitleler tarafından kullanılmaya başlanması 90'lı yılların başında olmuştur. İlk mobil ses iletim servisi AMPS (Advanced Mobile Phone System) frekans modülasyonunu kullanan ve FDMA (Frequency Division Multiple Access) temelli bir haberleşme sistemiydi. FDMA sistemi istenen haberleşme türü için belirli frekans bantlarını ayıran ve her iletim anında farklı bir bandı gönderen bir sistemdir. Örneğin 900 kHz'lik bir haberleşme kapasitesi 45kHz'lik 20 kanala bölünmüş olsun. FDMA erişim metoduyla her bir iletim anında bu kanallardan bir tanesinin iletimine izin verilir. Bu kanaldan veri iletilirken diğer 19 kanal beklemede kalır.

1G teknolojisi, tek bir kanal için 30 kHz ses iletim kapasitesi ile 824 MHz - 894 MHz iletim bantları arasında çalışmaktaydı. Günümüz haberleşme teknolojileri düşünüldüğünde oldukça düşük kalan bu değerler, o zaman için çok dikkat çekmese de, önemli bir problemin gelmekte olduğunu işaret etmekteydi. Kablosuz haberleşme uygulamaları, mikrodalga teknolojilerine bağlı olarak 88 MHz'den başlayarak 60 GHz'e kadar çıkmaktadır. 88 MHz bölgesinde FM (Frekans Modülasyonu) radyo dalgaları bulunurken, frekans yükseldikçe daha geniş kapasiteli uygulamalar kullanılmaya başlanmıştır. Bunun sonucu olarak frekans spektrumunun parçalara ayrılırken koordine edilmesi ve yayınların birbirini bozmasının önlenmesine yönelik regülasyonlar artırılmıştır.



Birinci nesil mobil haberleşme ağ mimarileri içerisinde Şekil 3.1’de görüldüğü üzere, mobil kullanıcılar (MS-Mobile Station), baz istasyonları (BS-Base Station), baz istasyonu kontrol merkezi (BSC-Base Station Controller), mobil anahtarlama merkezleri (MSC-Mobile Switching Center), genel aktarmalı telefon şebekesi (PSTN-Public Switched Telephone Network) ve bunlardan ayrı olarak konumlandırılmış internet ağı bulunmaktaydı.



**Şekil 3.1:** Birinci nesil mobil haberleşme mimarisi.

Birinci nesil 1G, mobil haberleşme sistemlerin omurgasını sabit telefon altyapısı oluşturmaktaydı. Bu yüzden ülkemizde mobil servis sağlayıcılar hizmete girdikten sonra çok uzun yıllar Türk Telekom altyapısına bağımlı çalışmışlardır. Özellikle baz istasyonlarının kurulması için Türk Telekom'a ait direkler ve baz istasyonunun üzerinden geçen haberleşme verisinin merkeze taşınması için yine Türk Telekom'un fiber optik ve bakır hatları kullanılmıştır. Telefon konuşmaları PSTN ağına bu altyapı üzerinden iletilmiştir. Haberleşme sektöründeki bu tekel yapısı, uzun yıllar kısıtlı bant genişlikleri yüzünden mobil servislerinin gelişmesini engellemiştir. Bir baz istasyonunun sağlıklı şekilde çalışabilmesi sadece konumuna ve yüksekliğine değil aynı zamanda sürekli ve güvenli enerji kaynağına ulaşabilmesine ve gerektiğinde kolayca tamir edilebilmesine bağlıdır.

Birinci nesil mobil haberleşme sistemlerinin genel özellikleri aşağıda sıralanmıştır (Vora, 2015).

- 2.4 kbps iletişim hızı,
- Tek bir ülke içerisinde telefon konuşmaları,
- Analog sinyal kullanımı,
- Zayıf ses kalitesi ve düşük pil süresi,

- Büyük telefon ebatları,
- Sınırlı ve çok düşük verimli frekans bandı,
- Düşük güvenlik ve konuşma aktarımı,

### 3.2 İkinci Nesil Mobil Kablosuz Haberleşme: 2G

İkinci nesil mobil haberleşme sistemleri, 80'lerin sonu 90'ların başında etkin olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yaygın adıyla GSM sistemi olarak bilinen sistem ikinci nesil mobil haberleşme uygulamasıdır. Bu sistemlerle birlikte dijital haberleşme sinyalleri devreye girmiştir. Dijital sinyallerin kullanılmasıyla birlikte yazı mesajları ve küçük ebatlı resimlerin iletimi de mümkün hale gelmiştir. İkinci nesil sistemler hem daha etkin şekilde kablosuz frekans spektrumunu kullanmaya başlamıştır, hem de daha güvenli, hata düzeltmeli (error correction) ve daha iyi sinyal penetrasyonuna sahip olmuştur.

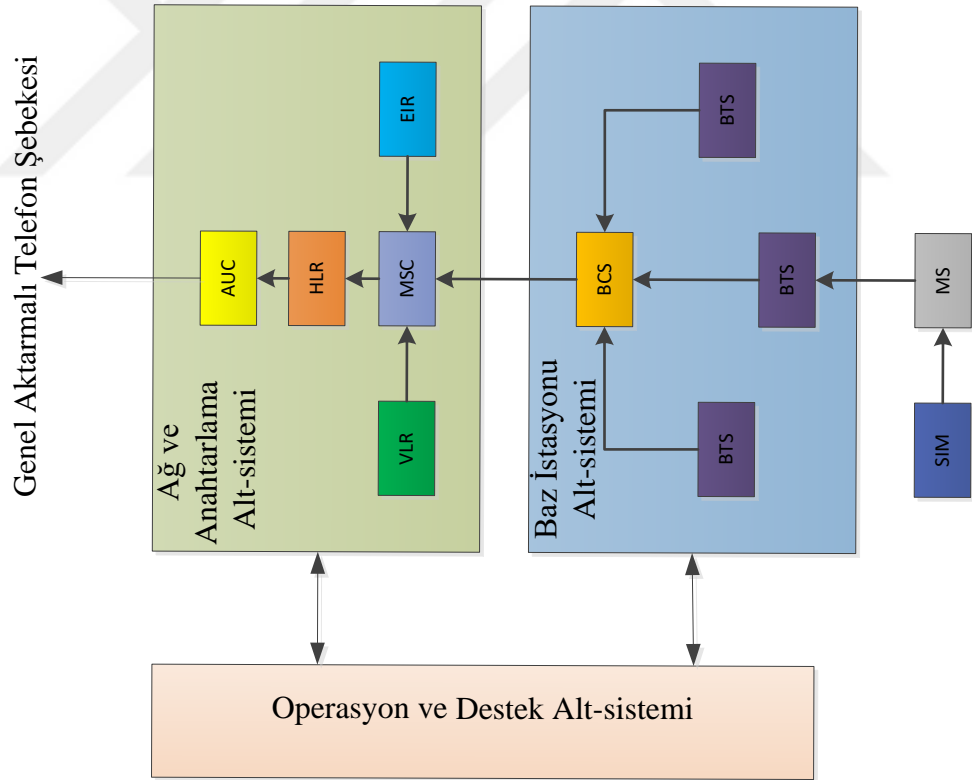
Sinyal dijitalleşince, farklı kullanıcıların TDMA (Time Division Multiple Access) ve CDMA (Code Division Multiple Access) erişim teknikleri kullanabilmesi mümkün hale gelmiştir. Böylece daha etkin ve verimli spektrum kullanımı sağlanmıştır. Birinci nesilden farklı olarak, 2G 900 MHz-1800 MHz frekans aralığına taşınmıştır. Taşıyıcı frekans bantları her kullanıcı için yedi kata yakın artarak 30 kHz'den, 200 kHz'e çıkmıştır.

2G sistemi artan bant genişliği ve multimedya uygulamaları ile birlikte önce 2.5G (GPRS- General Packet Radio Service) akabinde de 2.75G (EDGE- Enhanced Data Rates for GSM Evolution) sistemlerine evrilmiştir. Her bir adımda daha iyi kodlama teknikleri kullanılarak temelde frekans spektrumun daha verimli olması ve mobil kullancılara sunulan hizmetlerin çoğaltılması sağlanmıştır.

Şekil 3.2'de gösterilen ikinci nesil GSM mimarileriyle birlikte birinci nesil sistemlere ek olarak, baz istasyonu altsistemi (BSS - Base Station Subsystem), ağ ve anahtarlama altsistemi (NSS - Network & Switching Subsystem), operasyon ve destek altsistemi (OSS - Operation & Support Subsystem), AuC (Authentication Center), HLR (Home Location Register), VLR (Visitor Location Register), EIR (Equipment Identity Register) gibi altsistem ve ekipmanlar da kullanılmaya başlanmıştır.

İlk defa Finlandiya’da ortaya çıkan ikinci nesil GSM haberleşme sistemleri (2.5G ve 2.75G dahil olmak üzere) ile birlikte,

- Veri hızı 64-144 kbps’a çıkmıştır.
- Multimedya mesajlaşma (MMS-Multimedia Message), yazı ve resim gönderimi mümkün kılınmıştır.
- Dijital sinyaller frekans bandını ve konuşma kapasitesini artırırken, kapsama alanı bulunmayan yerlerde sinyal zayıflaması artmıştır.
- Kameralı telefonlar kullanılmaya başlanmıştır.
- Telefon üzerinden internet ve e-mail hizmetleri sunulmuştur.
- MP3 vb. ses içeriklerinin telefonlara indirilmesi mümkün olmuştur.



Şekil 3.2: İkinci nesil GSM mimarisi.

Finlandiya’da ortaya çıkan ikinci nesil haberleşme sistemleri aynı zamanda Nokia şirketinin üçüncü nesil haberleşme sistemleri ortaya çıkana kadar yaklaşık 20 sene, GSM piyasasını domine etmesine ve pek çok teknolojiyi patentlemesine olanak sağlamıştır.

### **3.3 Üçüncü Nesil Mobil Kablosuz Haberleşme: 3G**

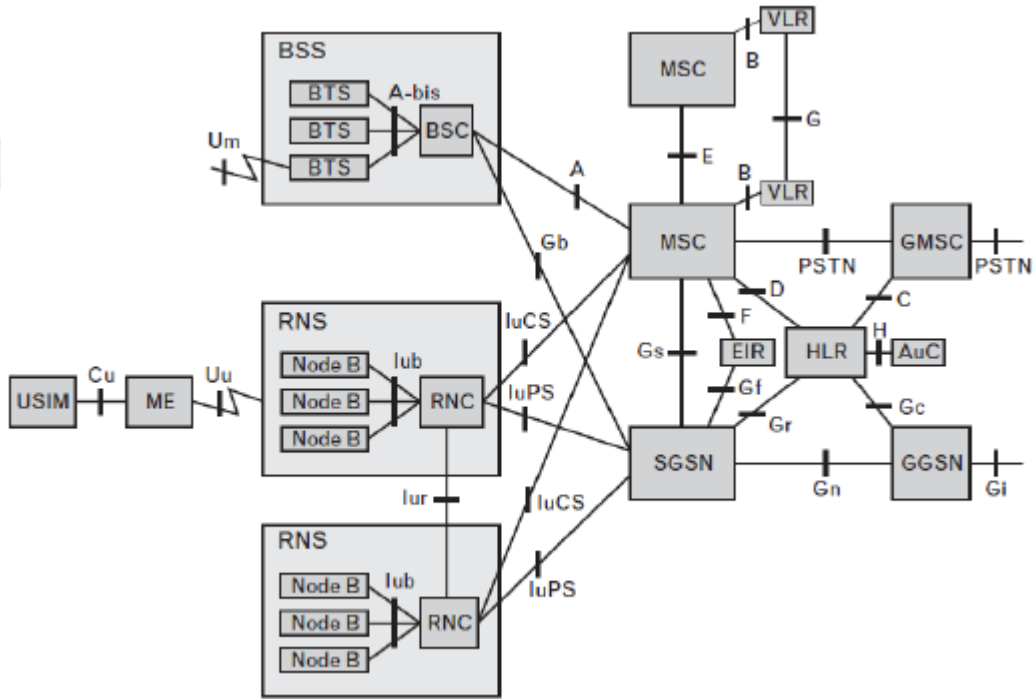
İlk defa 2001 yılında Japonya’da kullanılmaya başlayan üçüncü nesil mobil haberleşme sistemleri, geniş bant CDMA (WCDMA - Wideband CDMA) erişim tekniklerini kullanarak, geniş bant sayısal haberleşme tekniklerinde bir devrim yaratmıştır. GPRS ve EDGE ile oldukça dar bantta sürdürülen veri transferi işlemleri hem daha büyük frekans bantlarında yapılmaya başlanmış hem de daha hızlı olmuştur. Böylece ses, mesaj ve resim iletimine ek olarak video paylaşımı ve video üzerinden konuşma teknolojileri de geliştirilmiştir. Günümüzde milyarlarca dolar piyasa değerine sahip olan hem ekonomik hem de sosyal olarak büyük toplumsal etkiler yaratabilen sosyal medya ve finans uygulamaları üçüncü nesil haberleşme sistemlerinin sağladığı altyapı üzerine kurulmuştur.

Yüksek hızlı veri transferini sağlamak hedefiyle geliştirilen bu teknoloji ile paket anahtarlama kullanarak 14 Mbps hızında kadar veri transferi mümkün hale getirilmiştir. İkinci nesil çalışmaları sırasında, bir sonraki nesil özelliklerinin standartlaştırılmasına başlanmıştır. Üçüncü nesil sistemler, UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) ve IMT-2000 (International Mobile Telecommunications) standartları üzerine kurularak geliştirilmiştir. Üçüncü nesil mobil sistem uygulamaları yaygınlaştıkça, devletler kendi standartlarını geliştirmek zorunda olduklarını anlayarak bu konuda çalışmaya başlamıştır. Üçüncü nesil sistemler (Pachauri ve Singh, 2012),

- 2 Mbps veri hızı,
- Akıllı telefon kullanımı,
- Gelişmiş bant genişliği, veri transferi ve web tabanlı uygulamalar,
- Televizyon ve video akışı ile mobil video yayınlarının gelişmesi,

- Ses, görüntü ve video verilerinin çok hızlı indirilmesi vb. pekçok avantajı beraberinde getirmiştir.

Üçüncü nesil sistemlerin kullanımının artması aynı zamanda akıllı telefon piyasasının hızla gelişmesine sebep vermiştir. Bunun sonucu olarak GSM teknolojilerinde merkez Avrupa'dan Asya ve Amerika'ya kaymıştır. Nokia bu sektördeki tekeli kaybetmiş, yerine Apple, Samsung, Huawei, ZTE teknoloji liderleri konumuna gelmiştir. Şekil 3.3'te üçüncü nesil haberleşme sistemlerine ait ağ mimarisi sunulmuştur.



Şekil 3.3: Üçüncü nesil mobil haberleşme mimarisi (Korhonen, 2003).

### 3.4 Dördüncü Nesil Mobil Kablosuz Haberleşme: 4G

Dördüncü nesil kablosuz haberleşme sistemleri ilk olarak 2009 yılında Güney Kore'de kullanılmaya başlanmıştır. 4G uygulamaları başlamadan önce 2008'de ITU-R (International Telecommunications Union-Radio communications sector) tarafından dördüncü nesile ait sistemlerin standartları yayınlanmıştır. LTE (Long Term Evolution) standardı üzerine kurulmuş olan bu teknoloji, araba ve tren gibi yüksek hızlı vasıtalarındaki mobil kullanıcıların 100 Mbps, yürüyen ya da duran yayaların ise 1 Gbps hız ile mobil haberleşme yapabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Mobil haberleşme teknolojileri geride kalan otuz yıl içerisinde, 14,4 kbps'dan 100Mbps'e yaklaşık on bin kat hızlanmıştır. Buna ek olarak 30kHz'lik taşıyıcı frekansları 15MHz'e çıkmış olup yaklaşık beş yüz kat artmıştır.

Geliştirilen standartlar beraberinde, yeni donanım ve bunların üzerinde koşabilecek çok farklı yazılımları da beraberinde getirmiştir. Böylece sadece firmalar arasında değil ülkeler ve kıtalar arasında güç dengelerinin ve piyasa hakimiyetinin değiştiği görülmektedir.

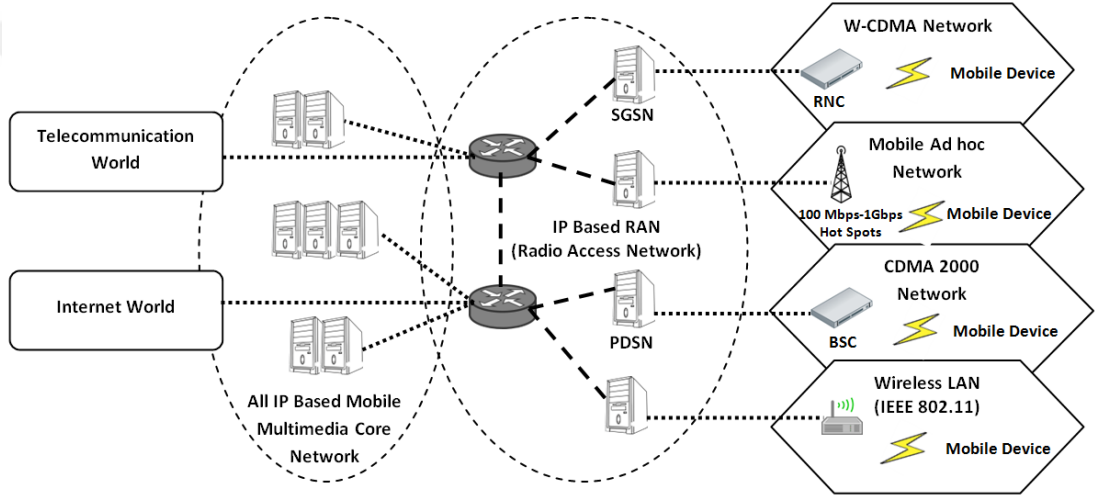
LTE sistemleri, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) erişim tekniklerini kullanarak yüksek veri hızlarını, esnek ve verimli spektrum kullanımını düşük enterferans değerleri ile birlikte sağlamaktadır. OFDM tek bir kullanıcıya ait olan veriyi, FDMA'in aksine tek bir frekans kanalında tutmaz. Pekçok farklı taşıyıcıya dağıtır ve bu kanalların farklı zamanlarda aktif olması sonucu alıcı tarafında birleştirir.

Dördüncü nesil sistemlerde kullanılan bir diğer teknik ise WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) erişim teknolojisidir. IEEE 802.16 grubu tarafından 1988'de geliştirilen bu standart, bir noktayı farklı noktalar ile açık görüş hattı (LOS- Line of Sight) üzerinden birleştirmeyi ve istenen kablosuz haberleşme hattını kurmayı hedefler. 4G kullanıcıların halihazırda aldıkları servis hizmetlerinin yanı sıra, yüksek kalite TV ve video izlenmesi, video veri aktarımı, yüksek ölçekli verilerin daha kısa sürede indirilmesi gibi uygulamaları karşılamak için kullanılmaktadır. Bu sistemlerin devreye alınmasıyla,

- 10 Mbps - 1 Gbps aralığında veri hızı potansiyeli,
- Yüksek kalitede video akışı,
- Sabit kablosuz ağlar ile mobil ağların eş güdüm içerisinde çalıştırılması,
- Arttırılmış multimedya servisleri,
- Yüksek veri güvenliği,
- Düşük maliyetli veri iletimi sağlanmıştır.

Diğer taraftan cihazların batarya ömrü kısalmış ve bunu telafi etmeye yönelik pil teknolojilerinde gelişmeler yaşanmıştır. Daha karmaşık donanımlara ihtiyaç duyulması, implementasyon sorunlarını da beraberinde getirmekle birlikte donanım maliyetleri de üst seviyelere çıkmıştır.

Şekil 3.4'te görüldüğü üzere LTE mimarileri, RAN (RadioAccess Network) ve kor ağın bulunduğu EPC (Evolved Packet Core) bölümlerinden oluşmaktadır. RAN kısmında mobil kullanıcı ve baz istasyonları yer almaktadır. EPC bölümü ise internet ortamında ve kullanıcı ekipmaları arasında noktadan noktaya haberleşmenin kurulmasından ve yönetilmesinden sorumludur.



Şekil 3.4: LTE ağ mimarisi (Singh ve Singh, 2016).

Mobil haberleşme sistemlerinin, 1G'den 4G'ye teknoloji süreçleri incelendiğinde, öncelikle bant genişliklerinin ve veri akış hızlarının yükseldiğini görmekteyiz. Farklı erişim teknikleri kullanılarak, frekans spektrumları mümkün olduğunca yüksek verimlilikle kullanılmıştır. Artan bant genişliği ve veri hızı, beraberinde pek çok yeni multimedya özelliğini ve akıllı telefonların işletim sistemleri için yazılmış uygulamaları getirmiştir.

Basit konuşma ve mesaj yazma özelliklerinin çok dışına çıkan akıllı telefonlar, TV, telefon, bilgisayar, yazıcı, tarayıcı, faks vb. farklı cihazların tüm fonksiyonlarını tek bir telefon veya tablet üzerinde toplamıştır. Diğer taraftan bu kompakt yapı, beraberinde karmaşık ağ mimarilerini ve donanımların implementasyonunun zorlaşmasını getirmiştir. Çizelge 3.1'de mobil haberleşme sistemlerinin önemli özellikleri karşılaştırılmıştır.

**Çizelge 3.1:** Mobil haberleşme nesillerinin karşılaştırılması.

Parametre	1G	2G	3G	4G
Çıkış Yılı	1980s	1993	2001	2009
Teknoloji	AMPS (Advanced Mobile Phone System), NMT, TACS	IS-95, GSM	IMT2000, WCDMA	LTE, WiMAX
Erişim Tekniği	FDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA
Veri Hızı	2.4 kbps to 14.4 kbps	14.4 kbps	3.1 Mbps	100Mbps
Özelliği	Sadece ses	Tek kanalda pekçok kullanıcı	Multimedya özellikleri ve görüntülü aramalar	Yüksek hızlı eş zamanlı veri akışı
Bant Genişliği	Analog	Sayısal 25 MHz	Sayısal 25 MHz	Sayısal 100 MHz
Çalışma Frekansları	800 MHz	GSM: 900MHz, 1800MHz CDMA: 800MHz	2100 MHz	850 MHz, 1800 MHz
Bant Tipi	Dar bant	Dar bant	Geniş bant	Ultra geniş bant
Taşıyıcı Frekansları	30 KHz	200 KHz	5 MHz	15 MHz
Uygulamaları	Sesli aramalar	Sesli aramalar, kısa mesajlar, kısmi internet aramaları	Konumlama, video konferans, mobil TV, internet uygulamaları	Giyilebilir cihazlar, yüksek hızlı veri uygulamaları, mobil yüksek çözünürlüklü TV



#### 4. 4G HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİNİN İNCELENMESİ

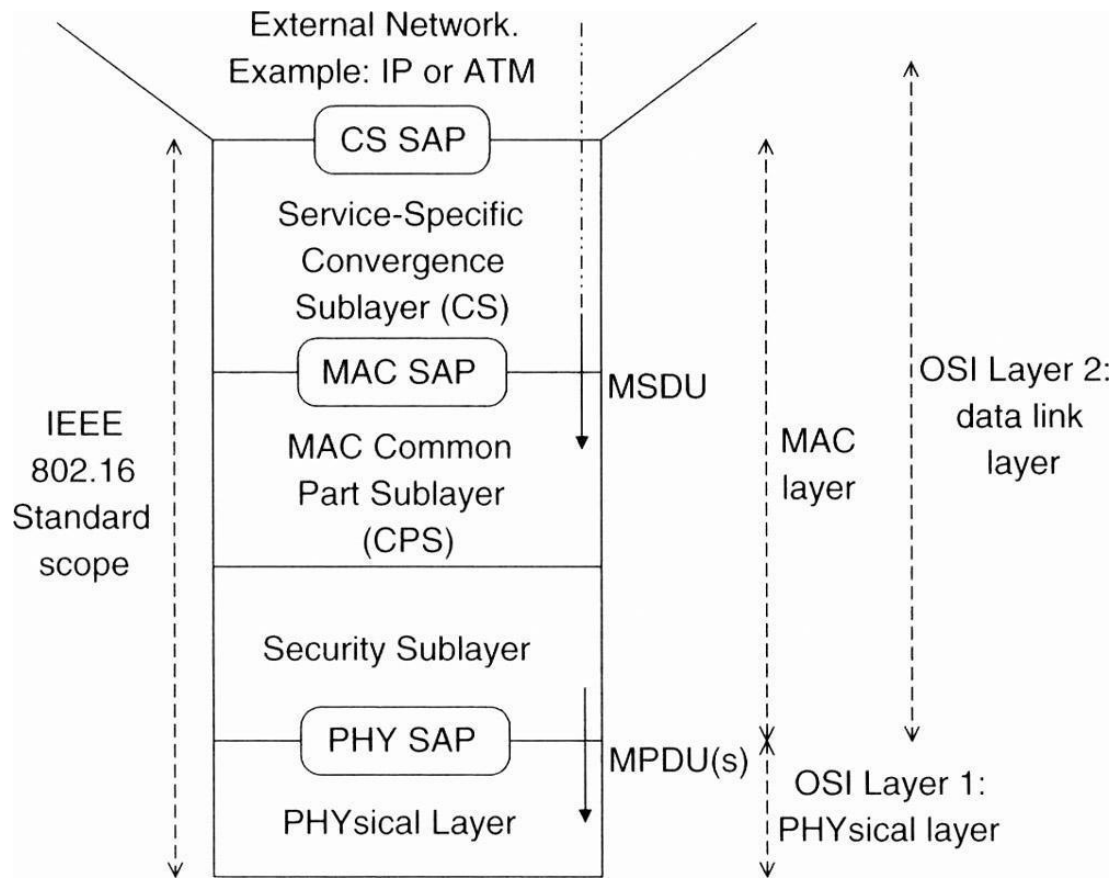
4G mobil haberleşme sistemleri temelde, 3G altyapısının üzerine kurulmaktadır. Bu yüzden mevcut 3G baz istasyonlarının daha verimli ve düşük enerji ihtiyaçları ile kullanılması hedeflenmektedir. Ancak sistem mimarisinde karşılaşılan farklılıklar sebebiyle WiMAX aktarım direkleri gibi geniş kapsama alanlarına hizmet verecek ara rölere ihtiyaçları da ortaya çıkmıştır.

