

**GSM BAZ İSTASYONLARINDAN
ELDE EDİLEN KONUM BİLGİSİNİN
HAVACILIKTA
UÇAKLARIN İNİŞ SÜRECİNDE KULLANILMASI**

Mustafa Serdar ÖZKUL

Doktora Tezi

Sivil Havacılık Anabilim Dalı

Nisan-2008

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Mustafa Serdar Özkul'un "GSM Baz İstasyonlarından Elde Edilen Konum Bilgisinin, Havacılıkta Uçakların İniş Sürecinde Kullanılması " başlıklı **Sivil Havacılık** Anabilim Dalındaki, Doktora tezi **17.03.2008** tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

| | Adı-Soyadı | İmza |
|-----------------------|----------------------------------|-------|
| Üye (Tez Danışmanı) : | Yard. Doç. Dr. GÜLAY İYİBAKANLAR | |
| Üye | : Prof. Dr. MUSTAFA CAVCAR | |
| Üye | : Yard. Doç. Dr. SONER ÖZGÜNEL | |
| Üye | : Yard. Doç. Dr. ERTUĞRUL İZCİ | |
| Üye | : Yard. Doç. Dr. HAKAN KORUL | |

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

GSM BAZ İSTASYONLARINDAN ELDE EDİLEN KONUM BİLGİSİNİN HAVACILIKTA UÇAKLARIN İNİŞ SÜRECİNDE KULLANILMASI

Mustafa Serdar ÖZKUL

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sivil Havacılık Anabilim Dalı

Danışman: Yard. Doç. Dr. Gülay İYİBAKANLAR

2008, 78 sayfa

Bu tezde, havacılıkta GSM teknolojilerinden nasıl yararlanılabileceği araştırılmıştır. Önce uçak içerisinde mobil telefonun kullanımını sağlayabilecek çözümler anlatılmış, sonra da gerçekleştirilen uygulamalar verilmiştir. GSM’de konum bulma teknikleri anlatılarak; bu tekniklerden boş uzayda zayıflamasından mesafe bulma tekniği kullanılarak; uçakta iniş için acil durumda kullanılabilecek bir yöntem geliştirilmiştir. Ölçümler, “TEMS Investigation” programı ile yapılmış ve sayısal harita üzerinde GPS verileri ile karşılaştırılmıştır. Bu yöntem sayesinde GSM baz istasyonları ve mobil bir alıcıdan seyrüsefer yardımcı sistemi olarak faydalanılabileceği gösterilmiştir. Geliştirilen yönteme ait ölçüm ve benzetim sonrası çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir. Basit anlamda bu sistem, DME-VOR ikilisinin ya da ADF-DME sisteminin basit bir karşılığı olarak, MS-BTS ikilisini kullanmaktadır. Doğal olarak bu çözümün normal durumda inişte yeterli olmayacağı ve diğer çözümlerin yerini alamayacağı açıktır. Basit, ucuz ve hemen her yerde yararlanılabilecek bir çözüm ve geliştirilmeye açık bir yöntem olduğu düşünülmektedir. Bu konudaki yasal izinler verildiğinde yansıma yüzeyi sorunu daha az olacağı için uçak üzerinde çok daha iyi sonuçlar alınabileceği beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: GSM Teknolojileri, Konum Bulma Sistemleri, Seyrüsefer Sistemleri, Mobil Telefon, Uzaklık Ölçüm Sistemleri.

ABSTRACT

PhD Dissertation

THE USAGE OF THE LOCATION INFORMATION OBTAINED FROM GSM BASE STATION DURING THE LANDING OF AIRCRAFT IN AVIATION

Mustafa Serdar ÖZKUL

Anadolu University

Graduate School of Sciences

Civil Aviation Program

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Gülay İYİBAKANLAR

2008, 78 pages

In this thesis, it is studied how to benefit from GSM technologies in aviation. First of all, solutions that can make possible to use cellular phone in an aircraft are explained than some existed solutions are given. To locate a position with GSM is told and by using one of these techniques an emergency landing procedure is developed. Measurements are done by “TEMS Investigation” program and compared with GPS data on the map. In this procedure it is showed that with a mobile receiver (cellular phone) and GSM base stations together can be used as a navigation system. The results and simulation outputs are discussed. Recommended MS-BTS system can be used as a VOR-DME or ADF-DME. Clearly the proposed solution can not be used instead of the other solutions in normal approach and landing procedures. However the new technique that is cheaper, simpler and can be benefited almost everywhere is suitable for future developments. When the legal issues are solved it is obvious that more benefited results can be taken on the aircraft because of the system can avoid the effects of reflection problems.