Dördüncü nesil mobil haberleşme sistemlerinin regüle eden IEEE 802.16 standardı, bir noktadan pek çok farklı noktaya iletişim mimarisi ile, baz istasyonlarının farklı mobil kullanıcı istasyonlara geniş bant veri iletişim hizmeti vermesine olanak sağlamaktadır. İlk oluşturulan standart ile mobil kullanıcıların baz istasyonunu görmesi istenirken sonradan yapılan güncellemerde 802.16 A/E sürümlerinde bu istek ortadan kaldırılmıştır. 10-66 GHz mikrodalga frekanslarına çalışması planlanan sistem zaman içinde 2-6 GHz bant aralığını düşürülmüş, veri iletişim hızı olarak 15 Mbps belirlenmiştir. İlk standartlaşma evresinde QPSK, 16 QAM ve 64 QAM kullanması planlanan 4G sistemleri, OFDMA erişim teknikleri ile frekans spektrumunu çok daha verimli ve etkin kullanılabilir hale gelmiştir. Baz istasyonu hücrelerinin 2-6 km arasında servis vermesi hedeflenirken, mobil kullanıcılar için kanal bant genişliği 5MHz olarak belirlenmiştir. Bütün bu standartlar ve kullanılan erişim teknikleri baz istasyonu ve mobil kullanıcı cihazlarının üretilmesinde temel tasarım parametreleri olarak ele alınmaktadır.

IEEE 802.16 BWA (Geniş Bant Erişim) ağ standardı, OSI (Open Systems Interconnection) olarak adlandırılan yedi-katmanlı ağ modelini kullanmaktadır. Baz istasyonları tasarımı bu modele göre uygulanmaktadır. Bu modelin en üstünde Uygulama Katmanı (7. Katmanla) ve en altında Fiziksel Katman (1. Katman) bulunur. Arada sırasıyla sunum, oturum, iletim, ağ ve veri bağı katmanları bulunmaktadır. Alt katmanlar donanımsal özellikleri belirlerken, üst katmanlar daha çok yazılımsal özellikler ile ilgilidir.

IEEE 802 OSI standardı, Veri Bağı Katmanını Logical Link Control (LLC) ve Media Access Control (MAC) olarak iki alt katmana ayırır. Fiziksel katman bu iki iletişim varlığı arasındaki fiziksel bağlantıyı yapar ve MAC katmanı bağlantının kuruluş ve bakımından sorumludur.

WiMAX/802.16'da kullanılan protokol katmanların mimarisi Şekil 4.1'de gösterilmiştir. WiMAX geniş bant kablosuz erişim sistemi olarak, ses, görüntü ya da videodan oluşan verileri, hava ortamında kendisine tahsis edilen çalışma frekanslarında elektromanyetik dalgalar vasıtasıyla yüksek hız iletir.



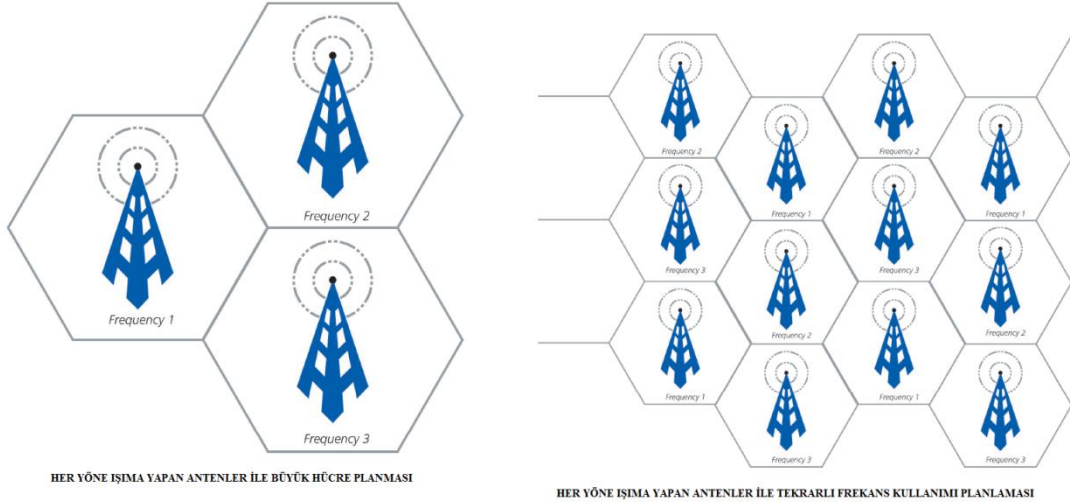
**Şekil 4.1:** IEEE 802.16 standardı protokol şeması (IEEE, 2002).

Fiziksel Katman, baz istasyonları ve mobil kullanıcılar arasında iki taraflı downlink ve uplink bağlantısını oluşturur. IEEE 802.16 sayısal bir haberleşme tekniği olduğundan, fiziksel katman, veri bit dizisinin iletiminden, kullanılan sinyal, modülasyon ve demodülasyon türlerinden, baz istasyonu iletim gücünden ve diğer fiziksel özelliklerden sorumludur (Nuaymi, 2007).

Baz istasyonları mobil haberleşme sistemlerinde hücre (cell) tasarımının temel ögesidir. Mobil hücrelerin optimize edilmesi, bu hücrede hizmet alan kullanıcıların belirli bir servis kalitesinin altında kalmadan (QoS-Quality of Servis) yüksek güvenilirlikle (%99.9) veri haberleşmesini yapmasını hedefler. Bu optimizasyon sırasında baz istasyonunun yüksekliği, kullanacağı güç ve frekans aralıklarının belirlenebilmesi amacıyla göz önünde bulundurulması gereken bazı tasarım noktaları aşağıda sıralanmıştır.

- Hücrenin topoğrafik özellikleri,
- Hücre içerisinde bulunan kullanıcı sayısı,
- Hedef bölgenin ortalama hava şartları,

Özellikle hücre planlamasında tekrarlı frekans kullanımı büyük önem taşımaktadır. Mobil servis sağlayıcılar için kısıtlı kaynakların en başından frekans spektrumu gelmektedir. Servis sağlayıcı, sabit frekans aralığında en yüksek kullanıcı sayısını yakalamak için Şekil 4.2’de gösterilen tekrarlı frekans kullanımı (frequency reuse) tekniklerini uygular.



**Şekil 4.2:** Her yöne ışın yapan antenler kullanılarak büyük hücreler ve tekrarlı frekans kullanımı yapan hücreleri planlanması (Harris, 2011).

Hedef bölgemiz olan Şişli’de, Şişli merkez ve Mecidiyeköy’deki hücre planlaması ile Ayazağa ve Maslak’taki hücre planlaması, gerek topoğrafik yapının gerekse kullanıcı sayılarının farklı olması sebebiyle birbirinden farklı olacaktır. Şişli merkezde daha küçük hücreler, yükseğe yerleştirilmiş baz istasyonları ve tekrarlı frekans kullanımı yapılarak en iyi servis kalitesi sağlanabilir. Maslak bölgesinde nispeten yüksek binalar arasında mesafenin bulunması ve geniş ormanlık alanların korunuyor olması sebebiyle baz istasyonlarının daha alçak yerlere yerleştirilmesi ve yüksek güç çıkışı ile daha geniş hücresel kapsama yapılması mümkündür.

4G mobil haberleşme sistemlerinde servis kalitesi, yoğun yerleşimin olduğu bölgelerden uzaklaştıkça değişir. Kırsal alanlarda daha az kullanıcı olması sebebiyle bu bölgelerde veri hızı oranları daha düşüktür. 4G sistemlerinin yaygınlaşmasıyla, 3G sistemleri altyapısı da kullanılarak daha dar hücreler üzerinden mobil iletişim hizmeti sunulacaktır. 3G sistemlerinin 4G’ye güncellenmesi ekonomik olarak altyapıların yenilemesini sağlayacaktır. 4G sistemlerinde frekans bantlarının ve veri hızlarının yükselmiş olması sebebiyle yayılım kayıpları artmıştır. Sinyal seviyesindeki gürültü ve yayılım kayıpları sebebiyle oluşan bozulmalar sebebiyle, 4G sistemlerinde alınan sinyal eşik değerleri daha yüksek olmalıdır. Kullanılan mobil haberleşme frekansı, veri hızı ve bant genişliğine bağlı olarak hücre yarı çapının hesaplanması (4.1) eşitliğinde verilmiştir.

$$L_p = 38 * \log(d) + 21 * \log(f) + c$$

$$dL_b = 10 * \log(B/B_0) \quad (4.1)$$

$$R_r = 1/10^{((21 * \log(f/f_0) + 10 * \log(B/B_0)) / 38)}$$

Burada

$L_p$  = yayılım kaybı,

$d$  = alıcı verici arasındaki uzaklık,

$f$  = frekans,

$c$  = ışık hızı,

$dL_b$  = Gürültü gücündeki artış,

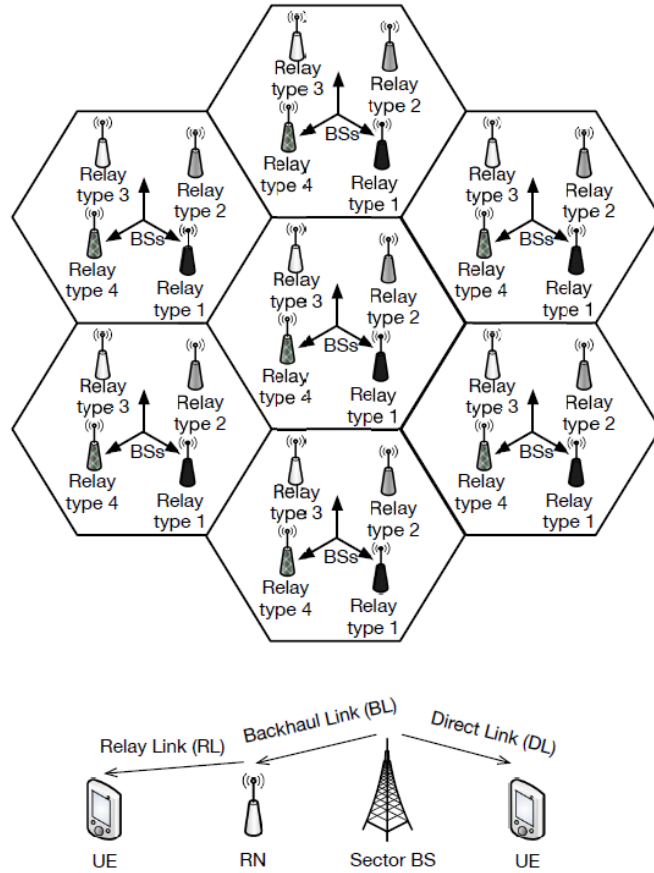
$B$  = Bit oranı,

$B_0$  = Referans Bit Oranı,

$R_r$  = Relatif Hücre Yarıçapı,

$f_0$  = Referans frekans olarak verilmiştir.

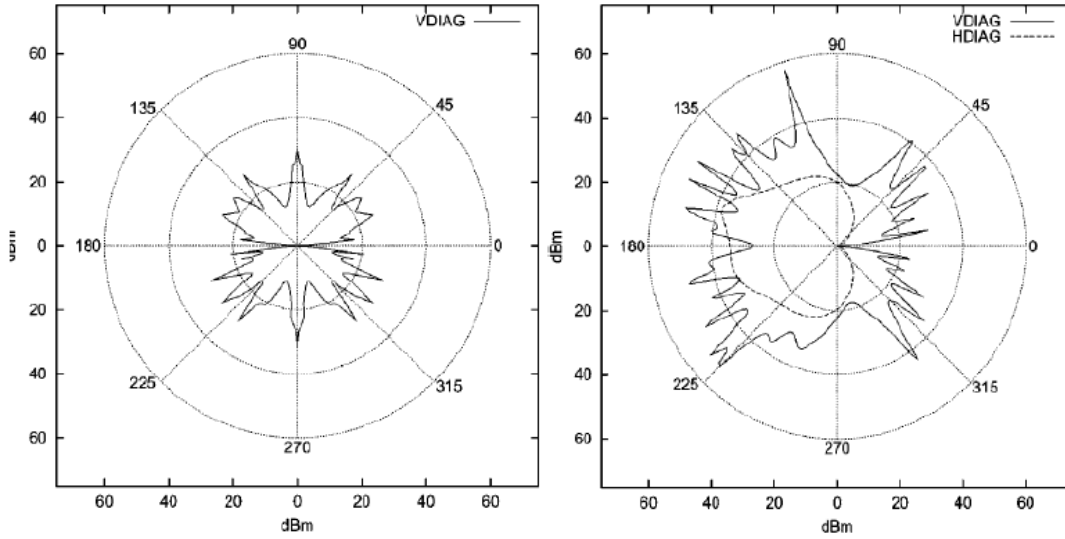
Daha büyük bit oranları ve çalışma frekansları daha küçük hüresel yapılar kurulmasını zorunlu kılmaktadır. Hücre büyüklüğü yarıya indirildiğinde, aynı alanı kapsamak için kullanılması gereken baz istasyonu sayısı dört katına çıkmaktadır. Servis sağlayıcılar için en önemli harcama kaleminin ağ altyapısı olduğu düşünülürse, baz istasyonu sayısındaki artışın ilave büyük maliyetler getirdiği görülmektedir. Mobil hücre küçüldükçe ortaya çıkan bir diğer sonuç, mobil kullanıcıların hücre içerisinde kalma zamanının azalması ve hücreler arasında daha fazla arama aktarımı (handover) yapılmasıdır. Bunun sonucu olarak sistemin toplam işlem yükü artmakta ve sistem mimarisi daha karmaşık hale gelmektedir. Şekil 4.3'te Şişli vb. yoğun bölgelerde hizmet kalitesinin artırılması için 4G mobil hücre altyapısına eklenebilecek röle yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 4.3: 4G mobil haberleşmede röle mimarisi (Mineli vd., 2013).

Wechtaisong and Prommak (2014) ile Mai ve arkadaşları (2013) tarafından sunulan modellerde, istenen hizmet kalitesine ulaşılabilmesi için kapsama alanı içinde her noktada en az -92dBm sinyal seviyesine ulaşılması gerektiği kabul edilmiştir. Baz istasyonun optimum koordinatı bulmak için anten lokasyonu, iletim gücü, anten yüksekliği ve anten tilt açısının kullanıldığı bir formülasyon yapılmıştır.

Mobil haberleşme sistemlerinde her yöne ışına yapan (omnidirectional) ya da sadece istenen yönlere güçlü ışına yapan yönlü (directional) antenler kullanılmaktadır. Bu antenlerin karakteristiği  $G_{ant}$ , anten kazancı ile gösterilir. Antenlerden yayılan haberleşme dalgaları yatay ve dikey yönde hareket ederek, mobil kullanıcı ile baz istasyonu arasında iletişimi sağlar. Şekil 4.4'te yönlü ve yönsüz antenlere ait ışınma paternleri verilmiştir.



**Şekil 4.4:** Yönlü ve yönsüz antenlere ait ışınma örüntüleri (Amine ve Khireddine, 2017).

Yatayda oluşan kayıp  $A_{\phi}$ , dikeyde oluşan kayıp  $A_{\theta}$  ile gösterilir ve antenin tilt açısı  $\phi$  ve azimut açısı  $\theta$  kullanılarak bulunur. Bu açılar anten konumlandırmasının yatay ve dikey eksenler ile yaptığı açılarıdır. Antenlerin yatay ve dikey ekseninde oluşturdukları örüntüler sırasıyla (4.2) ve (4.3)'te verilmiştir (Yılmaz vd, 2009).

$$A_{\phi} = -\min \left[ 12 \left( \frac{\phi}{\phi_{3dB}} \right), A_m \right], A_m = 25 \text{ dB} \quad (4.2)$$

$$A_{\theta} = -\min \left[ 12 \left( \frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right), SLA_v \right], SLA_v = 20 \text{ dB} \quad (4.3)$$

Burada  $A_m$  antenin önünden arkasına giden sinyalin zayıflması,  $SLA_v$  ise yan lobun zayıflamasıdır. Anten kazancı  $G_{ant}$  ve anten kaybı  $BS_{Loss}$  değerleri sabit kabul edilerek her yöne yayın yapan antenler üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalarda kullanılan anten parametreleri Çizelge 4.1’de verilmiştir (Amine ve Khireddine, 2017).

**Çizelge 4.1:** 4G anten parametreleri.

Parametre	Değeri
$BS_p$	$35 \leq BS_p \leq 55$ dBm
$BS_h$	$30 \leq BS_h \leq 70$ m
$BS_\theta$	$-15^\circ \leq BS_\theta \leq 0^\circ$

Baz istasyonları ve kullanıcı terminalleri tasarlanırken işaret yol kaybı propagasyon modeli kullanılır. Bu modele göre baz istasyonunun ve mobil kullanıcının bulunduğu noktalar bilinmektedir. Baz istasyonunun çıkış gücü ve çalışma frekansı da sabit alınmaktadır. Baz istasyonunda kullanılan antenin türüne göre örüntüsü ve yatay/dikey düzlemler ile yaptığı açılarda sabit kabul edildikten sonra, baz istasyonu ve hücre optimizasyonu yapılan bölgede, bu çalışmada Şişli ilçesi, farklı noktalarda alınan güç değerleri ölçülür. Hedef bölgenin topoğrafik özellikleri, baz istasyonunun frekansı ve yüksekliği ile mobil kullanıcının yerden ortalama yüksekliğine göre bir işaret yol kaybı modeli uygulanır. Haberleşme sistemlerinde en sık kullanılan modeller Hata (1980) ve Mishra (2007) tarafından önerilen deneysel modellerdir.

Mishra (2007) tarafından önerilen model (4.4)’te verilmiştir.

$$Path_{loss} = 69.5 + 26.16 \log(f) - 13.83 \log(BS_h) - a(TP_h) + (44.9 - 6.55(BS_h))\log(d) \quad (4.4)$$

Burada  $a(TP_h) = 3.2(\log(11.75) TP_h^2 - 4.97)$  olarak verilmiştir.

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

Hesaplamalar yapılırken;

f: MHz cinsinden frekans değeri,

$BS_h$ : metre cinsinden baz istasyonu yükseliği,

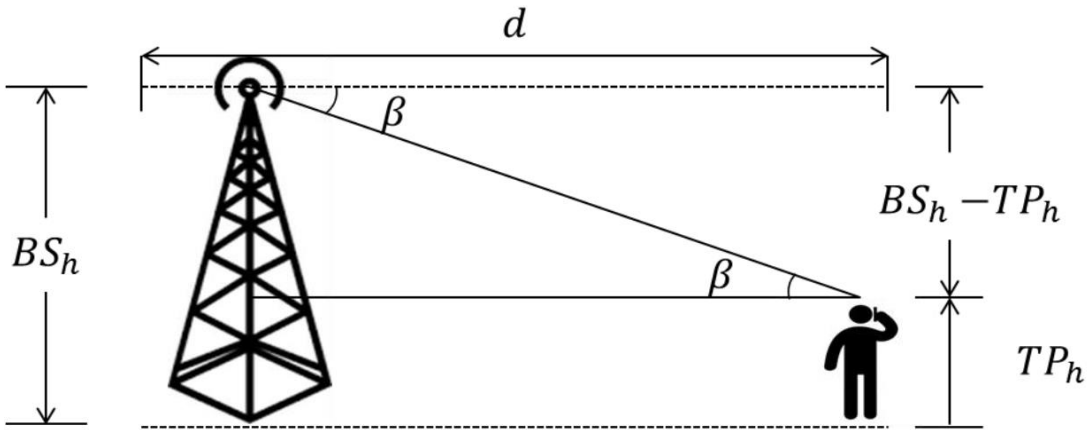
d: Mobil kullanıcı ve baz istasyonu arasındaki kilometre cinsinden uzaklıktır. Baz istasyonunun yeri ve yükseliği hesaplanırken iteratif olarak hesaplamalar yapılır ve optimizasyon algoritması çalıştırılarak en uygun çözüm bulunur.

Mobil haberleşme için baz istasyonu kurulması planlanan alanda sinyal gücü ölçümleri,  $FS_{TP}^{BS}$ , yapılır. Tabia ve arkadaşları (2014) tarafından sunulan ölçümler (4.5)'te verilmiştir.

$$FS_{TP}^{BS}(x, y) = BS_P + G_{ant} - BS_{loss} - Path_{loss}(x, y) - A_{\theta}(\beta - BS_{\theta}) \quad (4.5)$$

Burada (4.6) ile hesaplanan  $\beta$  değeri, Şekil 3.5'de gösterildiği üzere mobil kullanıcı ve baz istasyonu arasındaki dikey açıyı vermektedir.

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{BS_h - TP_h}{d}\right) \quad (4.6)$$

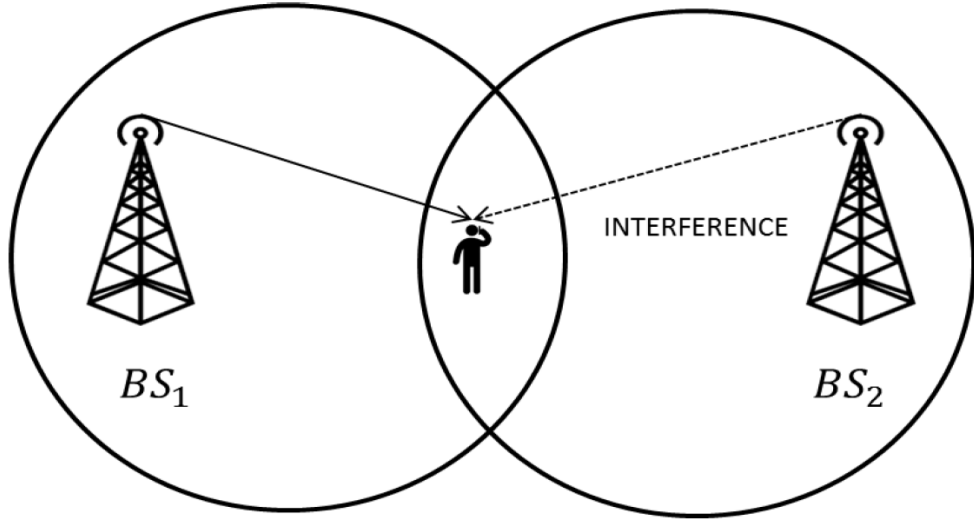


Şekil 4.5: Baz istasyonu ve mobil kullanıcı Arasındaki açı ve uzaklık (Amine ve Khireddine, 2017).



Baz istasyonlarının kurulması ve 4G ağına aktif şekilde çalıştırılmasının ilk amacı tüm hedef bölgede sinyal kapsamını sağlamaktır. Maksimum kapsama alanına ulaşmak için yapılan hesaplamalarda, baz istasyonunun kapasite limiti kullanılarak ölçümler yapılır.

Maksimum kapasite ile çalışan baz istasyonlarının aynı zamanda, minimum maliyet ve enterferans fonksiyonlarını da sağlaması gerekmektedir. Mobil kullanıcılar aynı anda birden fazla baz istasyonunun kapsama alanı içerisinde yer alabilirler. Bu enterferans oluşturan durumlar Şekil 4.6’da görüldüğü üzere, daha çok kapsama alanının kenarında ve komşu kapsama alanının da içinde olan bölgelerdir. Sinyalin iki kapsama alanı sınırında sönümlenmesi mümkün değildir. Her ne kadar belirli bir değerin altına düşse de tamamen yok olmayacaktır.



**Şekil 4.6:** Baz istasyonları arasındaki downlink enterferansı (Amine ve Khireddine, 2017).

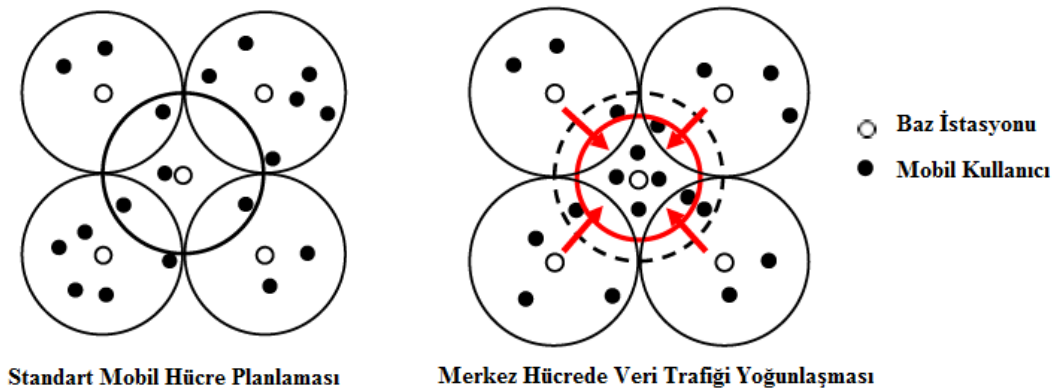
Bir baz istasyonunun başka baz istasyonlarını enterfere etmesi için mobil kullanıcıya -100dBm’den daha yüksek güçte bir sinyal göndermesi gerekmektedir. -100dBm sinyal gücü, lineer skalada  $10^{-13}$  W sinyal gücüne karşılık gelmektedir. Bu oldukça düşük sinyal seviyesi bile sistem içerisinde enterferans oluşturabilecek güce sahiptir.

Baz istasyonları arasında enterferans oluşmaması ve frekans kapasitesinin uygun şekilde kullanılması için hücreler arasında kullanıcı aktarımı (handover) yapılmaktadır. Bu aktarıma karar verilebilmesi için mobil kullanıcıya daha güçlü sinyal gönderen baz istasyonu sinyalinin diğer baz istasyonlarından 7dB daha fazla olması gerekmektedir. 7 dB sinyal gücü lineer skalada yaklaşık 5,01 değerine karşılık gelmektedir. Burada görüldüğü gibi bir baz istasyonu sinyali, diğer istasyonlardan 5 kat daha fazla olduğunda mobil kullanıcıyı üzerine alabilmektedir.

Baz istasyonu mimarisi tasarlanırken kullanıcı davranışının da topoğrafik özellikler kadar önemli bir etmen olduğundan bahsetmiştik. Mobil haberleşme hücrelerinde veri trafik yükü zaman, konum ve hava şartlarına bağımlı olarak değişir. Baz istasyonu servis kalitesinde zaman ve konuma bağlı olarak dalgalanmalar oluştuğunda alınabilecek önlemler,

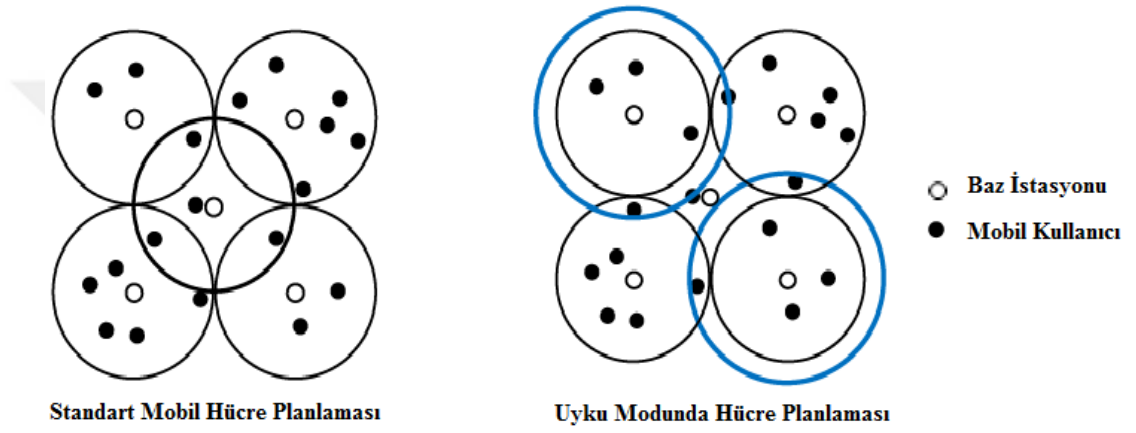
- Uyku modu,
- Hücre yoğunlaşması olarak verilmiştir.

Şekil 4.7’de gösterilen hücre yoğunlaşmasında, oluşan veri trafiğini dengelemek ve enerji tüketimini azaltmak için sistem, merkez hücrede trafik yoğunluğuna bağlı olarak, baz istasyonu iletim gücünü arttırmakta ya da azaltmaktadır. Bir diğer yöntem ise baz istasyonu yüksekliğini ve antenin yatay düzlem ile yaptığı tilt açısını fiziksel olarak değiştirmektedir. Baz istasyonu yüksekliği ve antenin tilt açısı arttıkça, baz istasyonunun kapsama alanı artmaktadır.



**Şekil 4.7:** Mobil hücrelerde veri trafiği yoğunlaşması.

Uyku modu tekniğinde ise, mobil trafik yoğunluğuna bağlı olarak baz istasyonları kapatılabilmektedir. Mobil ağların planlanması sırasında, mobil hücre boyutu ve kapasitesi maksimum veri trafiğine göre sabitlenmiştir. Veri trafiği yavaşladıkça, istenen baz istasyonları kapılarak, mobil kullanıcılar komşu hücelere aktarılır. Özellikle gece konuşma ve internet kullanımının en aza indiği saatlerde baz istasyonlarının uyku moduna alınması hizmet kalitesini etkilemeden ciddi operasyonel tasarruf sağlayacaktır.



**Şekil 4.8:** Mobil hücrelerde uyku modu uygulaması.

LTE sistemlerinde, RSRP (Reference Signal Received Power) değeri tek bir kaynak bloğu, LTE RE (Resource Block) için ölçülür. Kısaca RSRP, tek bir referans sinyale, RE (Resource Element), ait ortalama alınan güç değeridir.

RSRQ (Reference Signal Received Quality) referans sinyalin alınan kalitesini, RSSI (Received Signal Strength Indicator) alınan sinyalin güç göstergesidir. RSSI değeri kaynak bloğu RBs'in (Resource Blocks) tüm bant genişliğinde ölçülür.

$$RSRP(\text{dBm}) = RSSI(\text{dBm}) - 10\log(12*N)$$

$$RSRQ(\text{dBm}) = N*(RSRP(\text{dBm})/RSSI(\text{dBm})) \text{ veya}$$

$$RSRQ(\text{dBm}) = 10\log(N) + RSRP(\text{dBm}) - RSSI(\text{dBm}) \text{ olarak hesaplanır.}$$

Burada; N = Kanal bantgenişliğine karşılık gelen kaynak bloğu RB sayısıdır.

- N=6; 1.4 MHz kanal bantgeniřliđi için,
- N=15; 3 MHz kanal bantgeniřliđi için,
- N=25; 5 MHz kanal bantgeniřliđi için,
- N=50; 10MHz kanal bantgeniřliđi için,
- N=75; 15 MHz kanal bantgeniřliđi için,
- N=100; 20MHz olarak alınır.

LTE'de her bir kaynak bloğu RB içerisinde, 84 RE bulunmaktadır.

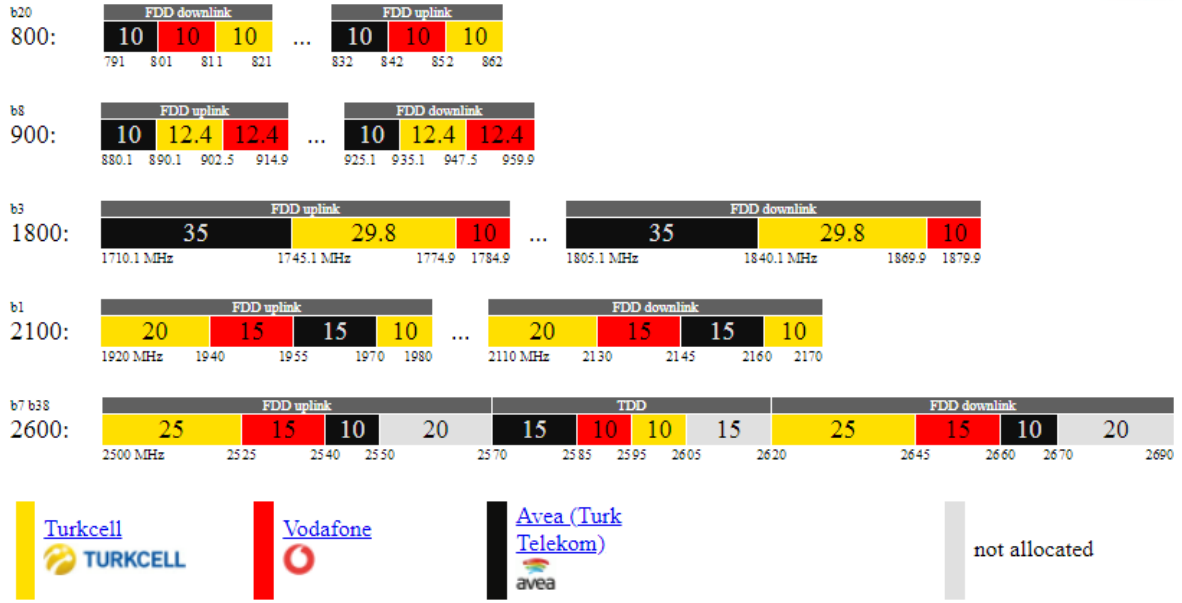
Örnek bir LTE RSRP ve RSRQ hesaplamasında, öncelikle girdi olarak Bantgeniřliđi BW=10MHz alınsın (dolayısıyla N=50), ölçölen RSSI = -79 dBm olsun. Bu durumda hesaplanan, RSRP (dBm) = -106.78 dBm ; RSRQ (dBm) = -10.79dBm olacaktır.

## 5. YÖNTEM, UYGULAMA VE BULGULAR

Türkiye’de mobil haberleşme bantlarının tahsisi BTK (Bilgi Teknolojileri Kurumu) tarafından yapılmaktadır. Kurum son olarak 4.5G mobil haberleşme bantlarının 800-900-1800-2100 ve 2600MHz’de kullanımına ilişkin ihaleleri yapmıştır. Buna göre Türkiye’de faaliyet gösteren mobil haberleşme firmaları, Turkcell, Vodafone ve Türk Telekom’un frekans dağılımları aşağıdaki gibidir.

- 791 MHz - 821 MHz FDD (Frequency Division Duplexing) Downlink; 832 MHz -862 MHz FDD Uplink.
- 880.1 MHz - 914.9 MHz FDD Uplink; 925.1 MHz - 959.9 MHz FDD Downlink
- 1710.1 MHz - 1748.9 MHz FDD Uplink; 1805.1 MHz - 1879.9 MHz FDD Downlink
- 1920 MHz - 1980 MHz FDD Uplink; 2110 MHz - 2170 MHz FDD Downlink
- 2500 MHz - 2570 MHz FDD Uplink; 2570 MHz - 2620 MHz TDD (Time Division Duplexing), 2620 MHz - 2670 MHz FDD Downlink.

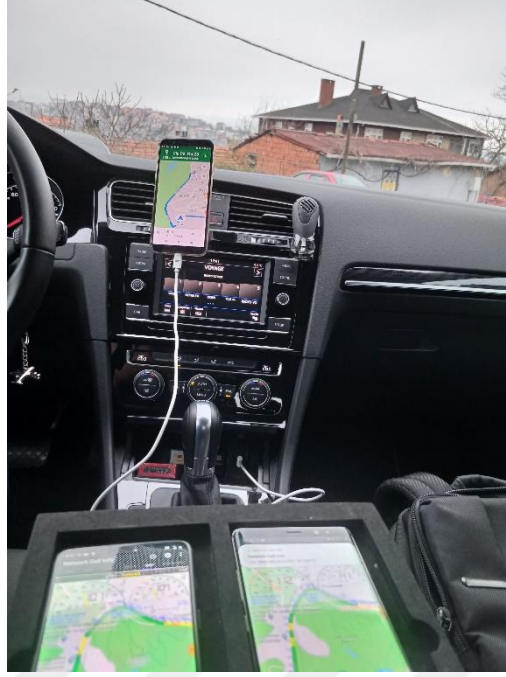
Burada uplink bağlantı kanalı cep telefonundan (mobil istasyon) baz istasyonuna olan veri aktarımını, downlink bağlantı kanalı ise tam tersi yönde baz istasyonundan mobil kullanıcıya doğru olan veri aktarımını göstermektedir. Şekil 5.1’de Türkiye’de faaliyet yürüten mobil haberleşme firmalarına ait frekans spektrumları gösterilmektedir.



**Şekil 5.1:** Türkiye’de faaliyet yürüten mobil haberleşme şirketlerine ait frekans spektrumları.

Tez çalışması sırasında İstanbul ili yoğun nüfus ve geniş 4G alt yapısına sahip olması dolayısıyla seçilmiştir. Maslak ve Şişli bölgeleri de özellikle nüfusun yoğun olduğu ve ticari alanda birçok farklı iş sektörünün faaliyet gösterdiği bir lokasyona sahip olması seçimde etkili olmuştur. Bu lokasyonlar ayrıca operatörlerin saha testlerini devamlı olarak koşturdukları rotalar olması, sinyal seviyesi ve kullanıcı yoğunlukları da önemli bir etken olmuştur.

Belirlenen lokasyonlarda toplanan veriler araç ile seyir esnasında, Şekil 5.2’de gösterildiği gibi Network Cell Info adlı uygulama yardımıyla toplanmıştır. Verileri toplama esnasında kullanılan referans cihazlar özellikleri bakımından ve Türkiye’deki mobil altyapı, bant ve frekans uygunluğu göz önüne alınarak belirlenmiştir.



**Şekil 5.2:** Veri toplama görüntüsü.

Çizelge 5.1’de cihazların tanımlamaları ve kısaltmaları verilmiştir.

**Çizelge 5.1:** Cihaz tanımlamaları.

Tanım	Adı	Kısaltma
Cihaz 1	Samsung Note 8	d1
Cihaz 2	OnePlus 6	d2
Cihaz 3	GM 9 Plus	d3

Mobil cihazların aldığı sinyallerin kaynakları operatörler tarafından belirlenen bölgelere yerleştirilmiş olan baz istasyonlarıdır. Baz istasyonlarının konumlandırılacağı lokasyonlar operatör tarafından bölgedeki nüfus yoğunluğu, operatöre ait müşteri sayısı, konumlandırılacağı lokasyon veya yapıdan sinyalin yayılma verimliliği, maliyet vb. gibi konuları göz önüne almaktadırlar. Bu sebepten ötürü daha merkezi noktalarda genellikle baz istasyonu sayılarının fazla olması sebebiyle daha iyi sinyal gücüne sahip olunabilmektedir. Veri toplama esnasında baz istasyonlarının konumlandırılması da göz önünde tutulmuştur. Baz istasyonlarının genellikle bulunduğu bölgede yüksek noktalara yerleştirildiği, önü açık bir konumda olduğu gözlemlenildi. Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’te görüleceği üzere üç farklı baz istasyonun kurulduğu noktalarda genellikle bölgedeki en yüksek ve önü açık noktalar olduğu görülmektedir.



Şekil 5.3: Baz istasyonu noktası-1.



Şekil 5.4: Baz istasyonu noktası-2.





**Şekil 5.5:** Baz istasyonu noktası-3.

Veri toplamaları sırasında 3 farklı rota belirlenmiştir. En uzun olan Rota 1 Maslak lokasyonudur ve 18.7 kilometre menzile sahiptir. Rota 2 olan İTÜ Ayazağa kampüsü lokasyonu 3.9 km menzile, Rota 3 olan Şişli lokasyonu ise 7.2 km menzile sahiptir. Çizelge 5.2’de rota tanımlamaları, Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de rotaların uydu görüntülerine yer verilmiştir.

**Çizelge 5.2:** Rota tanımlamaları.

Tanım	Adı	Kısaltma	Menzil (km)
Rota 1	Maslak	r1	18.7
Rota 2	İTÜ Kampüs	r2	3.9
Rota 3	Şişli	r3	7.2



Şekil 5.6: Rota 1 / Maslak lokasyonu uydu görüntüsü.



Şekil 5.7: Rota 2 / İTÜ Kampüs lokasyonu uydu görüntüsü.



**Şekil 5.8:** Rota 3 / Şişli lokasyonu uydu görüntüsü.

Rota 3 olan Şişli lokasyonunda veri toplama işlemi farklı bir metotla yapılmıştır. Veriler iki farklı günde ve iki farklı zaman diliminde incelenmiştir. Hafta içi pazartesi günü ve hafta sonu cumartesi günü, öğleden önce ve öğleden sonra olmak üzere dört farklı veri toplaması yapılmıştır. Bunun sebebi hafta içi Şişli bölgesinin merkezi ve şehir içi taşımacılıkta transfer noktası olma özelliği ve bu sebepten günlük 2 milyona yakın nüfusa sahip olması sebebiyle tercih edilmiştir. Hafta sonu ve hafta içi olarak farklı yapılması da bu yoğunluğun hafta sonu neredeyse yarı yarıya kadar düşmesi göz önüne alınarak yapılmıştır. Çizelge 5.3’de Rota 3 olan Şişli rotasına ait hafta içi, hafta sonu, öğleden önce ve öğleden sonra tanımlamaları tablo olarak belirtilmiştir.

**Çizelge 5.3:** Gün ve zaman tanımlamaları.

Tanım	Adı	Kısaltma
Gün1, Ö.Ö.	Gün 1, Öğleden Önce	g1.1
Gün1, Ö.S.	Gün 1, Öğleden Sonra	g1.2
Gün2, Ö.Ö.	Gün 2, Öğleden Önce	g2.1

Gün2, Ö.S.	Gün 2, Öğleden Sonra	g2.2
------------	----------------------------	------

Tüm testler ve toplanan veriler Türkiye’de faaliyet göstermekte olan Turkcell, Vodafone ve Türk Telekom operatörlerini kapsayacak şekilde yapılmıştır. Çizelge 5.4’de operatörler ve operatörlere ait tanımlama ve kısaltma tablosu yer almaktadır.

**Çizelge 5.4:** Operatör tanımlamaları.

Tanım	Adı	Kısaltma
Operator1	Turkcell	o1
Operator2	Vodafone	o2
Operator3	Türk Telekom	o3

Maslak ve İTÜ kampüsü rotalarında yapılan testler, toplanan veriler ve operatörlerin tanımlamaları Çizelge 5.5’de tablo olarak yer almaktadır.

**Çizelge 5.5:** Maslak ve İTÜ rota, operatör ve test cihazı tanımlamaları.

Rota	Samsung Note 8			OnePlus 6		
	Turkcell	Vodafone	Türk Telekom	Turkcell	Vodafone	Türk Telekom
Maslak	r1.o1.d1	r1.o2.d1	r1.o3.d1	r1.o1.d2	r1.o2.d2	r1.o3.d2
İTÜ	r2.o1.d1	r2.o2.d1	r2.o3.d1	r2.o1.d2	r2.o2.d2	r2.o3.d2

Rota 3 olan Şişli bölgesine ait yapılan testler, operatörler, alınan veriler, gün ve zamanlara ait tanımlamalar Çizelge 5.6’da tablo olarak yer almaktadır.

**Çizelge 5.6:** Şişli rotası, operatör ve test cihazı tanımlamaları.

Test Cihazı	1.Gün, Öğleden Önce	1.Gün, Öğleden Sonra	2.Gün, Öğleden Önce	2.Gün, Öğleden Önce
Samsung Note 8	r3.o1.d3.g1.1	r3.o1.d3.g1.2	r3.o1.d3.g2.1	r3.o1.d3.g2.2
OnePlus 6	r3.o2.d1.g1.1	r3.o2.d1.g1.2	r3.o2.d1.g2.1	r3.o2.d1.g2.2
GM 9 Plus	r3.o3.d2.g1.1	r3.o3.d2.g1.2	r3.o3.d2.g2.1	r3.o3.d2.g2.2

### 5.1 Rota 1 Toplanan Veriler ve Analizleri

Rota 1 olan Maslak lokasyonunda Turkcell operatörüyle toplanan verilere ait tablo Çizelge 5.7’de yer almaktadır. Test ve veri toplama sırasında Turkcell operatörünün

rotayı 3 bölge olarak tanımladığı, veri toplama sırasında 46 adet farklı baz istasyonundan 55 adet farklı sektörden iki referans cihazla toplamda 979 farklı veri toplanmıştır.

**Çizelge 5.7:** r1.o1 toplanan veriler.

Başlık	Rota Mesafesi	Bölge Sayısı	Baz İstasyonu Sayısı	Sektör Sayısı	Toplanan Veri Sayısı
r1.o1.d1	18.7	3	46	55	567
r1.o1.d2	18.7	3	44	46	412
<b>Toplam</b>	<b>18.7</b>	<b>3</b>	<b>46</b>	<b>55</b>	<b>979</b>

Çizelge 5.8’de Rota 1’de Turkcell operatörüyle toplanan verilerin analizi tablosu yer almaktadır. Bu tabloya göre Turkcell operatörünün iki referans cihaz dikkate alınarak en yüksek sinyal gücü -56 dBm olarak 163.5 metre yükseklikte ve mükemmel kategorisinde, en düşük sinyal gücü -119 dBm olarak 139.4 metre yükseklikte ve çok zayıf kategorisinde, ortalama sinyal gücü -89.823 dBm olarak ortalama 131.971 metre yükseklikte ve iyi kategorisinde olduğu ölçülmüştür. En iyi sinyal gücünü ortalama yüksekten yaklaşık 30 metre kadar yüksek bir noktada aldığı gözlemlenmiştir.

**Çizelge 5.8:** r1.o1 toplanan verilerin analizi.

Başlık	En düşük(dBm)	En yüksek(dBm)	Ortalama(dBm)	En düşük(m)	En yüksek(m)	Ortalama(m)
r1.o1.d1	-115	-56	-89.526	55.800	171.400	130.829
r1.o1.d2	-119	-57	-90.121	47.300	175.500	133.114
<b>Ortalama</b>	<b>-117</b>	<b>-56.5</b>	<b>-89.823</b>	<b>51.55</b>	<b>173.45</b>	<b>131.971</b>

Rota 1 olan Maslak lokasyonunda Vodafone operatörüyle toplanan verilere ait tablo Çizelge 5.9’da yer almaktadır. Test ve veri toplama sırasında Vodafone operatörünün rotayı 5 bölge olarak tanımladığı, veri toplama sırasında 75 adet farklı baz istasyonundan 82 adet farklı sektörden iki referans cihazla toplamda 800 adet farklı veri toplanmıştır.

**Çizelge 5.9:** r1.o2 toplanan veriler.

Başlık	Rota Mesafesi	Bölge Sayısı	Baz İstasyonu Sayısı	Sektör Sayısı	Toplanan Veri Sayısı
r1.o1.d1	18.7	5	75	82	462

r1.o1.d2	18.7	5	63	66	338
<b>Toplam</b>	<b>18.7</b>	<b>5</b>	<b>75</b>	<b>82</b>	<b>800</b>

Çizelge 5.10’da, Rota 1’de Vodafone operatörüyle toplanan verilerin analizi tablosu yer almaktadır. Bu tabloya göre Vodafone operatörünün iki referans cihaz dikkate alınarak en yüksek sinyal gücü -44 dBm birden fazla noktada ortalaması 76.009 metre yükseklikte ve mükemmel kategorisinde, en düşük sinyal gücü -115 dBm birden fazla noktada ortalaması 152 metre yükseklikte ve çok zayıf kategorisinde, ortalama sinyal gücü -81.251 dBm olarak ortalama 110.988 metre yükseklikte ve iyi kategorisinde olduğu ölçülmüştür. En iyi sinyal gücünü ortalama yüksekten yaklaşık 35 metre kadar daha alçak ortalamaya sahip birden fazla noktada aldığı gözlemlenmiştir.