Keywords: GSM Technologies, Location Base Systems, Navigation Systems, Cellular Phone, Distance Measuring System.

TEŞEKKÜR

Çalıőmam süresince, görüş ve önerileri ile tez çalışmamı yönlendiren Sayın Yard. Doç. Dr. Soner ÖZGÜNEL ve Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu Havacılık Elektrik Elektronik bölümünde katkıda bulunan tüm arkadaşlarıma, her zaman her konuda sağladıkları destek ve anlayış için babam Enver ÖZKUL ve aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa Serdar ÖZKUL

Nisan, 2008

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT | ii |
| TEŞEKKÜR | iii |
| İÇİNDEKİLER | iv |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | vii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | ix |
| KISALTMALAR DİZİNİ | x |
| | |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| | |
| 2. SEYRÜSEFER | 2 |
| 2.1. Genel Seyrüsefer | 2 |
| 2.1.1.VFR | 3 |
| 2.1.2.IFR..... | 3 |
| 2.2. Seyrüseferin Temelleri..... | 4 |
| 2.2.1.Konumu her an için belirleme | 4 |
| 2.2.2.Belirli konuma ulaşılacağı zamanı tespit etme..... | 5 |
| 2.2.3.Uçuş doğrultusunun belirlenmesi..... | 5 |
| 2.3. Seyrüsefer Çeşitleri..... | 5 |
| 2.4. Seyrüseferin Ana Unsurları | 6 |
| 2.5. Radyo Seyrüsefer Yardımcıları | 7 |
| 2.5.1.Gonyometre | 7 |
| 2.5.2.VDF | 7 |
| 2.5.3.ADF | 8 |
| 2.5.4.VOR | 9 |
| 2.5.5.DME | 10 |
| 2.5.6.ILS..... | 12 |

| | |
|---|-----------|
| 3. GSM TEKNOLOJİSİ | 15 |
| 3.1. Genel Bakış..... | 15 |
| 3.2. İlk Mobil Telefon..... | 19 |
| 3.3. Mobil Dünyası | 20 |
| 3.4. GSM Teknolojisi..... | 20 |
| 3.5. GSM Sistem Mimarisi | 22 |
| 3.6. MS..... | 26 |
| 3.6.1.SIM kart veya abone kimlik modülü..... | 28 |
| 3.7. BSS | 28 |
| 3.7.1.Baz istasyonu tipleri..... | 29 |
| 3.7.2.Kod çevirici..... | 31 |
| 3.8. Sabit Şebeke Sistemleri | 31 |
| 3.9. GSM Sisteminde Frekans Özellikleri | 34 |
| 3.10. Kanallar..... | 35 |
| 3.11. GSM Sisteminin Geliştirilmiş Özellikleri..... | 35 |
| | |
| 4. HAVACILIKTA GSM KULLANIMI | 37 |
| 4.1. Uçaklarda Mobil Telefon Kullanımı..... | 37 |
| 4.2. Havacılıkta GSM Yer Bilgisinin Kullanımı | 39 |
| 4.3. GSM’de Konum Bulma Probleminin Tanımı..... | 39 |
| 4.4. Hücresel Şebekelerde Konum Belirleme Metodları | 40 |
| 4.4.1.Şebeke tabanlı teknolojiler | 41 |
| 4.4.1.1. CGI/TA | 41 |
| 4.4.1.2. E-CGI..... | 43 |
| 4.4.1.3. TOA | 47 |
| 4.4.1.4. AOA | 48 |
| 4.4.2.Mobil cihaz tabanlı teknolojiler | 49 |
| 4.4.2.1. A-GPS | 49 |
| 4.4.3.Konum bulma yöntemlerinin karşılaştırılması..... | 51 |
| 4.4.4.Farklı bir konum belirleme algoritması..... | 52 |
| 4.5. İnışte Baz İstasyonlarından Faydalanma | 54 |
| 4.6. Sinyal Kaybının Hesabı | 55 |