**Çizelge 5.10:** r1.o2 toplanan verilerin analizi.

Başlık	En düşük (dBm)	En yüksek (dBm)	Ortalama (dBm)	En düşük (m)	En yüksek (m)	Ortalama (m)
r1.o2.d1	-112	-44	-81.494	3.9	133.6	87.987
r1.o2.d2	-115	-46	-81.009	51.4	211.3	133.989
<b>Ortalama</b>	<b>-113.5</b>	<b>-45</b>	<b>-81.251</b>	<b>27.65</b>	<b>172.45</b>	<b>110.988</b>

Rota 1 olan Maslak lokasyonunda Türk Telekom operatörüyle toplanan verilere ait tablo Çizelge 5.11’de yer almaktadır. Test ve veri toplama sırasında Türk Telekom operatörünün rotayı 4 bölge olarak tanımladığı, veri toplama sırasında 54 adet farklı baz istasyonundan 56 adet farklı sektörden iki referans cihazla toplamda 1153 adet farklı veri toplanmıştır.

**Çizelge 5.11:** r1.o3 toplanan veriler.

Başlık	Rota Mesafesi	Bölge Sayısı	Baz İstasyonu Sayısı	Sektör Sayısı	Toplanan Veri Sayısı
r1.o3.d1	18.7	3	54	55	668
r1.o3.d2	18.7	4	53	56	485
<b>Toplam</b>	<b>18.7</b>	<b>4</b>	<b>54</b>	<b>56</b>	<b>1153</b>

Çizelge 5.12’de, Rota 1’de Türk Telekom operatörüyle toplanan verilerin analizi tablosu yer almaktadır. Bu tabloya göre Türk Telekom operatörünün iki referans cihaz dikkate alınarak en yüksek sinyal gücü -50 dBm olarak 163 metre yükseklikte ve mükemmel kategorisinde, en düşük sinyal gücü -118 dBm olarak 154.5 metre

yükseklikte ve çok zayıf kategorisinde, ortalama sinyal gücü -87.933 dBm olarak ortalama 137.477 metre yükseklikte ve iyi kategorisinde olduğu ölçülmüştür. En iyi sinyal gücünü ortalama yüksekten yaklaşık 25 metre kadar daha yüksek noktada aldığı gözlemlenmiştir.

**Çizelge 5.12:** r1.o3 toplanan verilerin analizi.

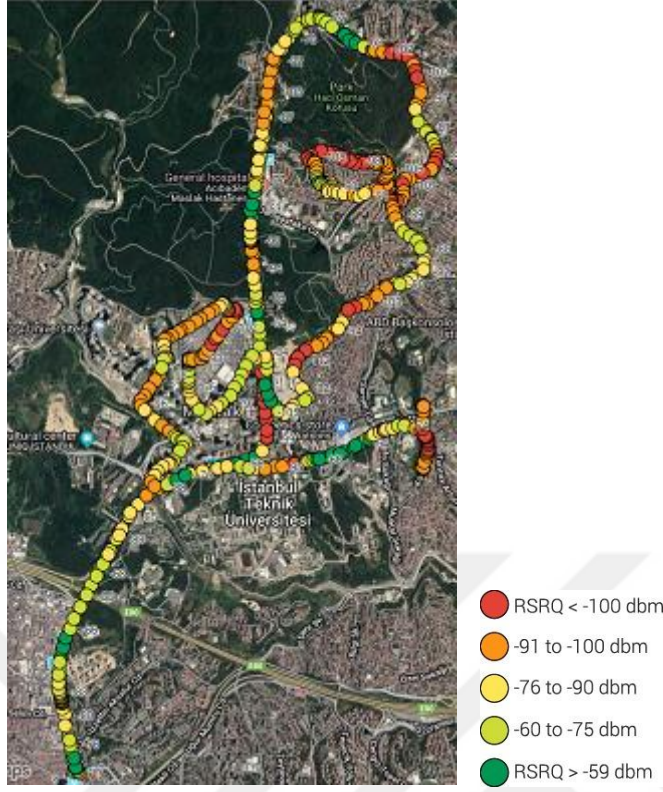
Başlık	En düşük(dBm)	En yüksek(dBm)	Ortalama(dBm)	En düşük(m)	En yüksek(m)	Ortalama(m)
r1.o3.d1	-118	-50	-87.684	58.5	198.6	144.342
r1.o3.d2	-117	-56	-88.181	47.9	175.2	130.612
<b>Ortalama</b>						
<b>a</b>	<b>-117.5</b>	<b>-53</b>	<b>-87.933</b>	<b>53.2</b>	<b>186.9</b>	<b>137.477</b>

Çizelge 5.13'te yer alan tabloda tüm operatörlere ait verilerin sinyal gücü kırılımı yer almaktadır.

**Çizelge 5.13:** Rota 1 sinyal gücü kırılımı.

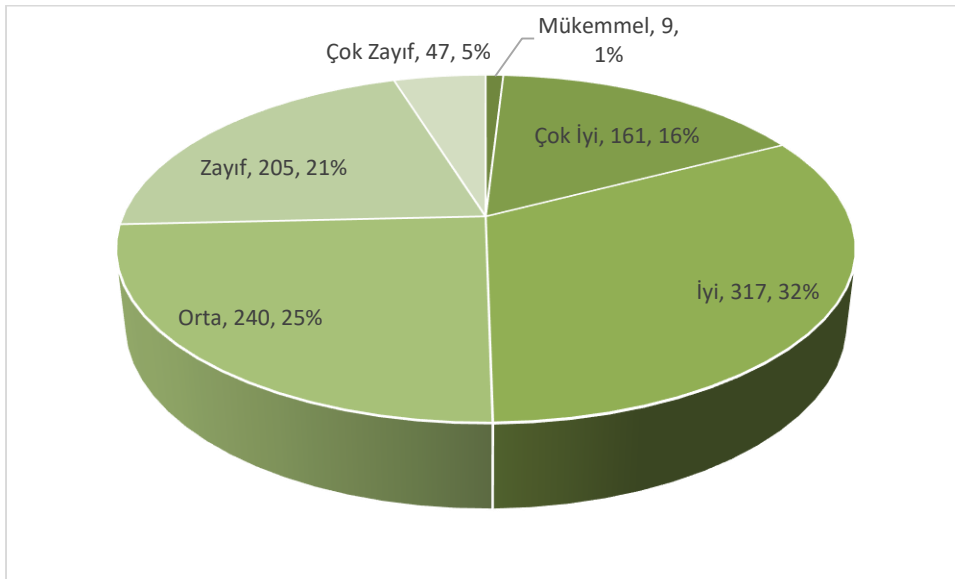
Sinyal Gücü	Turkcell	Vodafone	Türk Telekom
Mükemmel	9	44	9
Çok İyi	161	208	249
İyi	317	340	381
Orta	240	147	227
Zayıf	205	56	241
Çok Zayıf	47	5	46
<b>Toplam</b>	<b>979</b>	<b>800</b>	<b>1153</b>

Şekil 5.9'da Rota 1 bölgesinde Turkcell operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücüne göre haritaya aktarılmıştır.



Şekil 5.9: Rota 1 / Turkcell sinyal gücü haritası.

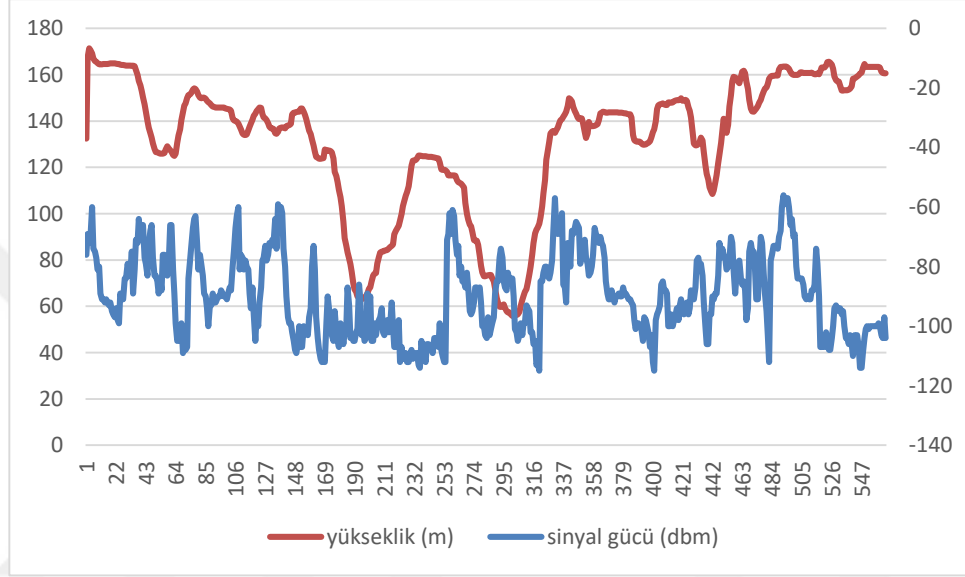
Şekil 5.10'da yer alan grafik incelendiğinde Rota 1 boyunca Turkcell operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücünün yaklaşık %78 oranında orta ve üzeri sinyal gücü kategorisinde, kalan %22'lik kısmın ise zayıf ve daha altı sinyal gücü kategorisinde yer aldığı görülmektedir.



Şekil 5.10: Rota 1 / Turkcell operatörü sinyal gücü dağılımı.

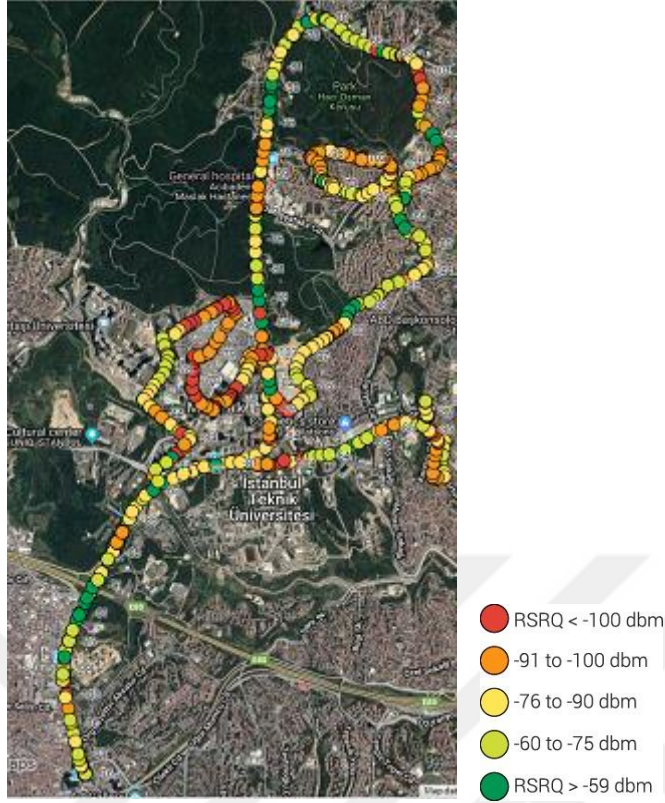


Şekil 5.11’de yer alan grafikte yüksekliğe karşın sinyal gücü durumu karşılaştırılmıştır. Yüksek olan noktalarda kimi zaman sinyal gücünde iyileşmeler görülürken kimi noktalarda yükseklik arttıkça sinyalde düşmeler olduğu görülmüştür. 253 ve 274 numaralı örneklemeler arasında yüksekliğin düştükçe sinyal gücünde düştüğü görülmüştür. 316 ve 337 numaralı örneklemeler arasında yüksekliğin arttıkça sinyal gücünde yükselme olduğu görülmüştür.



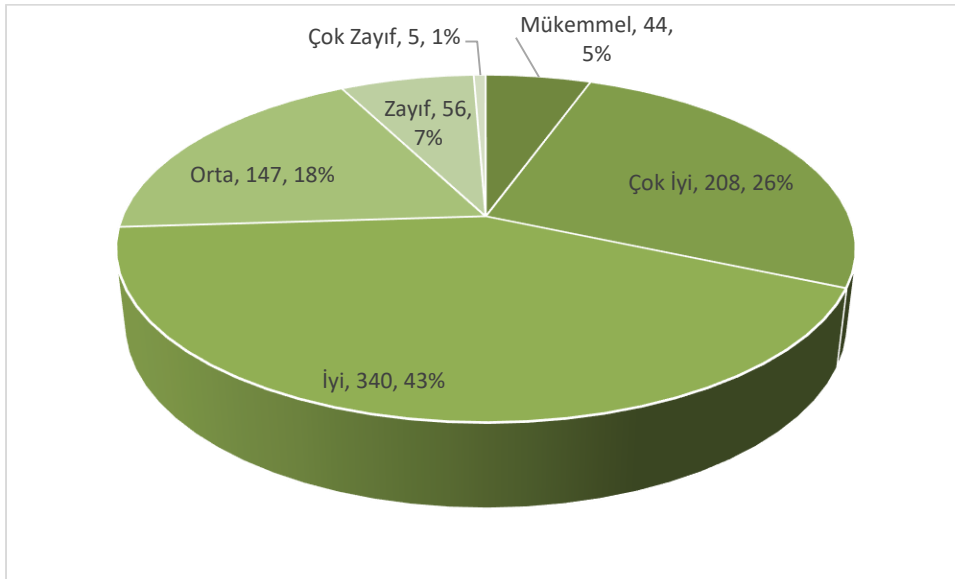
**Şekil 5.11:** Rota 1 / Turkcell / Cihaz 1 sinyal gücü ile yükseklik ilişkisi grafiği.

Şekil 5.12’de Maslak bölgesinde Vodafone operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücüne göre haritaya aktarılmıştır.



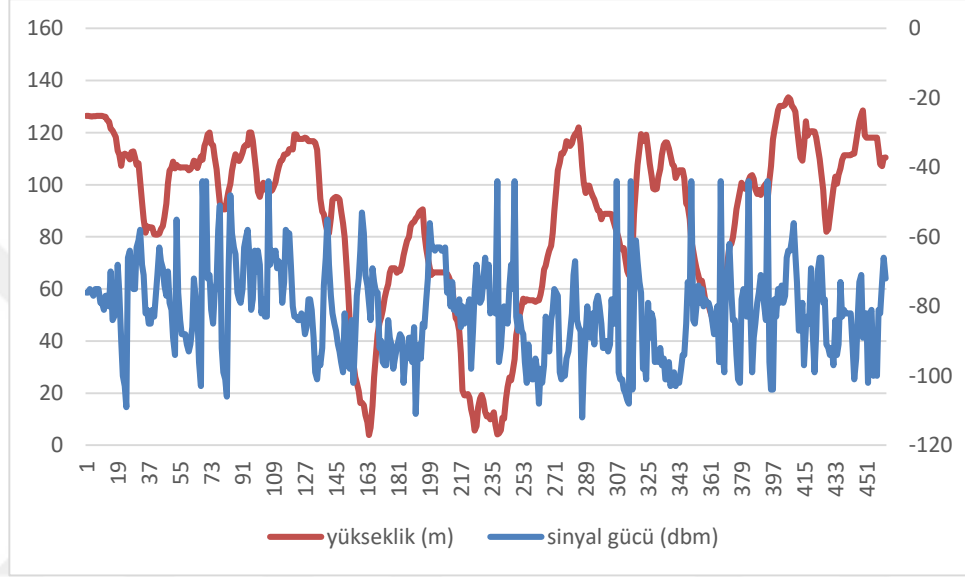
Şekil 5.12: Rota 1 / Vodafone sinyal gücü haritası.

Şekil 5.13'de yer alan grafik incelendiğinde Rota 1 boyunca Vodafone operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücünün yaklaşık %92 oranında orta ve üzeri sinyal gücü kategorisinde, kalan %8'lik kısmın ise zayıf ve daha altı sinyal gücü kategorisinde yer aldığı görülmektedir.



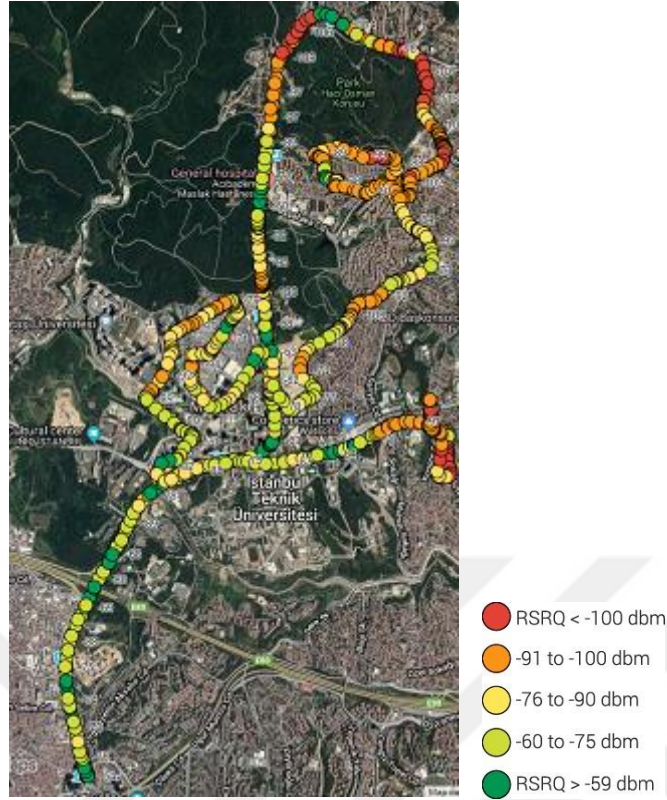
Şekil 5.13: Rota 1 / Vodafone operatörü sinyal gücü dağılımı.

Şekil 5.14'te yer alan grafikte yüksekliğe karşın sinyal gücü durumu karşılaştırılmıştır. Yüksek olan noktalarda kimi zaman sinyal gücünde iyileşmeler görülürken kimi noktalarda yükseklik arttıkça sinyalde düşmeler olduğu görülmüştür. 199 ve 217 numaralı örneklemeler arasında yüksekliğin düşükçe sinyal gücünde düştüğü görülmüştür. 325 ve 361 numaralı örneklemeler arasında yüksekliğin arttıkça sinyal gücünde yükselme olduğu görülmüştür.



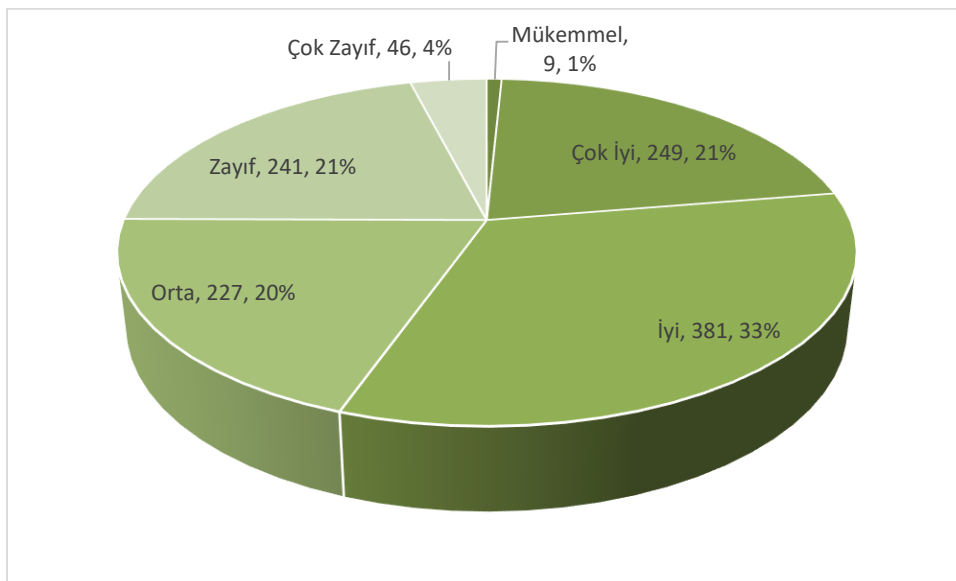
**Şekil 5.14:** Rota 1 / Vodafone / Cihaz 1 sinyal gücü ile yükseklik ilişkisi grafiği.

Şekil 5.15'te Maslak bölgesinde Türk Telekom operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücüne göre haritaya aktarılmıştır.



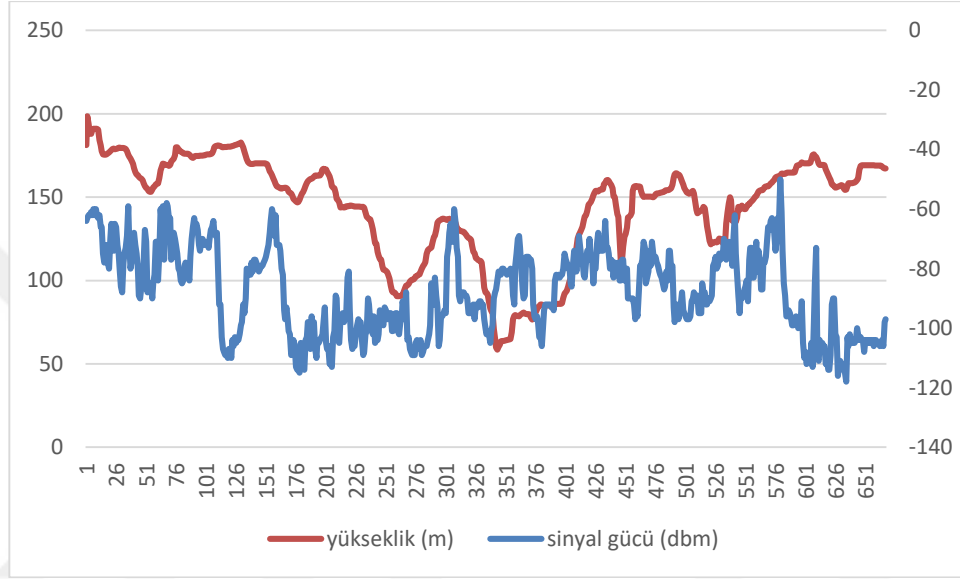
**Şekil 5.15:** Rota 1 / Türk Telekom sinyal gücü haritası.

Şekil 5.16’da yer alan grafik incelendiğinde Rota 1 boyunca Türk Telekom operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücünün yaklaşık %75 oranında orta ve üzeri sinyal gücü kategorisinde, kalan %25’lik kısmın ise zayıf ve daha altı sinyal gücü kategorisinde yer aldığı görülmektedir.



**Şekil 5.16:** Rota 1 / Türk Telekom operatörü sinyal gücü dağılımı.

Şekil 5.17’de yer alan grafikte yüksekliğe karşın sinyal gücü durumu karşılaştırılmıştır. Yüksek olan noktalarda kimi zaman sinyal gücünde iyileşmeler görülürken kimi noktalarda yükseklik arttıkça sinyalde düşmeler olduğu görülmüştür. 326 ve 340 numaralı örneklemeler arasında yüksekliğin düştükçe sinyal gücünde düştüğü görülmüştür. 380 ve 401 numaralı örneklemeler arasında yüksekliğin arttıkça sinyal gücünde yükselme olduğu görülmüştür.



Şekil 5.17: Rota 1 / Türk Telekom / Cihaz 1 sinyal gücü ile yükseklik ilişkisi grafiği.

## 5.2 Rota 2 Toplanan Veriler ve Analizleri

Rota 2 İTÜ kampüs lokasyonunda Turkcell operatörüyle toplanan verilere ait tablo Çizelge 5.14’de yer almaktadır. Test ve veri toplama sırasında Turkcell operatörünün rotayı 1 bölge olarak tanımladığı, veri toplama sırasında 24 adet farklı baz istasyonundan 24 adet farklı sektörden iki referans cihazla toplamda 135 farklı veri toplanmıştır.

Çizelge 5.14: r2.o1 toplanan veriler.

Başlık	Rota Mesafesi	Bölge Sayısı	Baz İstasyonu Sayısı	Sektör Sayısı	Toplanan Veri Sayısı
r2.o1.d1	3.9	1	24	24	77
r2.o1.d2	3.9	1	19	19	58
<b>Toplam</b>	<b>3.9</b>	<b>1</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>135</b>

Çizelge 5.15’de Rota 2’de Turkcell operatörüyle toplanan verilerin analizi tablosu yer almaktadır. Bu tabloya göre Turkcell operatörünün iki referans cihaz dikkate alınarak en yüksek sinyal gücü -52 dBm olarak birden fazla noktada ortalama 137.066 metre yükseklikte ve mükemmel kategorisinde, en düşük sinyal gücü -97 dBm olarak 117.5 metre yükseklikte ve orta kategoride, ortalama sinyal gücü -70.205 dBm olarak ortalama 134.557 metre yükseklikte ve çok iyi kategorisinde olduğu ölçülmüştür. En iyi sinyal gücünü ortalama yüksekten yaklaşık 2.5 metre kadar daha yüksek ortalamaya sahip birden fazla noktada aldığı gözlemlenmiştir.

**Çizelge 5.15: r2.o1 toplanan verilerin analizi.**

Başlık	En düşük(dBm)	En yüksek(dBm)	Ortalama(dBm)	En düşük(m)	En yüksek(m)	Ortalama(m)
r2.o1.d1	-97	-52	-69.961	116.1	158.5	140.949
r2.o1.d2	-86	-53	-70.448	93.4	162.1	128.166
<b>Ortalama</b>	<b>-91.5</b>	<b>-52.5</b>	<b>-70.205</b>	<b>104.75</b>	<b>160.3</b>	<b>134.557</b>

Rota 2 olan İTÜ kampüs lokasyonunda Vodafone operatörüyle toplanan verilere ait tablo Çizelge 5.16’da yer almaktadır. Test ve veri toplama sırasında Vodafone operatörünün rotayı 1 bölge olarak tanımladığı, veri toplama sırasında 17 adet farklı baz istasyonundan 17 adet farklı sektörden iki referans cihazla toplamda 139 adet farklı veri toplanmıştır.

**Çizelge 5.16: r2.o2 toplanan veriler.**

Başlık	Rota Mesafesi	Bölge Sayısı	Baz İstasyonu Sayısı	Sektör Sayısı	Toplanan Veri Sayısı
r2.o2.d1	3.9	1	17	17	81
r2.o2.d2	3.9	1	16	16	58
<b>Toplam</b>	<b>3.9</b>	<b>1</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>139</b>

Çizelge 5.17’de, Rota 2’de Vodafone operatörüyle toplanan verilerin analizi tablosu yer almaktadır. Bu tabloya göre Vodafone operatörünün iki referans cihaz dikkate alınarak en yüksek sinyal gücü -44 dBm olarak 98.8 metre yükseklikte ve mükemmel kategorisinde, en düşük sinyal gücü -110 dBm birden fazla noktada ortalaması 121.05 metre yükseklikte ve zayıf kategorisinde, ortalama sinyal gücü -79.216 dBm olarak ortalama 114.576 metre yükseklikte ve iyi kategorisinde olduğu ölçülmüştür. En iyi

sinyal gücünü ortalama yüksekten yaklaşık 14 metre kadar daha alçak bir noktada aldığı gözlemlenmiştir.

**Çizelge 5.17:** r2.o2 toplanan verilerin analizi.

Başlık	En düşük(dBm)	En yüksek(dBm)	Ortalama(dBm)	En düşük(m)	En yüksek(m)	Ortalama(m)
r2.o2.d1	-110	-44	-80.173	55.2	126.3	91.447
r2.o2.d2	-110	-56	-78.259	100.6	167.6	137.705
<b>Ortalama</b>						
<b>a</b>	<b>-110</b>	<b>-50</b>	<b>-79.216</b>	<b>77.9</b>	<b>146.95</b>	<b>114.576</b>

Rota 2 olan İTÜ kampüs lokasyonunda Türk Telekom operatörüyle toplanan verilere ait tablo Çizelge 5.18’de yer almaktadır. Test ve veri toplama sırasında Türk Telekom operatörünün rotayı 1 bölge olarak tanımladığı, veri toplama sırasında 6 adet farklı baz istasyonundan 7 adet farklı sektörden iki referans cihazla toplamda 131 adet farklı veri toplanmıştır.

**Çizelge 5.18:** r2.o3 toplanan veriler.

Başlık	Rota Mesafesi	Bölge Sayısı	Baz İstasyonu Sayısı	Sektör Sayısı	Toplanan Veri Sayısı
r2.o3.d1	3.9	1	6	7	76
r2.o3.d2	3.9	1	6	7	55
<b>Toplam</b>	<b>3.9</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>131</b>

Çizelge 5.19’da, Rota 2’de Türk Telekom operatörüyle toplanan verilerin analizi tablosu yer almaktadır. Bu tabloya göre Türk Telekom operatörünün iki referans cihaz dikkate alınarak en yüksek sinyal gücü -60 dBm olarak 121.9 metre yükseklikte ve çok iyi kategorisinde, en düşük sinyal gücü -111 dBm olarak 134.3 metre yükseklikte ve çok zayıf kategorisinde, ortalama sinyal gücü -90.407 dBm olarak ortalama 134.934 metre yükseklikte ve çok iyi kategorisinde olduğu ölçülmüştür. En iyi sinyal gücünü ortalama yüksekten yaklaşık 13 metre kadar daha alçak noktada aldığı gözlemlenmiştir.

**Çizelge 5.19:** r2.o3 toplanan verilerin analizi.

Başlık	En düşük (dBm)	En yüksek (dBm)	Ortalama (dBm)	En düşük (m)	En yüksek (m)	Ortalama (m)
r2.o3.d1	-111	-65	-90.342	123.7	163.8	144.629

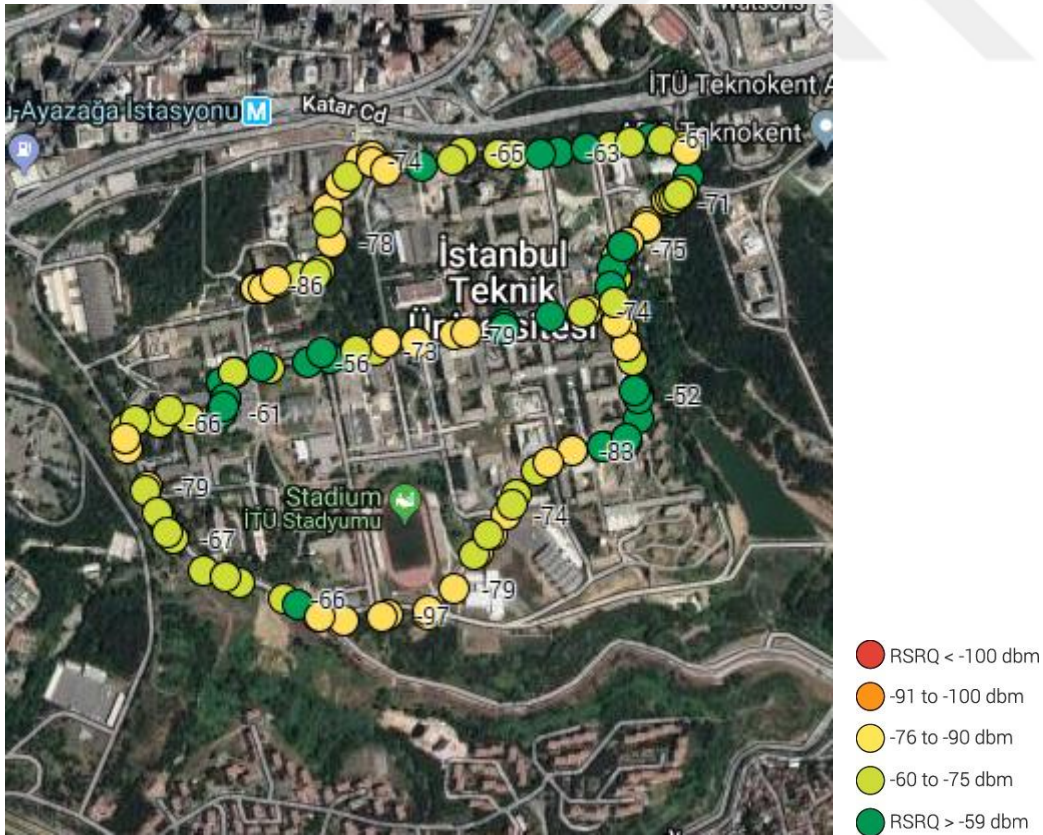
r2.o3.d2	-108	-60	-90.473	94.2	155.1	125.238
<b>Ortalama</b>	<b>-109.5</b>	<b>-62.5</b>	<b>-90.407</b>	<b>108.95</b>	<b>159.45</b>	<b>134.934</b>

Çizelge 5.20’de yer alan tabloda tüm operatörlere ait verilerin sinyal gücü kırılımı yer almaktadır.

**Çizelge 5.20: Rota 2 sinyal gücü kırılımı.**

Sinyal Gücü	Turkcell	Vodafone	Türk Telekom
Mükemmel	22	10	0
Çok İyi	75	44	18
İyi	37	60	40
Orta	1	14	44
Zayıf	0	11	28
Çok Zayıf	0	0	1
<b>Toplam</b>	<b>135</b>	<b>139</b>	<b>131</b>

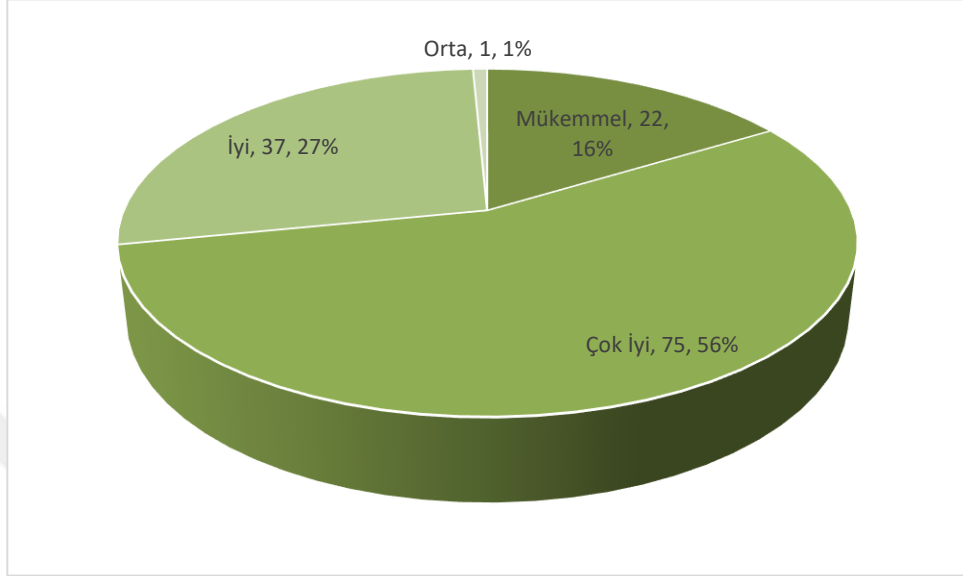
Şekil 5.18’de İTÜ kampüs bölgesinde Turkcell operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücüne göre haritaya aktarılmıştır.



**Şekil 5.18: Rota 2 / Turkcell sinyal gücü haritası.**

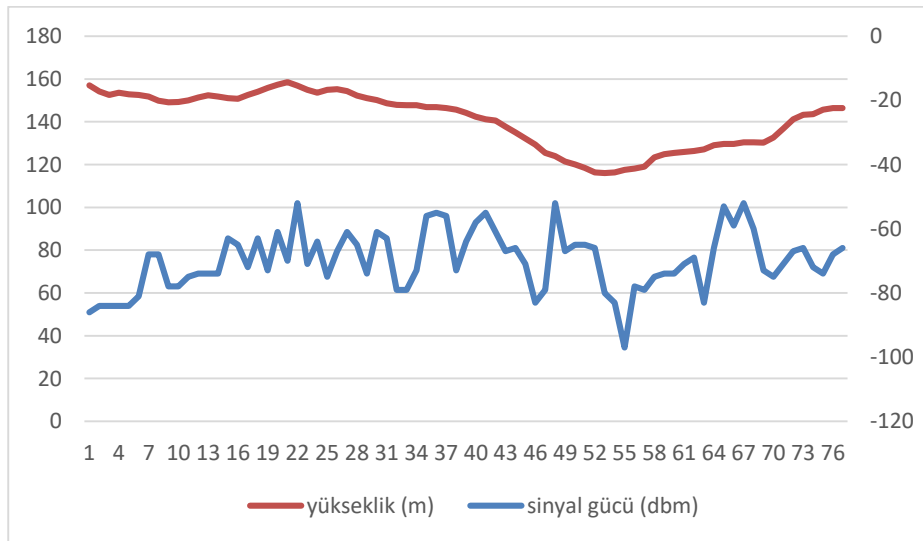


Şekil 5.19’da yer alan grafik incelendiğinde Rota 2 boyunca Turkcell operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücünün yaklaşık %100 oranında orta ve üzeri sinyal gücü kategorisinde yer aldığı görülmektedir.



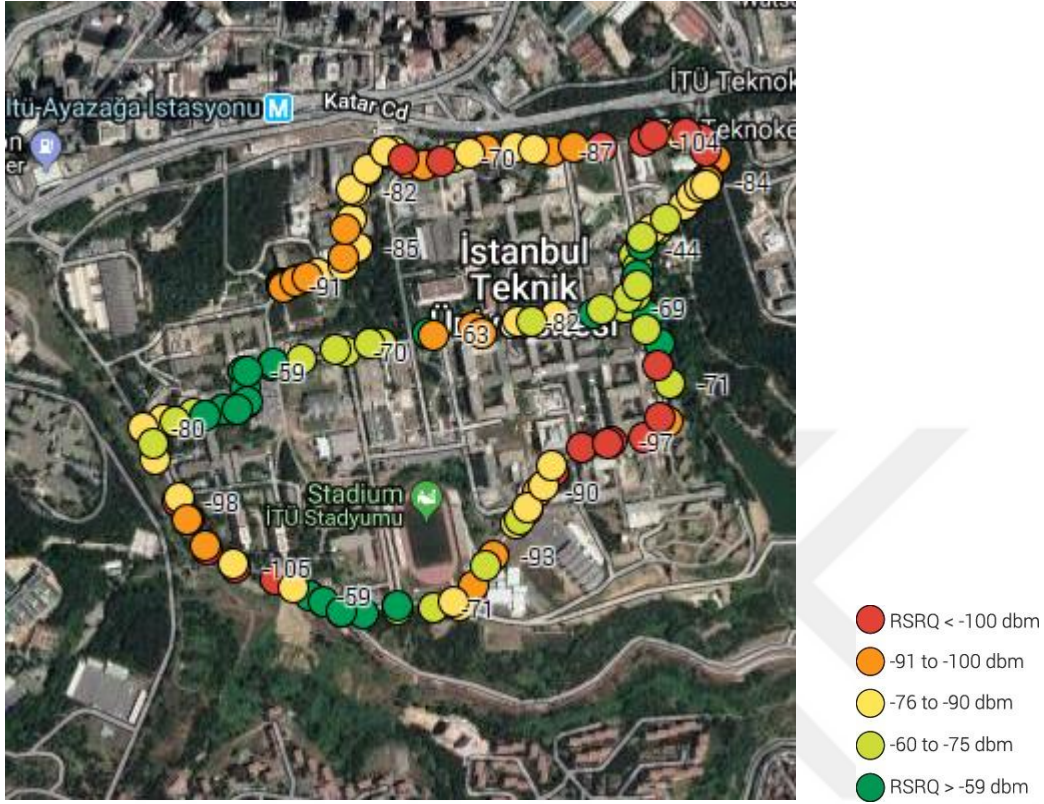
Şekil 5.19: Rota 2 / Turkcell operatörü sinyal gücü dağılımı.

Şekil 5.20’de yer alan grafikte yüksekliğe karşın sinyal gücü durumu karşılaştırılmıştır. Yüksek olan noktalarda kimi zaman sinyal gücünde iyileşmeler görülürken kimi noktalarda yükseklik arttıkça sinyalde düşmeler olduğu görülmüştür. 34 ve 37 numaralı örneklemeler arasında yüksekliğin düştükçe sinyal gücünde yükselme olduğu görülmüştür. 57 ve 63 numaralı örneklemeler arasında yüksekliğin arttıkça sinyal gücünde yükselme olduğu görülmüştür.



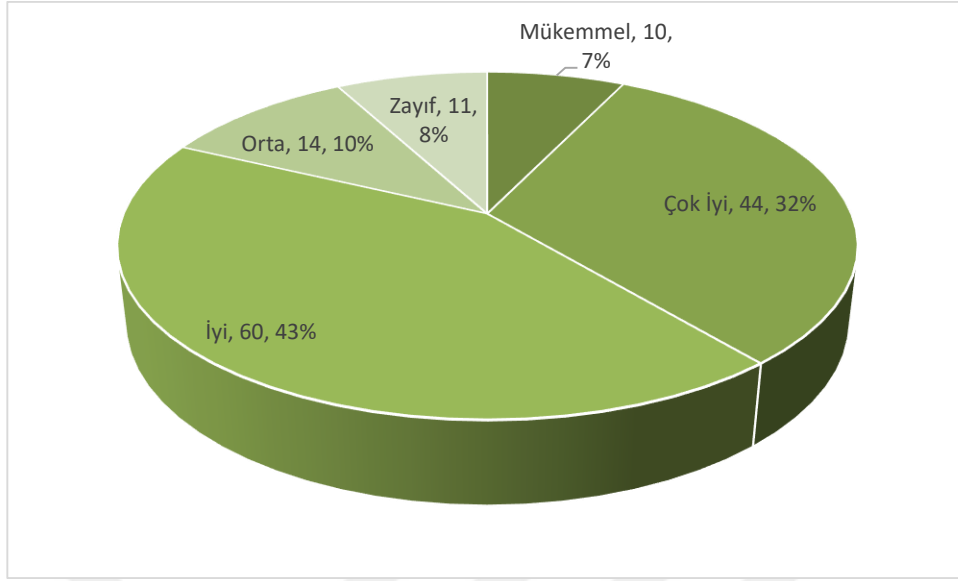
Şekil 5.20: Rota 2 / Turkcell / Cihaz 1 sinyal gücü ile yükseklik ilişkisi grafiği.

Şekil 5.21’de İTÜ kampüs bölgesinde Vodafone operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücüne göre haritaya aktarılmıştır.



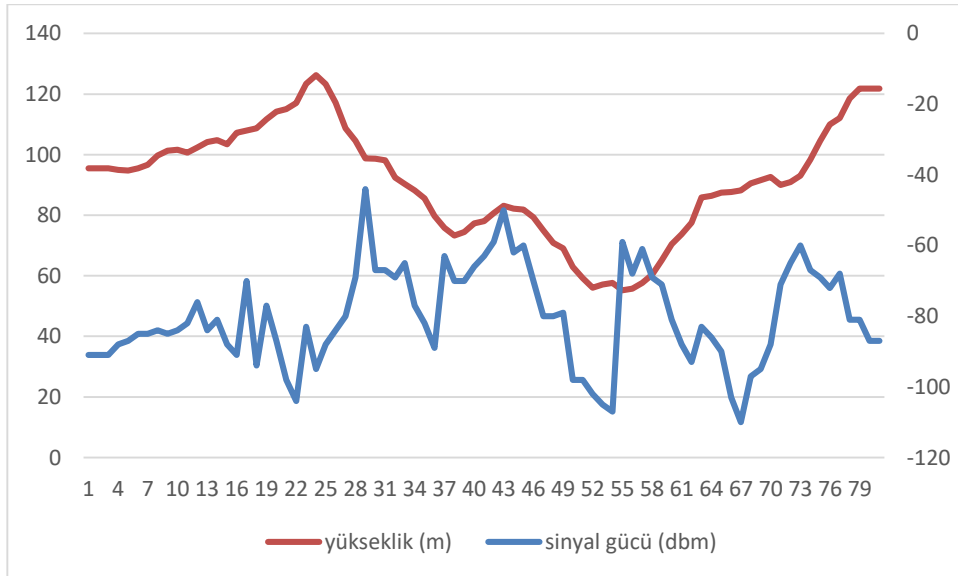
Şekil 5.21: Rota 2 / Vodafone sinyal gücü haritası.

Şekil 5.22’de yer alan grafik incelendiğinde Rota 2 boyunca Vodafone operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücünün yaklaşık %92 oranında orta ve üzeri sinyal gücü kategorisinde kalan %8’lik kısmın ise zayıf sinyal gücü kategorisinde yer aldığı görülmektedir.



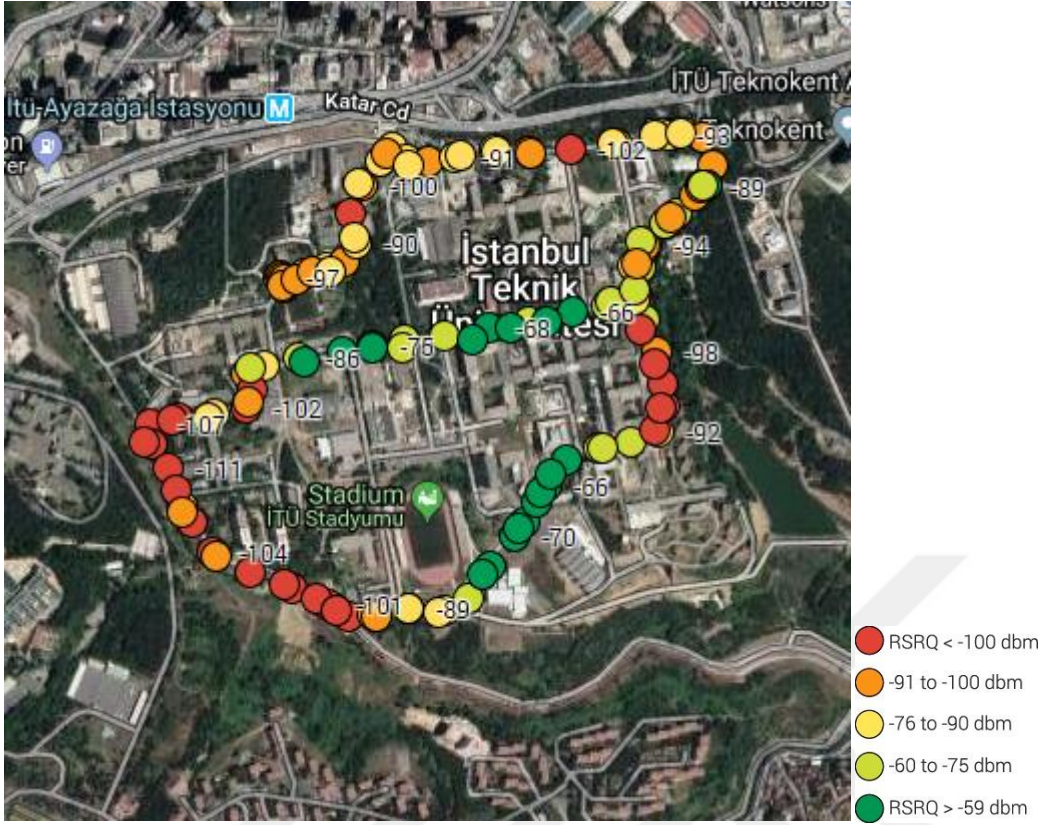
**Şekil 5.22:** Rota 2 / Vodafone operatörü sinyal gücü dağılımı.

Şekil 5.23'te yer alan grafikte yüksekliğe karşın sinyal gücü durumu karşılaştırılmıştır. Yüksek olan noktalarda kimi zaman sinyal gücünde iyileşmeler görülürken kimi noktalarda yükseklik arttıkça sinyalde düşmeler olduğu görülmüştür. 44 ve 55 numaralı örneklemeler arasında yüksekliğin düştükçe sinyal gücünde yükselme olduğu görülmüştür. 58 ve 63 numaralı örneklemeler arasında yüksekliğin arttıkça sinyal gücünde düştüğü görülmüştür.



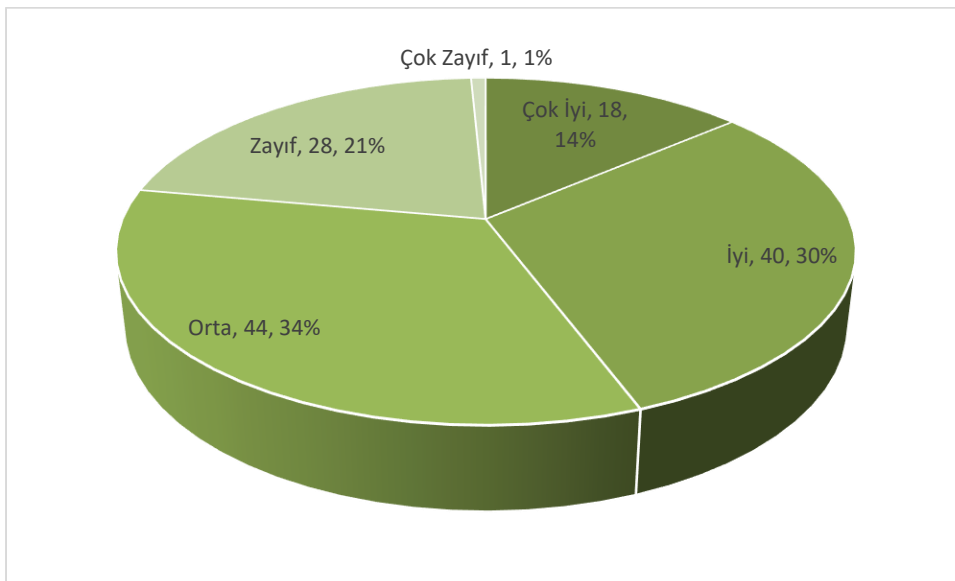
**Şekil 5.23:** Rota 2 / Vodafone / Cihaz 1 sinyal gücü ile yükseklik ilişkisi grafiği.

Şekil 5.24'te İTÜ kampüs bölgesinde Türk Telekom operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücüne göre haritaya aktarılmıştır.



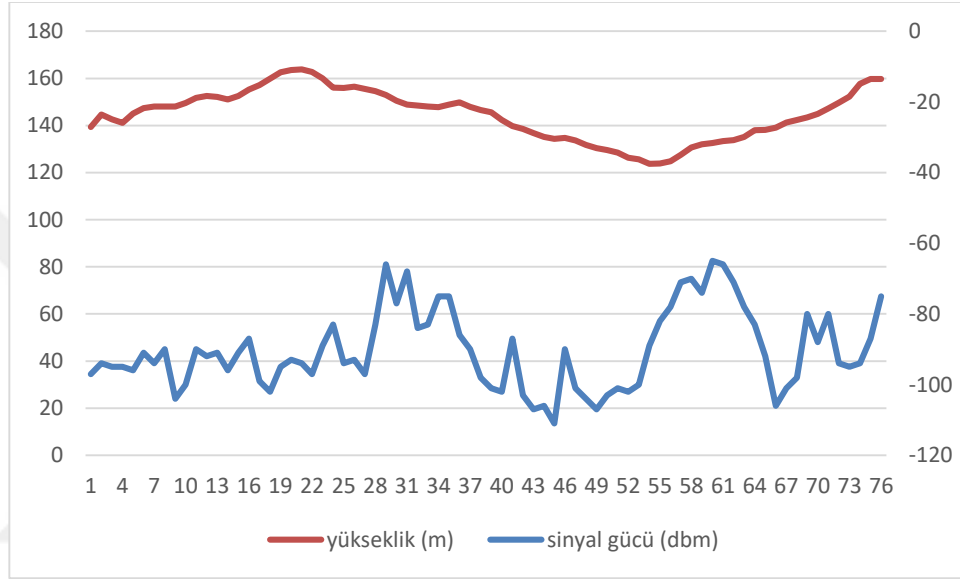
Şekil 5.24: Rota 2 / Türk Telekom sinyal gücü haritası.

Şekil 5.25'te yer alan grafik incelendiğinde Rota 2 boyunca Türk Telekom operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücünün yaklaşık %78 oranında orta ve üzeri sinyal gücü kategorisinde kalan %22'lik kısmın ise zayıf ve daha altı sinyal gücü kategorisinde yer aldığı görülmektedir.



Şekil 5.25: Rota 2 / Türk Telekom operatörü sinyal gücü dağılımı.

Şekil 5.26’da yer alan grafikte yüksekliğe karşın sinyal gücü durumu karşılaştırılmıştır. Yüksek olan noktalarda kimi zaman sinyal gücünde iyileşmeler görülürken kimi noktalarda yükseklik arttıkça sinyalde düşmeler olduğu görülmüştür. 28 ve 30 numaralı örneklemeler arasında yüksekliğin düştükçe sinyal gücünde yükselme olduğu görülmüştür. 61 ve 67 numaralı örneklemeler arasında yüksekliğin arttıkça sinyal gücünde düştüğü görülmüştür.



Şekil 5.26: Rota 2 / Türk Telekom / Cihaz 1 sinyal gücü ile yükseklik ilişkisi grafiği.

### 5.3 Rota 3 Toplanan Veriler ve Analizleri

Rota 3 Şişli lokasyonunda Turkcell operatörüyle toplanan verilere ait tablo Çizelge 5.21’de yer almaktadır. Test ve veri toplama sırasında Turkcell operatörünün rotayı 4 bölge olarak tanımladığı, veri toplama sırasında 39 adet farklı baz istasyonundan 53 adet farklı sektörden iki referans cihazla toplamda 1637 farklı veri toplanmıştır.

Çizelge 5.21: r3.01 toplanan veriler.

Başlık	Rota Mesafesi	Bölge Sayısı	Baz İstasyonu Sayısı	Sektör Sayısı	Toplanan Veri Sayısı
r3.01.d3.g1.1	7.2	3	36	44	305
r3.01.d3.g1.2	7.2	3	31	35	350
r3.01.d3.g2.1	7.2	3	39	46	269
r3.01.d3.g2.2	7.2	4	38	53	713
<b>Toplam</b>	<b>7.2</b>	<b>4</b>	<b>39</b>	<b>53</b>	<b>1637</b>

Çizelge 5.22’de Rota 3’de Turkcell operatörüyle toplanan verilerin analizi tablosu yer almaktadır. Bu tabloya göre Turkcell operatörünün, iki referans cihaz dikkate alınarak en yüksek sinyal gücü her iki farklı gün ve iki farklı zaman dilimine rağmen -44 dBm olarak birden fazla noktada ortalama 91.883 metre yükseklikte ve mükemmel kategorisinde, en düşük sinyal gücü -131 dBm olarak 114.1 metre yükseklikte ve çok zayıf kategoride, ortalama sinyal gücü -82.140 dBm olarak ortalama 99.273 metre yükseklikte ve iyi kategorisinde olduğu ölçülmüştür. En iyi sinyal gücünü ortalama yüksekten yaklaşık 8 metre kadar daha alçak ortalamaya sahip birden fazla noktada aldığı gözlemlenmiştir.

**Çizelge 5.22:** r3.o1 toplanan verilerin analizi.

Başlık	En düşük(dBm)	En yüksek(dBm)	Ortalama(dBm)	En düşük(m)	En yüksek(m)	Ortalama(m)
r3.o1.d3.g1.1	-113	-44	-83.931	5.5	165.5	108.171
r3.o1.d3.g1.2	-112	-44	-82.934	48.9	150.6	102.896
r3.o1.d3.g2.1	-99	-44	-79.654	21.1	141.5	94.307
r3.o1.d3.g2.2	-131	-44	-82.041	21	150.6	91.716
<b>Ortalama</b>	<b>-113.75</b>	<b>-44</b>	<b>-82.140</b>	<b>24.125</b>	<b>152.05</b>	<b>99.273</b>

Rota 3 Şişli lokasyonunda Vodafone operatörüyle toplanan verilere ait tablo Çizelge 5.23’te yer almaktadır. Test ve veri toplama sırasında Vodafone operatörünün rotayı 8 bölge olarak tanımladığı, veri toplama sırasında 43 adet farklı baz istasyonundan 47 adet farklı sektörden iki referans cihazla toplamda 1707 farklı veri toplanmıştır.

**Çizelge 5.23:** r3.o2 toplanan veriler.

Başlık	Rota Mesafesi	Bölge Sayısı	Baz İstasyonu Sayısı	Sektör Sayısı	Toplanan Veri Sayısı
r3.o2.d1.g1.1	7.2	5	30	32	312
r3.o2.d1.g1.2	7.2	5	34	37	366
r3.o2.d1.g2.1	7.2	8	39	43	273
r3.o2.d1.g2.2	7.2	5	43	47	756
<b>Toplam</b>	<b>7.2</b>	<b>8</b>	<b>43</b>	<b>47</b>	<b>1707</b>

Çizelge 5.24’te Rota 3’te Vodafone operatörüyle toplanan verilerin analizi tablosu yer almaktadır. Bu tabloya göre Vodafone operatörünün iki referans cihaz dikkate alınarak en yüksek sinyal gücü her iki farklı gün ve iki farklı zaman dilimine rağmen -56 dBm olarak birden fazla noktada ortalama 167.966 metre yükseklikte ve mükemmel kategorisinde, en düşük sinyal gücü -111 dBm olarak 148.775 metre yükseklikte ve

çok zayıf kategoride, ortalama sinyal gücü -82.982 dBm olarak ortalama 165.622 metre yükseklikte ve iyi kategorisinde olduğu ölçülmüştür. En iyi sinyal gücünü ortalama yüksekten yaklaşık 2 metre kadar daha yüksek ortalamaya sahip birden fazla noktada aldığı gözlemlenmiştir.

**Çizelge 5.24:** r3.o2 toplanan verilerin analizi.

Başlık	En düşük(dBm)	En yüksek(dBm)	Ortalama(dBm)	En düşük(m)	En yüksek(m)	Ortalama(m)
r3.o2.d1.g1.1	-111	-56	-84.362	113.3	183.8	156.491
r3.o2.d1.g1.2	-111	-56	-82.232	122.6	190.6	163.645
r3.o2.d1.g2.1	-110	-56	-82.289	131.8	211	178.842
r3.o2.d1.g2.2	-110	-58	-83.044	117.3	188.9	163.509
<b>Ortalama</b>	<b>-110.5</b>	<b>-57</b>	<b>-82.982</b>	<b>121.25</b>	<b>193.575</b>	<b>165.622</b>

Rota 3 Şişli lokasyonunda Türk Telekom operatörüyle toplanan verilere ait tablo Çizelge 5.25'te yer almaktadır. Test ve veri toplama sırasında Türk Telekom operatörünün rotayı 3 bölge olarak tanımladığı, veri toplama sırasında 26 adet farklı baz istasyonundan 28 adet farklı sektörden iki referans cihazla toplamda 1230 farklı veri toplanmıştır.

**Çizelge 5.25:** r3.o3 toplanan veriler.

Başlık	Rota Mesafesi	Bölge Sayısı	Baz İstasyonu Sayısı	Sektör Sayısı	Toplanan Veri Sayısı
r3.o3.d2.g1.1	7.2	3	24	27	228
r3.o3.d2.g1.2	7.2	3	26	28	265
r3.o3.d2.g2.1	7.2	3	20	22	196
r3.o3.d2.g2.2	7.2	3	24	26	541
<b>Toplam</b>	<b>7.2</b>	<b>3</b>	<b>26</b>	<b>28</b>	<b>1230</b>

Çizelge 5.26'da Rota 3'de Türk Telekom operatörüyle toplanan verilerin analizi tablosu yer almaktadır. Bu tabloya göre Türk Telekom operatörünün iki referans cihaz dikkate alınarak en yüksek sinyal gücü haftasonu yani cumartesi günü öğleden sonra yapılan testlerde -53 dBm olarak birden fazla noktada ortalama 163.45 metre yükseklikte ve mükemmel kategorisinde, en düşük sinyal gücü hafta içi yani pazartesi günü öğleden önce -114 dBm olarak 114.7 metre yükseklikte ve çok zayıf kategoride, ortalama sinyal gücü -83.28 dBm olarak ortalama 138.663 metre yükseklikte ve iyi kategorisinde olduğu ölçülmüştür. En iyi sinyal gücünü haftasonu cumartesi öğleden

öncesinin ortalama yüksekliğinden yaklaşık 11 metre kadar daha yüksek ortalamaya sahip birden fazla noktada aldığı gözlemlenmiştir.

**Çizelge 5.26:** r3.o3 toplanan verilerin analizi.

Başlık	En düşük(dBm)	En yüksek(dBm)	Ortalama(dBm)	En düşük(m)	En yüksek(m)	Ortalama(m)
r3.o3.d2.g1.1	-113	-54	-81.987	96.9	182.3	148.949
r3.o3.d2.g1.2	-112	-53	-82.192	101.5	194.1	152.147
r3.o3.d2.g2.1	-114	-61	-84.520	87.5	167.6	142.932
r3.o3.d2.g2.2	-111	-59	-84.426	100.4	200.8	156.776
<b>Ortalama</b>	<b>-112.5</b>	<b>-56.75</b>	<b>-83.281</b>	<b>96.575</b>	<b>186.2</b>	<b>150.201</b>

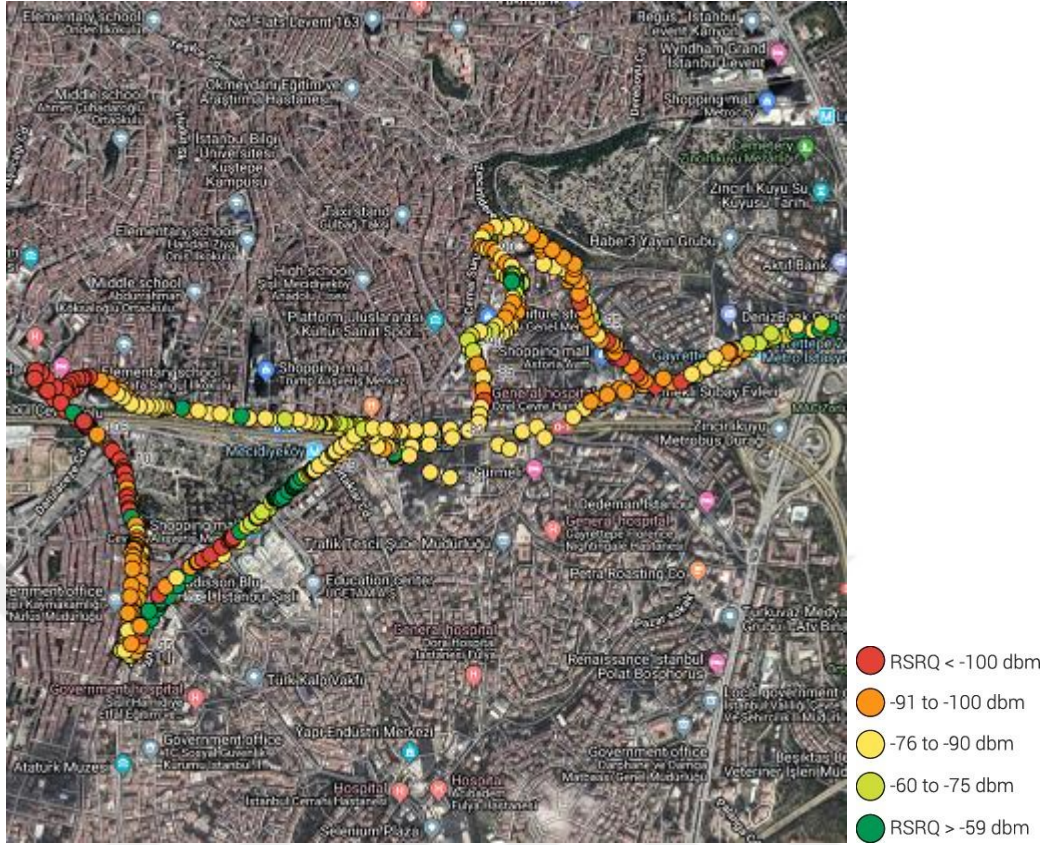
Çizelge 5.27’de yer alan tabloda tüm operatörlere ait verilerin birinci gün için sinyal gücü kırılımı yer almaktadır.

**Çizelge 5.27:** Rota 3 / Gün 1 sinyal gücü kırılımı.

Sinyal Seviyesi	Turkcell	Vodafone	Turk Telekom
Mükemmel	35	8	13
Çok İyi	122	210	137
İyi	297	247	226
Orta	117	124	78
Zayıf	79	85	33
Çok Zayıf	5	4	6
<b>Toplam</b>	<b>655</b>	<b>678</b>	<b>493</b>

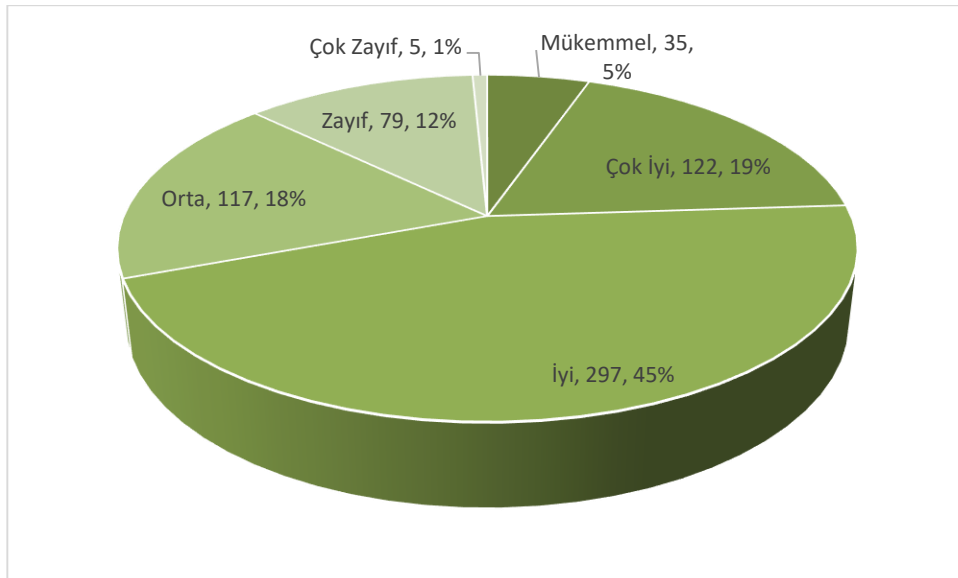
Şekil 5.27’de Şişli bölgesinde birinci gün Turkcell operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücüne göre haritaya aktarılmıştır.





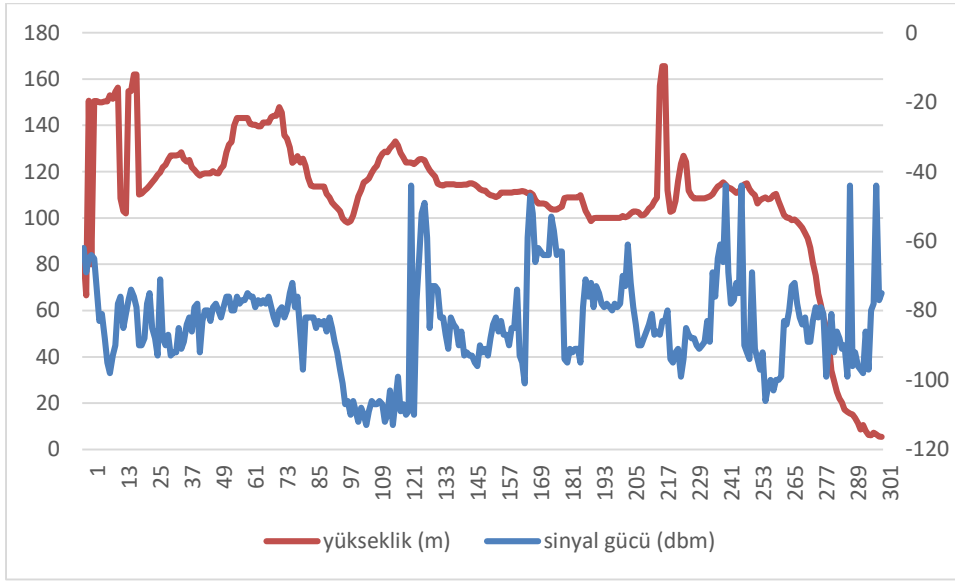
Şekil 5.27: Rota 3 / Gün 1 / Turkcell sinyal gücü haritası.

Şekil 5.28’de yer alan grafik incelendiğinde Rota 3’de birinci gün boyunca Turkcell operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücünün yaklaşık %87 oranında orta ve üzeri sinyal gücü kategorisinde kalan %13’lük kısmın ise zayıf ve daha altı sinyal gücü kategorisinde yer aldığı görülmektedir.



Şekil 5.28: Rota 3 / Gün 1 / Turkcell operatörü sinyal gücü dağılımı.

5.29'da Rota 3'ün birinci gününde öğleden önce Turkcell operatörüyle toplanan veriler doğrultusunda yüksekliğe karşın sinyal gücü durumu karşılaştırılmıştır. Yükseklik ile sinyal gücü arasındaki ilişki incelendiğinde kimi zaman yükseklik arttıkça sinyal gücünde iyileşmeler görülürken kimi noktalarda yükseklik arttıkça sinyal gücünde düşme olduğu görülmüştür. 172 ve 179 numaralı örneklemeler arasında yüksekliğin düştükçe sinyal gücünde yükselme olduğu görülmüştür. 6 ve 13 numaralı örneklemeler arasında yüksekliğin arttıkça sinyal gücü düştüğü görülmüştür.



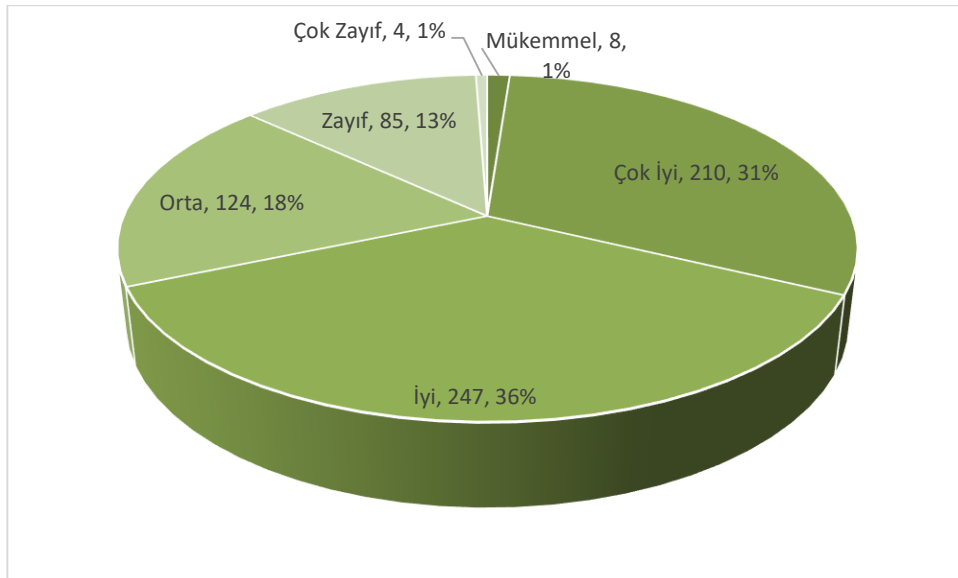
**Şekil 5.29:** Rota 3 / Turkcell / Gün 1 / Öğleden Önce / Cihaz 3 sinyal gücü ile yükseklik ilişkisi grafiği.

Şekil 5.30'da Şişli bölgesinde birinci gün Vodafone operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücüne göre haritaya aktarılmıştır.



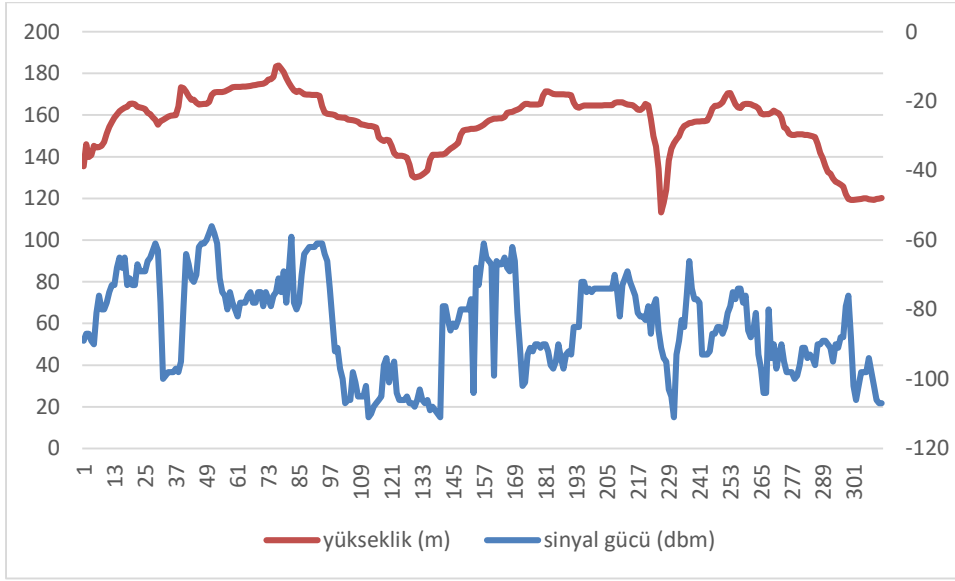
Şekil 5.30: Rota 3 / Gün 1 / Vodafone sinyal gücü haritası.

Şekil 5.31’de yer alan grafik incelendiğinde Rota 3’de birinci gün boyunca Vodafone operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücünün yaklaşık %86 oranında orta ve üzeri sinyal gücü kategorisinde kalan %14’lük kısmın ise zayıf ve daha altı sinyal gücü kategorisinde yer aldığı görülmektedir.



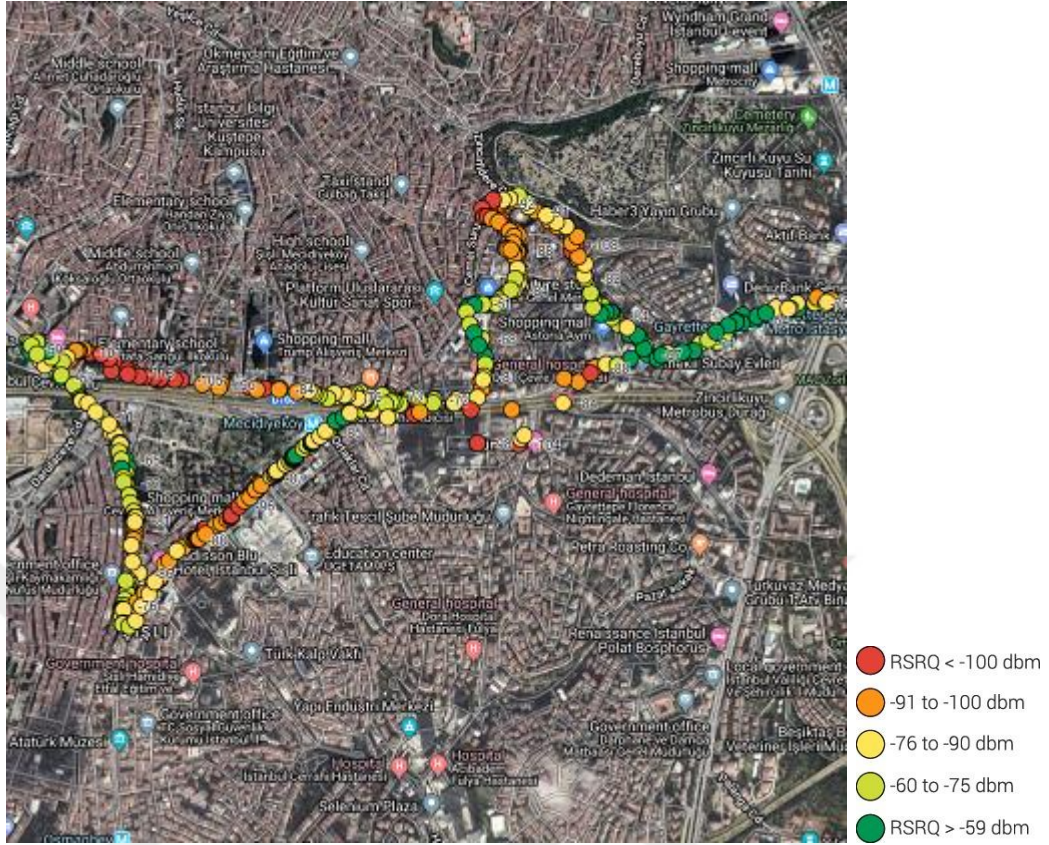
Şekil 5.31: Rota 3 / Gün 1 / Vodafone operatörü sinyal gücü dağılımı.

Şekil 5.32’de Rota 3’ün birinci gününde öğleden önce Vodafone operatörüyle toplanan veriler doğrultusunda yüksekliğe karşı sinyal gücü durumu karşılaştırılmıştır. Yükseklik ile sinyal gücü arasındaki ilişki incelendiğinde kimi zaman yükseklik arttıkça sinyal gücünde iyileşmeler görülürken kimi noktalarda yükseklik arttıkça sinyal gücünde düşme olduğu görülmüştür. 24 ve 30 numaralı örneklemeler arasında yüksekliğin düştükçe sinyal gücünde yükselme olduğu görülmüştür. 227 ve 232 numaralı örneklemeler arasında yüksekliğin arttıkça sinyal gücü düştüğü görülmüştür.



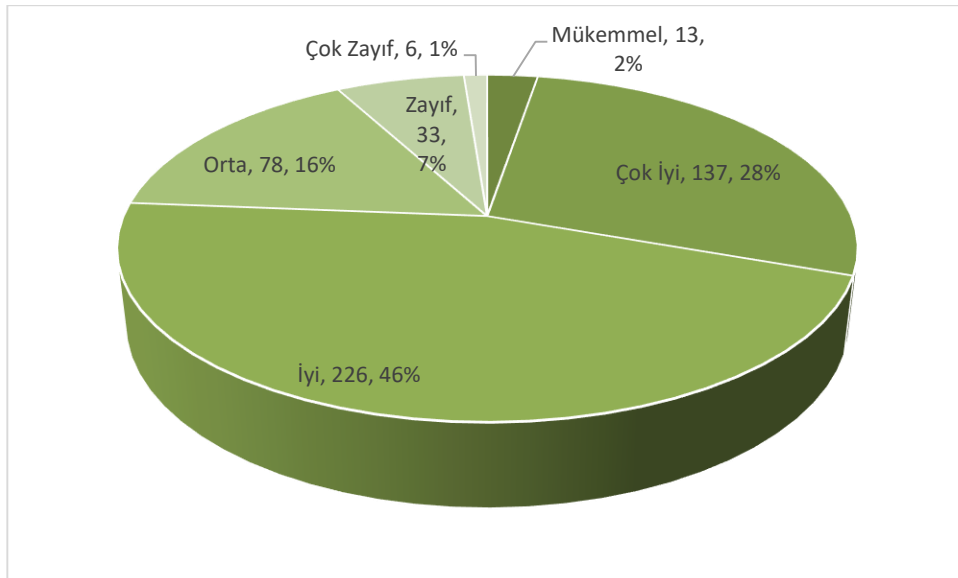
**Şekil 5.32:** Rota 3 / Vodafone / Gün 1 / Öğleden Önce / Cihaz 1 sinyal gücü ile yükseklik ilişkisi grafiği.

Şekil 5.33’te Şişli bölgesinde birinci gün Türk Telekom operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücüne göre haritaya aktarılmıştır.



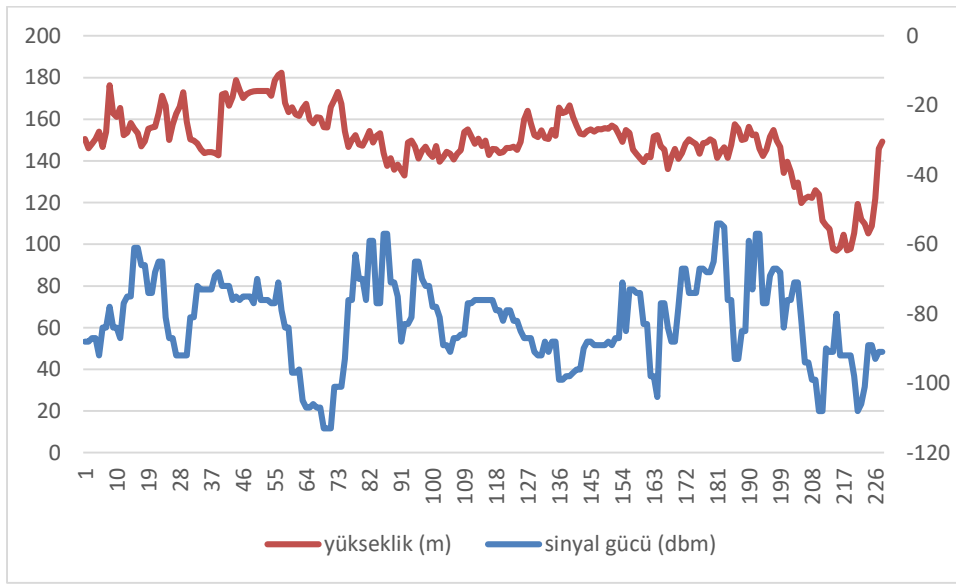
Şekil 5.33: Rota 3 / Gün 1 / Türk Telekom sinyal gücü haritası.

Şekil 5.34'te yer alan grafik incelendiğinde Rota 3'de birinci gün boyunca Türk Telekom operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücünün yaklaşık %92 oranında orta ve üzeri sinyal gücü kategorisinde kalan %8'lik kısmın ise zayıf ve daha altı sinyal gücü kategorisinde yer aldığı görülmektedir.



Şekil 5.34: Rota 3 / Gün 1 / Türk Telekom operatörü sinyal gücü dağılımı.

Şekil 5.35'te son olarak Türk Telekom operatörüyle yine aynı rota gün ve zaman diliminde toplanan veriler doğrultusunda yüksekliğe karşın sinyal gücü durumu karşılaştırılmıştır. Yükseklik ile sinyal gücü arasında diğer operatörler olduğu gibi benzer ilişki olduğu görülmüştür. Yükseklik arttıkça veya azaldıkça sinyal gücünde artış veya azalış olduğu ancak birbiriye doğru orantıda artış veya azalış olmadığı görülmüştür. 24 ve 30 numaralı örneklemler arasında yüksekliğin düştükçe sinyal gücünde yükselme olduğu görülmüştür. 57 ve 63 numaralı örneklemler arasında yüksekliğin arttıkça sinyal gücü düştüğü görülmüştür.



**Şekil 5.35:** Rota 3 / Türk Telekom / Gün 1 / Öğleden Önce / Cihaz 2 sinyal gücü ile yükseklik ilişkisi grafiği.

Çizelge 5.28'de yer alan tabloda tüm operatörlere ait verilerin ikinci gün için sinyal gücü kırılımı yer almaktadır.

**Çizelge 5.28:** Rota 3 / Gün 2 sinyal gücü kırılımı.

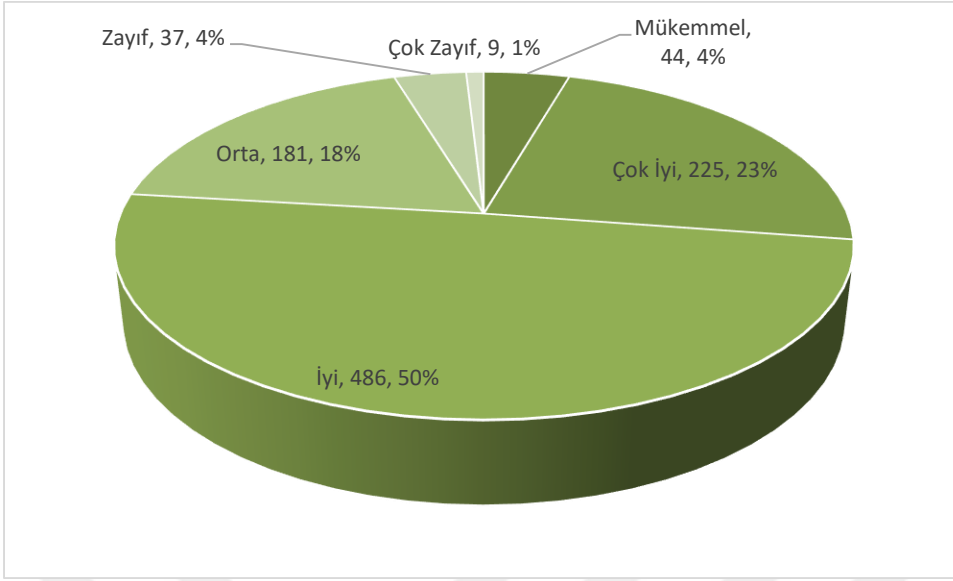
Sinyal Gücü	Turkcell	Vodafone	Türk Telekom
Mükemmel	44	7	1
Çok İyi	225	312	160
İyi	486	389	361
Orta	181	224	162
Zayıf	37	97	45
Çok Zayıf	9	0	8
<b>Toplam</b>	<b>982</b>	<b>1029</b>	<b>737</b>

Şekil 5.36’da Şişli bölgesinde ikinci gün Turkcell operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücüne göre haritaya aktarılmıştır.



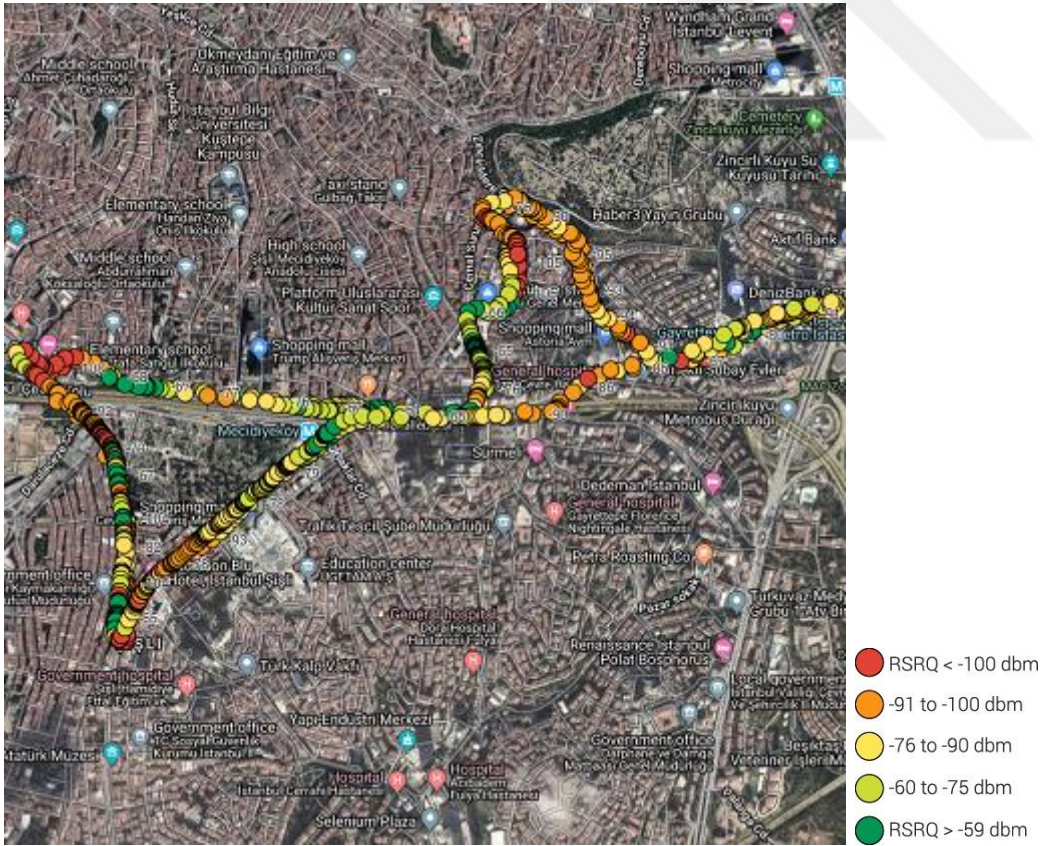
Şekil 5.36: Rota 3 / Gün 2 / Turkcell sinyal gücü haritası.

Şekil 5.37’de yer alan grafik incelendiğinde Rota 3’de ikinci gün boyunca Turkcell operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücünün yaklaşık %95 oranında orta ve üzeri sinyal gücü kategorisinde kalan %5’lik kısmın ise zayıf ve daha altı sinyal gücü kategorisinde yer aldığı görülmektedir.



Şekil 5.37: Rota 3 / Gün 2 / Turkcell operatörü sinyal gücü dağılımı.

Şekil 5.38’de Şişli bölgesinde ikinci gün Vodafone operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücüne göre haritaya aktarılmıştır.

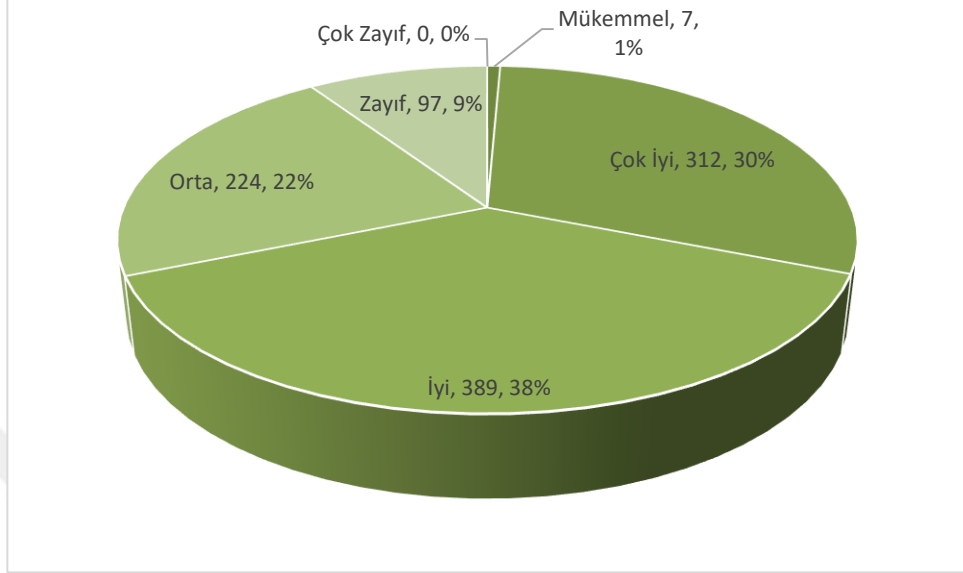


Şekil 5.38: Rota 3 / Gün 2 / Vodafone sinyal gücü haritası.

Şekil 5.39’da yer alan grafik incelendiğinde Rota 3’de ikinci gün boyunca Vodafone operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücünün yaklaşık %95 oranında orta ve üzeri

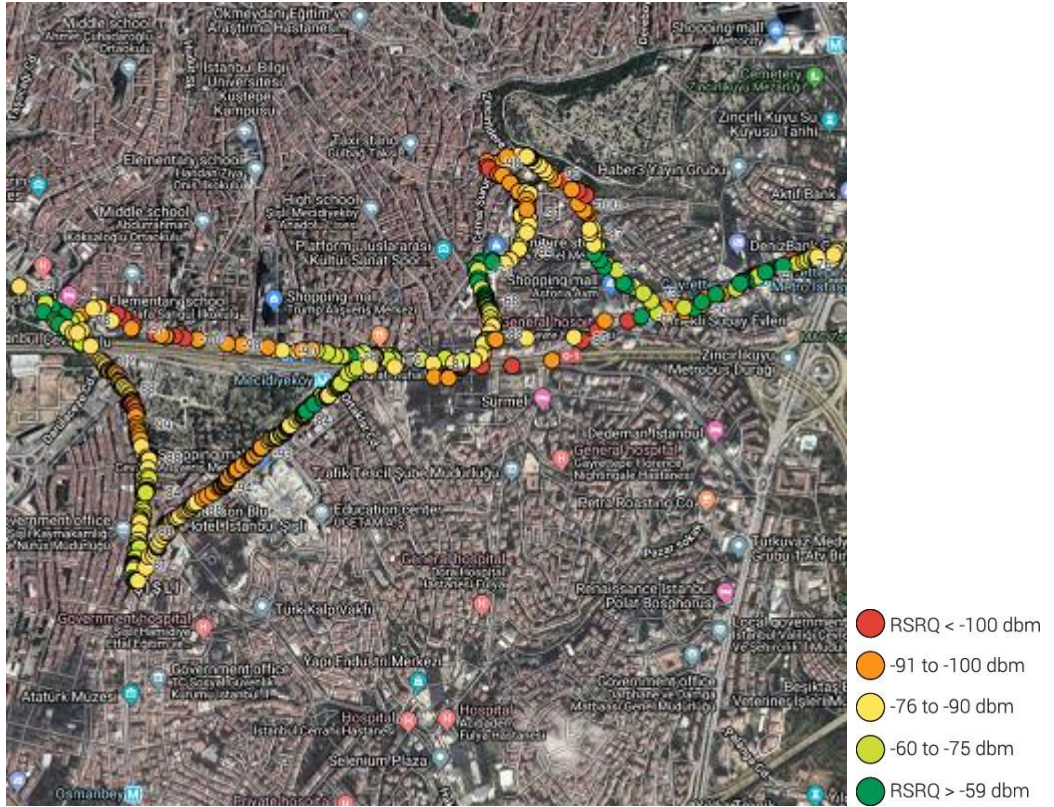


sinyal gücü kategorisinde kalan %5’lik kısmın ise zayıf ve dahı altı sinyal gücü kategorisinde yer aldığı görülmektedir.



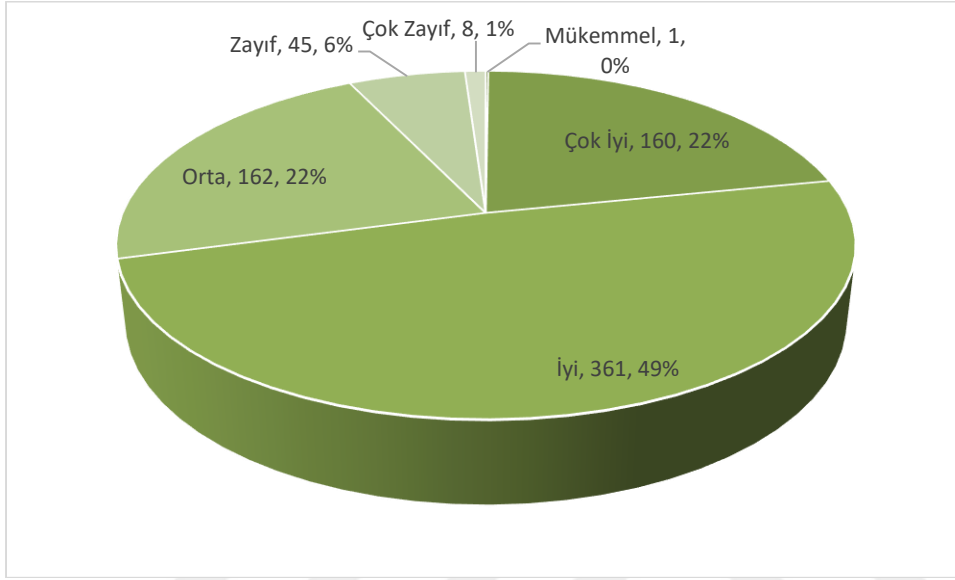
Şekil 5.39: Rota 3 / Gün 2 / Vodafone operatörü sinyal gücü dağılımı.

Şekil 5.40’ta Şişli bölgesinde ikinci gün Türk Telekom operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücüne göre haritaya aktarılmıştır.



Şekil 5.40: Rota 3 / Gün 2 / Türk Telekom sinyal gücü haritası.

Şekil 5.41’de yer alan grafik incelendiğinde Rota 3’de ikinci gün boyunca Türk Telekom operatörüyle toplanan verilerin sinyal gücünün yaklaşık %93 oranında orta ve üzeri sinyal gücü kategorisinde kalan %7’lik kısmın ise zayıf ve dah altı sinyal gücü kategorisinde yer aldığı görülmektedir.



Şekil 5.41: Rota 3 / Gün 2 / Türk Telekom operatörü sinyal gücü dağılımı.

#### 5.4 Rotaların ve Toplanan Verilerin Genel Analizi ve Yorumlanması

Çizelge 5.29’da rotalarda yapılan test sırasında veri toplanan baz istasyonları sayıları incelendiğinde ve toplam baz istasyonları hesaplandığında Vodafone operatörü Rota 1 ve Rota 3’de diğer operatörlere göre daha fazla baz istasyonuna sahip olduğu görülmüştür. Rota 2’de ise Turkcell operatörünün diğer operatörlere göre daha fazla baz istasyonun sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.29: Operatör ve rota bazlı toplam baz istasyonu sayıları.

Rota	Turkcell	Vodafone	Turk Telekom
Rota 1	46	75	53
Rota 2	24	17	6
Rota 3	39	43	26
<b>Toplam</b>	<b>109</b>	<b>135</b>	<b>85</b>

Çizelge 5.30’da rotalarda yapılan test sırasında toplanan verilerin operatör ve rota bazlı olarak ortalamaları verilmiştir. Belirlenen lokasyonların tamamında toplanan sinyal gücü verilerine göre Rota 1’in en iyi sinyal gücüne sahip operatörü -81.251 dBm ile

Vodafone olmuştur. İkinci en iyi sinyal gücüne sahip operatörü -87.933 dBm ile Türk Telekom. Üçüncü olarak -89.823 dBm ile Turkcell operatörü olduğu görülmüştür. Rota 2'nin en iyi sinyal gücüne sahip operatörü -70.205 dBm ile Turkcell olmuştur. İkinci en iyi sinyal gücüne sahip operatörü -79.216 dBm ile Vodafone olmuştur. Üçüncü olarak -90.407 dBm sinyal gücü ile Türk Telekom operatörü olduğu görülmüştür. Rota 3'ün birinci gününün en iyi sinyal gücüne sahip operatörü -82.089 dBm ile Türk Telekom olmuştur. İkinci en iyi sinyal gücüne sahip operatörü -83.297 dBm ile Vodafone olmuştur. Üçüncü olarak -83.432 dBm sinyal gücü ile Turkcell operatörü olduğu görülmüştür. Rota 3'ün ikinci gününün en iyi sinyal gücüne sahip operatörü -80.487 dBm ile Turkcell olmuştur. İkinci en iyi sinyal gücüne sahip operatörü -82.666 dBm ile Vodafone olmuştur. Üçüncü olarak -84.470 dBm sinyal gücü ile Turkcell operatörü olduğu görülmüştür. Tüm gün ve rotaların sinyal gücü ortalaması hesaplandığında Turkcell operatörü -81.077 dBm ile en yüksek sinyal gücüne sahip operatörü olmuştur. İkinci en yüksek sinyal gücü -81.607 dBm ile Vodafone operatörü, üçüncü olarak Türk Telekom operatörü -86.225 dBm. Rota 3 boyunca cumartesi günü ölçülen sinyal gücü değerleri Turkcell operatörü hariç pazartesi gününe göre daha yüksek sinyal gücü seviyelerine sahip olduğu görülmüştür. Bilindiği üzere baz istasyonları ne kadar yoğun kullanıcıya hizmet verirse sağladığı sinyal gücü ve kalitesi ona göre düşmekte olduğu bilinmektedir. Sinyal gücündeki güne göre değişiminin öncelikli sebebinin pazartesi gününün iş günü olması sebebi ve lokasyonun haftanın ilk günü olan pazartesi günleri yoğun nüfusa sahip olması ve bu sebepten ötürü baz istasyonlarının yoğun bir kullanıcıya hizmet vermesi kaynaklandığı yönünde yorumlanmıştır.

**Çizelge 5.30:** Operatörlerin sinyal gücü ortalamaları.

Rota	Turkcell(dBm)	Vodafone(dBm)	Türk Telekom(dBm)
Rota 1	-89.823	-81.251	-87.933
Rota 2	-70.205	-79.216	-90.407
Rota 3 (Gün 1)	-83.432	-83.297	-82.089
Rota 3 (Gün 2)	-80.847	-82.666	-84.470
<b>Genel Ortalama</b>	<b>-81.077</b>	<b>-81.607</b>	<b>-86.225</b>

Çizelge 5.29'daki verilere göre Rota 1'in 75 adetle en fazla baz istasyonuna sahip olan Vodafone operatörünün olduğu görülmüştür. Rota 2'nin 24 adetle en fazla baz

istasyonuna sahip olan Turkcell operatörünün olduğu görülmüştür. Son olarak Rota 3'te 43 adetle en fazla baz istasyonuna sahip olan Vodafone operatörünün olduğu görülmüştür.

Tüm rotalarda yapılan testler sonucunda toplanan Çizelge 5.29 ve Çizelge 5.30'daki veriler dikkate alınarak sinyal değerlerinin ortalaması hesaplandığında Turkcell operatörünün toplam 109 adet baz istasyonu ile ortalama -81.077 dBm sinyal seviyesiyle en iyi sinyal seviyesine sahip olduğu görülmüştür. İkinci en iyi sinyal gücüne sahip Vodafone operatörünün toplam 135 adet baz istasyonu ile ortalama -81.607 dBm sinyal seviyesine olduğu görülmüştür. Üçüncü en iyi sinyal seviyesinin sahip Türk Telekom operatörünün toplam 85 adet baz istasyonu ile ortalama -86.225 dBm sinyal seviyesine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Burada dikkat çekici olan durum, Turkcell operatörünün toplam baz istasyonu sayısında Vodafone operatörünün toplam baz istasyonu sayısından %24 daha az baz istasyonuna sahip olmasına rağmen en iyi ortalama sinyal seviyesine sahip olmasıdır. İkinci en iyi sinyal gücüne sahip Vodafone operatörünün, üçüncü en iyi sinyal seviyesi Türk Telekom operatörünün sinyal seviyesi olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.31'de Rota 1 boyunca birinci referans cihaz ile toplanılan en iyi ve en kötü beş sinyal operatör bazlı olarak verilmiştir. Rota 1 boyunca en iyi 5 sinyal gücü alınan operatör tamamı -44 dBm olmak üzere Vodafone operatörüne aittir. Vodafone operatörünün bu sinyal gücünü Rota 1 boyunca ortalama yüksekliği 87 metre iken 50 metre ile 101 metre arasında farklı yüksekliklerde almıştır ve ortalama değerinden daha alçak ve yüksek noktalarda aldığı görülmüştür. Vodafone operatörünün en kötü sinyal güçlerinin yüksekliklerini incelediğimizde en iyi sinyal aldığı yerlerden daha yüksek noktalarda aldığı görülmüştür. Türk Telekom operatörü ise -50 dBm ile -59 dBm arasında değişen en iyi sinyal güçlerini Rota 1 boyunca ortalama yükseklik 144 metre olmasına rağmen 163 metre ile 169 metre arasında ortalamadan daha yüksek noktalarda almıştır. Türk Telekom operatörünün en kötü sinyal güçlerinin yüksekliklerini incelediğimizde en iyi sinyal aldığı yerlerden daha alçak noktalarda aldığı görülmüştür. Turkcell operatörü ise -56 dBm ile -59 dBm arasında değişen en iyi sinyal güçlerini Rota 1 boyunca ortalama yüksekliği 130 metre civarında olmasına rağmen 134 metre ile 163 metre arasında ortalamadan daha yüksek noktalarda almıştır.

Turkcell operatörünün en kötü sinyal güçlerinin yüksekliklerini incelediğimizde en iyi sinyal aldığı yerlerden daha alçak noktalarda aldığı görülmüştür.

**Çizelge 5.31:** Rota 1 / Cihaz 1 top 5 en iyi ve en kötü sinyal seviyesi lokasyon, sinyal gücü ve yükseklik bilgileri.

	En iyi sinyal güçleri			En kötü sinyal güçleri		
	Turkcell	Vodafone	Türk Telekom	Turkcell	Vodafone	Türk Telekom
1	41.1088836, 29.0299771 -56, 163.5	41.108155, 29.0148933 -44, 101.8	41.1094721, 29.0328775 -50, 163	41.1193961, 29.0223942 -115, 136.5	41.116205, 29.0249567 -112, 107.1	41.1104886, 29.0409497 -118, 154.5
2	41.1090176, 29.030986 -57, 163.5	41.1083083, 29.0229483 -44, 94	41.1096017, 29.0249331 -58, 169.3	41.1153866, 29.0277475 -115, 95.7	41.1302665, 29.0289722 -111, 87	41.108642, 29.0409649 -116, 156.3
3	41.109115, 29.0317101 -57, 163.2	41.1166817, 29.0153117 -44, 78.5	41.0986341, 29.0077564 -59, 175.4	41.1105106, 29.0401308 -114, 160.9	41.0930883, 29.0054567 -109, 111.6	41.1104423, 29.040976 -115, 154.3
4	41.1126005, 29.0260755 -57, 134.9	41.113545, 29.0176633 -44, 67.8	41.10879, 29.0237054 -59, 170.1	41.1104794, 29.0401546 -114, 160.5	41.1132183, 29.0179417 -108, 65.2	41.1402186, 29.0291874 -115, 148.4
5	41.1089422, 29.0304186 -59, 163.6	41.1118717, 29.0142267 -44, 50.9	41.1096182, 29.0249489 -59, 169.3	41.1301271, 29.0295605 -114, 125.1	41.116845, 29.029425 -108, 55.7	41.1076676, 29.0418501 -114, 163.3

Çizelge 5.32’de Rota 2 boyunca birinci referans cihaz ile toplanılan en iyi ve en kötü beş sinyal operatör bazlı olarak verilmiştir. Vodafone operatörü -44 dBm ile -60 dBm arasında değişen en iyi sinyal güçlerini Rota 2 boyunca ortalama yüksekliği 91 metre civarında olmasına rağmen 55 metre ile 98 metre arasında farklı yüksekliklerde almıştır ve ortalama değerinden daha alçak ve yüksek noktalarda aldığı görülmüştür. Vodafone operatörünün en kötü sinyal güçlerinin yüksekliklerini incelediğimizde en iyi sinyal aldığı yerlere yakın yükseklikteki noktalarda aldığı görülmüştür. Turkcell operatörü ise -52 dBm ile -55 dBm arasında değişen en iyi sinyal güçlerini Rota 2 boyunca ortalama yükseklik 140 metre olmasına rağmen 123 metre ile 159 metre arasında farklı yüksekliklerde almıştır ve ortalama değerinden daha alçak ve yüksek noktalarda aldığı görülmüştür. Turkcell operatörünün en kötü sinyal güçlerinin yüksekliklerini incelediğimizde en iyi sinyal aldığı yerlere yakın yükseklikteki noktalarda aldığı görülmüştür. Türk Telekom operatörü diğer iki operatörden daha düşük olan -65 dBm ile -70 dBm arasında değişen en iyi sinyal güçlerini Rota 2

boyunca ortalama yüksekliği 144 metre civarında olmasına rağmen 130 metre ile 153 metre arasında farklı yüksekliklerde almıştır ve ortalama değerinden daha alçak ve yüksek noktalarda aldığı görülmüştür. Türk Telekom operatörünün en kötü sinyal güçlerinin yüksekliklerini incelediğimizde en iyi sinyal aldığı yerlere yakın yükseklikteki noktalarda aldığı görülmüştür.

**Çizelge 5.32:** Rota 2 / Cihaz 1 top 5 en iyi ve en kötü sinyal seviyesi lokasyon, sinyal gücü ve yükseklik bilgileri.

	En iyi sinyal seviyeleri			En kötü sinyal seviyeleri		
	Turkcell	Vodafone	Türk Telekom	Turkcell	Vodafone	Türk Telekom
1	41.1074408, 29.0293047 -52, 156.9	41.1062213, 29.0277863 -44, 98.8	41.1021561, 29.02556 -65, 132.5	41.1003807, 29.0228805 -97, 117.5	41.1030183, 29.026575 -110, 88.2	41.1026919, 29.0176665 -111, 134.3
2	41.1039346, 29.0282225 -52, 130.4	41.104, 29.0193433 -50, 83.1	41.1052217, 29.0263626 -66, 153	41.1056972, 29.0201653 -86, 157	41.1008783, 29.019985 -107, 57.6	41.103406, 29.0173151 -107, 136.8
3	41.1019427, 29.0180337 -52, 123.9	41.1042717, 29.0193117 -59, 80.7	41.1024069, 29.0257862 -66, 133.4	41.1056807, 29.0201467 -84, 154.2	41.10109, 29.0191533 -105, 57.1	41.1010183, 29.019445 -107, 130.4
4	41.1031641, 29.0279938 -53, 129.6	41.10064, 29.020725 -59, 55.2	41.1049528, 29.0245639 -68, 148.9	41.1056501, 29.0201386 -84, 153.6	41.107985, 29.0279083 -104, 117.1	41.1037077, 29.0283254 -106, 139.1
5	41.1044995, 29.021636 -55, 146.9	41.1051767, 29.0279733 -60, 93.1	41.1016001, 29.0250993 -70, 130.6	41.1056335, 29.0202045 -84, 152.8	41.1026433, 29.02595 -103, 87.7	41.1030886, 29.0173568 -106, 135.1

Çizelge 5.33'te Rota 3 boyunca farklı referans cihazlarıyla birinci günde toplanılan en iyi ve en kötü beş sinyal operatör bazlı olarak verilmiştir. Rota 3'ün birinci günü boyunca en iyi 5 sinyal gücü alınan operatör tamamı -44 dBm olmak üzere Turkcell operatörüne aittir. Turkcell operatörünün bu sinyal gücünü Rota 3'ün birinci günü boyunca ortalama yüksekliği 105 metre iken 104 metre ile 123 metre arasında farklı yüksekliklerde almıştır ve ortalama değerinden daha yüksek noktalarda aldığı görülmüştür. Turkcell operatörünün en kötü sinyal güçlerinin yüksekliklerini incelediğimizde en iyi sinyal aldığı yerlere yakın yükseklikteki noktalarda aldığı görülmüştür. Türk Telekom operatörü ise -53 dBm ile -55 dBm arasında değişen en iyi sinyal güçlerini Rota 3'ün birinci günü boyunca ortalama yükseklik 150 metre olmasına rağmen 141 metre ile 167 metre arasında farklı yüksekliklerde almıştır ve ortalama değerinden daha alçak ve yüksek noktalarda aldığı görülmüştür. Türk

Telekom operatörünün en kötü sinyal güçlerinin yüksekliklerini incelediğimizde en iyi sinyal aldığı yerlere yakın yükseklikteki noktalarda aldığı görülmüştür. Vodafone operatörü ise diğer iki operatörden daha düşük olan -56 dBm ile -58 dBm arasında değişen en iyi sinyal güçlerini Rota 3'ün birinci günü boyunca ortalama yüksekliği 160 metre civarında olmasına rağmen 161 metre ile 169 metre arasında farklı yüksekliklerde almıştır ve ortalama değerinden daha yüksek noktalarda aldığı görülmüştür. Vodafone operatörünün en kötü sinyal güçlerinin yüksekliklerini incelediğimizde en iyi sinyal aldığı yüksekliklere göre daha alçak noktalarda aldığı görülmüştür.

**Çizelge 5.33:** Rota 3 / Gün 1 top 5 en iyi ve en kötü sinyal seviyesi lokasyon, sinyal gücü ve yükseklik bilgileri.

	En iyi sinyal seviyeleri			En kötü sinyal seviyeleri		
	Turkcell	Vodafone	Türk Telekom	Turkcell	Vodafone	Türk Telekom
1	41.0659783, 28.9868717, -44, 123.9	41.0666767, 28.9969814, -56, 169.7	41.0681497, 29.0080687, -53, 167.2	41.06715, 28.9852783, -113, 131.5	41.0683762, 28.9837286, -111, 154.8	41.0677341, 28.9873814, -113, 165.9
2	41.0697267, 29.0147733, -44, 114.3	41.0675208, 28.9879267, -56, 167.4	41.0683352, 29.0074022, -53, 159.7	41.0682325, 28.9841012, -113, 116.1	41.0655765, 28.9871606, -111, 152.8	41.0675169, 28.9884917, -113, 156.2
3	41.0691867, 29.0111667, -44, 113	41.0666864, 28.996741, -58, 170.9	41.0693612, 29.0122115, -54, 144.4	41.06795, 28.9840767, -112, 128.6	41.067397, 29.0055023, -111, 146.4	41.0676799, 28.987599, -113, 156
4	41.0674483, 28.9893817, -44, 109.1	41.0666749, 28.9972849, -58, 166.3	41.0691838, 29.0116889, -54, 141.5	41.0678696, 28.9846021, -112, 109.3	41.0633435, 28.987649, -111, 141.1	41.0677033, 28.9867708, -112, 165.8
5	41.0661347, 28.9976718, -44, 104.7	41.065781, 28.9948357, -58, 161.1	41.0695306, 29.0133334, -55, 146.5	41.0680562, 28.9848725, -112, 103.5	41.068257, 28.9837509, -110, 154.8	41.0682034, 28.9863874, -111, 148.6

Çizelge 5.34'te Rota 3 boyunca farklı referans cihazlarıyla ikinci günde toplanılan en iyi ve en kötü beş sinyal operatör bazlı olarak verilmiştir. Rota 3'ün ikinci günü boyunca en iyi 5 sinyal gücü alınan operatör tamamı -44 dBm olmak üzere Turkcell operatörüne aittir. Turkcell operatörünün bu sinyal gücünü Rota 3'ün ikinci günü boyunca ortalama yüksekliği 93 metre iken 104 metre ile 123 metre arasında farklı yüksekliklerde almıştır ve ortalama değerinden daha yüksek noktalarda aldığı görülmüştür. Turkcell operatörünün en kötü sinyal güçlerinin yüksekliklerini incelediğimizde en iyi sinyal seviyelerine yakın ancak ortalama olarak daha alçak

noktalarda aldığı görülmüştür. Türk Telekom operatörü ise -53 dBm ile -55 dBm arasında değişen en iyi sinyal güçlerini Rota 3'ün ikinci günü boyunca ortalama yükseklik 149 metre olmasına rağmen 141 metre ile 167 metre arasında farklı yüksekliklerde almıştır ve ortalama değerinden daha alçak ve yüksek noktalarda aldığı görülmüştür. Türk Telekom operatörünün en kötü sinyal güçlerinin yüksekliklerini incelediğimizde en iyi sinyal seviyelerine yakın ancak ortalama olarak daha alçak noktalarda aldığı görülmüştür. Vodafone operatörü ise diğer iki operatörden daha düşük olan -56 dBm ile -58 dBm arasında değişen en iyi sinyal güçlerini Rota 3'ün ikinci günü boyunca ortalama yüksekliği 171 metre civarında olmasına rağmen 161 metre ile 169 metre arasında farklı yüksekliklerde almıştır ve ortalama değerinden daha noktalarda aldığı görülmüştür. Vodafone operatörünün en kötü sinyal güçlerinin yüksekliklerini incelediğimizde en iyi sinyal aldığı yüksekliklere göre daha yüksek noktalarda aldığı görülmüştür.

**Çizelge 5.34:** Rota 3 / Gün 2 top 5 en iyi ve en kötü sinyal seviyesi lokasyon, sinyal gücü ve yükseklik bilgileri.

	En iyi sinyal seviyeleri			En kötü sinyal seviyeleri		
	Turkcell	Vodafone	Türk Telekom	Turkcell	Vodafone	Türk Telekom
1	41.0697367, 29.0139312, -44, 119.9	41.0675029, 28.9883146, -56, 166.8	41.0691062, 29.011078, -59, 160.8	41.0694713, 29.0122841, -131, 114.1	41.0617153, 28.987629, -110, 211	41.0717606, 29.0045306, -114, 114.7
2	41.0642817, 28.9923533, -44, 118.7	41.0668441, 28.9972388, -57, 173.4	41.069358, 29.0120342, -61, 172.1	41.0680517, 28.9849733, -115, 116.9	41.0676839, 29.00516, -110, 186.1	41.0674722, 28.9884585, -111, 156.7
3	41.0631966, 28.9907947, -44, 114.6	41.0697119, 29.0021123, -58, 175.6	41.0693414, 29.011941, -61, 169.3	41.0686033, 29.0098183, -115, 107.2	41.0657504, 28.9870469, -110, 160.9	41.0674743, 28.9884583, -111, 152.7
4	41.0667617, 28.9971083, -44, 111.4	41.0698575, 29.0022549, -58, 174.3	41.0681856, 28.9843224, -61, 139.1	41.0673688, 28.9850673, -115, 95.3	41.0683455, 28.9835386, -109, 179.4	41.0679939, 28.9868316, -111, 148.9
5	41.0628403, 28.9877725, -44, 107.7	41.0674577, 28.9881275, -58, 170.1	41.0685325, 28.9837505, -61, 129	41.0680199, 28.984339, -113, 123.6	41.0683036, 28.9840368, -109, 165.1	41.0681211, 28.986554, -111, 145.8



## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada İstanbul ilinde belirlenen 3 farklı lokasyonda Türkiye’de faaliyet gösteren ve hizmet sunan 3 farklı operatör ile referans cihazlar yardımıyla sinyal gücü, yükseklik, konum, baz istasyonu kimliği, sektör kimliği gibi bilgileri toplanılarak sinyal gücünün 4G servisleri için kritik seviyede düşük olduğu konumların ve yüksekliklerin belirlenmesi, incelenmesi ve karşılaştırılmasını amaçlamıştır.

Belirlenen ilk konum olan Maslak lokasyonunda 18.7 km alanda tüm operatörlerle yapılan testlerin sonucu olarak ortalama sinyal gücünün iyi olarak belirlenen aralıkta olduğu görülmüştür. Farklı operatörlerde farklı noktalarda sinyal gücünde neredeyse 4G hizmetlerini sunamayacağı ses iletimini dahi düşük kalitede sunacak seviyede ölçülmüştür.

İkinci olarak belirlenen konum olan İTÜ kampüs lokasyonunda 39 km alanda tüm operatörlerle yapılan testlerin sonucunda ortalama sinyal gücünün kimi operatörlerde çok iyi seviyede ancak kimi operatörlerde iyi seviyede olduğu görülmüştür. Genellikle kampüsün aşağı kesimleri olan yerleşimden uzak noktalarda sinyal gücünün düşük olduğu görülmüştür. Bunun nedeni operatörlerin baz istasyonlarının veri toplama esnasındaki konuma göre uzak olması kaynaklı olduğu tespit edilmiştir.

Son konum olan Şişli bölgesinde yalnızca yükseklik ve sinyal gücü karşılaştırması değil farklı günler ve farklı zaman dilimlerini de kapsayacak şekilde testler yapılarak veriler toplanmıştır. Belirlenen günler hafta içi ve hafta sonu öğleden önce ve öğleden sonra olmak üzere 2 farklı günde 4 farklı zaman diliminde yapılmıştır. Özellikle hafta içi ve hafta sonu yüksek oranda değişim gösteren nüfus dikkate alındığında sinyal gücü seviyelerinin nüfus yoğunluğu ile ilişkisinin olduğu görülmüştür. Nüfus yoğunluğu arttıkça artan baz istasyonu yoğunluğu kaynaklı kullanıcıların sinyal güçlerinde düşüşler olduğu saptanmıştır.

Tüm toplanan veriler incelendiğinde yükseklik ile sinyal gücü arasında net bir ilişki olduğu görülmemiştir. Kimi yüksek noktalarda sinyal gücünün yüksek olduğu görülürken kimi yüksek noktalarda sinyal gücünün düşük olduğu görülmüştür. Baz istasyonlarının konumuna ve yüksekliğine bağlı olarak sinyal gücü yüksekliğe göre artış veya azalış göstermektedir. Kullanıcıların bazı lokasyonlarda sinyal gücünün ciddi anlamda düşük olduğu görülmüştür. Bu seviyeler kullanıcıların en basit hizmet olan ses iletişimini dahi yapamamasına veya çok düşük kalitede yapmasına neden olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada ki toplanan veriler, kullanıcıların yaşamış olduğu sinyal gücü düşüklüğü problemlerini deneyimlemek ve bu yaşanan problemlerin kök nedenini bulmaya yardımcı olmayı amaçlamıştır. Toplanan verilerle oluşturulan sinyal gücü haritalarıyla sinyal gücü problemleri yaşanan lokasyonları konum ve yükseklik bilgileriyle birlikte tespit edilmiş ve sunulmuştur. Yine bu toplanan veriler sinyal gücü düşük olan lokasyonlarda yapılması muhtemel iyileştirmelere yardımcı olması amaçlanmıştır.

## KAYNAKLAR

- Amine O.M., and Khireddine A.**, (2017): Base Station Placement Optimization Using Genetic Algorithm. *International Journal of Computer Aided Engineering and Technology*.
- Gawas, A. U.**, 2015: An Overview on Evolution of Mobile Wireless Communication Networks: 1G-6G, *JRITCC*, vol. 3, (5).
- Harris M.**, (2011): How Cell Towers Work. Unison Comp. Wireless White Paper.
- IEEE 802.16 Standard**, (2007): Local and Metropolitan Area Networks—Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems (IEEE Std 802.16-2001), IEEE Std.
- Hata, M.**, (1980): Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. VT-29, No. 3, pp.317–325.
- Korhonen J.**, (2003): *Introduction to 3G Mobile Communications* : Artech House, London.
- Mai, W., Liu, H-L. and Chen, L.**, (2013): Multi-objective evolutionary algorithm for 4G base station planning, *IEEE, 9<sup>th</sup> International Conference on Computational Intelligence and Security*, pp.85–89.
- Minelli M., Ma M., Coupechoux M., Kelif J.M., Sigelle M., and Godlewski P.**, (2014), Optimal Relay Placement in Cellular Networks. *IEEE Transactions On Wireless Communications*, vol. 13, issue 2, 998 - 1009.
- Mishra, A.R.**, (2007): *Advanced Cellular Network Planning and Optimization 2G/2.5G/3G...Evolution to 4G*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Nuaymi, L.**, (2007): *WiMAX: Technology for Broadband Wireless Access*, John Wiley & Sons, England.
- Pachauri A.K., and Singh O.**, 2012: 5G Technology – Redefining wireless Communication in upcoming years, *International Journal of Computer Science and Management Research*, vol. 1, issue 1.
- Vora L. J.**, 2015: Evolution of Mobile Generation Technology: 1G To 5G and Review of Upcoming Wireless Technology 5G. *International Journal of Modern Trends in Engineering and Research (IJMTER)*, vol. 02, issue 10, 281-290.
- Wechtaisong, C. and Prommak, C.**, (2014): Multi-objective planning and optimization for base station placement in WIMAX network', *IEEE Conference*.
- Singh R. K., and Singh R.**, (2016): 4G LTE Cellular Technology: Network Architecture and Mobile Standards. *International Journal of Emerging Research in Management & Technology*, vol. 5, issue 12, 1-6.
- Tabia, N., Gondran, A., Baala, O. and Caminada, A.** (2014): Interference model and antenna parameters setting effects on 4G-LTE networks coverage', *HAL*, pp.175–182.

**Yilmaz, O.N.C., Hämäläinen, S. and Hämäläinen, J.,** (2009): System level analysis of vertical sectorization for 3GPP LTE, IEEE 6th International Symposium on Wireless Communication Systems, pp.453–457.

**Istanbul Topographic Map** (2006). In *Wikimedia*. Alındığı tarih: 26.04.2019, adres: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Istanbul\\_topographic\\_map.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Istanbul_topographic_map.jpg)

**Şişli Topographic Map** (2019) in *In Topographic Map*. Alındığı tarih: 26.04.2019, adres: <http://en-hk.topographic-map.com/places/Istanbul-4020310/>



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : Eyüp KAYA  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 1989, İstanbul  
**E-posta** : [eyupkaya9@gmail.com](mailto:eyupkaya9@gmail.com)

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Ön Lisans** : 2009, İstanbul Teknik Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, Elektronik Teknolojisi, Endüstriyel Elektronik
- **Lisans** : 2014, Gaziantep Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- General Mobile, Proje Yöneticisi (2018)
- General Mobile, Kıdemli Proje Donanım Mühendisi (2016-2018)
- General Mobile, Proje Donanım Mühendisi (2014-2016)
- BSH Ev Aletleri Sanayi ve Ticaret A.Ş., İntörn Mühendis (2013)