| | |
|---|-----------|
| 4.7. Uçak Kategorilerine Göre İniş Hızı | 57 |
| 4.8. Diğer Zayıflatıcı Etkiler | 58 |
| 4.8.1. Gaz etkileri | 58 |
| 4.8.2. Yansıma etkileri | 58 |
| 4.8.3. Yağmur etkileri | 59 |
| 4.8.4. İletim hattındaki engelleyici cisimler | 59 |
| 5. ÖLÇÜMLER | 61 |
| 5.1. “TEMS Investigation” | 61 |
| 5.2. Yapılan Ölçümler | 62 |
| 5.3. Verilen İki Nokta Arası Mesafenin Hesaplanması | 63 |
| 5.4. GSM Kullanılarak Mesafe Hesabı | 64 |
| 5.5. Ölçümde Kullanılan Veriler | 65 |
| 5.6. Ölçüm Sonuçları | 66 |
| 6. SONUÇ ve ÖNERİLER | 73 |
| KAYNAKLAR | 77 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| 3.1. İlk mobil telefon | 19 |
| 3.2. Basit bir GSM şebekesi | 22 |
| 3.3. MS-BS bağlantısının fiziksel katı | 24 |
| 3.4. (a) Yönsüz istasyon | 30 |
| 3.4. (b) 120° açılı üç sektör hücreli istasyon | 30 |
| 3.4. (c) BSS şebekesi | 30 |
| 3.5. Sistem modeli | 32 |
| 3.6. GSM şebekesinin diğer şebekelere bağlantısı | 33 |
| 3.7. GSM sisteminin temel yapısı | 36 |
| 4.1. Genel mimari | 37 |
| 4.2. Konum belirlemeye ilişkin servisler | 40 |
| 4.3. CGI + TA metodu | 41 |
| 4.4. CGI ve CGI/TA yöntemleri | 42 |
| 4.5. Sinyal gücü metodu | 43 |
| 4.6. Sinyal gücü zayıflaması | 44 |
| 4.7. TA'nın bir başka gösterimi | 45 |
| 4.7. (Devam) TA'nın gösterimi | 46 |
| 4.8. TOA metodu | 47 |
| 4.9. AOA metodu | 48 |
| 4.10. A-GPS yöntemi | 50 |
| 4.11. Konum bulma yöntemlerinin karşılaştırılması | 51 |
| 4.12. Azimut ve RSS seviyesi ile açılal kaydırma | 53 |
| 4.13. Büyük TA'larda azimut ve RSS seviyesi ile açılal kaydırma | 54 |
| 4.14. Birinci Fresnel bölgesi ve zayıflama | 60 |
| 4.15. Fresnel bölgesi | 60 |
| 5.1. "TEMS Investigation" | 62 |
| 5.2. Koordinat tanımlamasında açılal dönüşümler | 64 |
| 5.3. Sinyal şiddetinin renk olarak anlamı | 66 |
| 5.4. (a) Harita üzerinde BS-1'e göre ölçüm | 68 |
| 5.4. (b) BS-1'e göre ölçüm | 69 |
| 5.5. (a) Harita üzerinde BS-2'ye göre ölçüm | 69 |

| | | |
|------|--|----|
| 5.5. | (b)BS-2'ye göre ölçüm | 70 |
| 5.6. | (a) Harita üzerinde BS3'e göre ölçüm | 70 |
| 5.6. | (b) BS-3'e göre ölçüm | 71 |
| 5.7. | (a) Harita üzerinde BS4'e göre ölçüm | 71 |
| 5.7. | (b) BS-4'e göre ölçüm | 72 |
| 6.1. | Ölçüm Sonuçları, (a) BS-1ölçümleri, (b) BS-2 ölçümleri..... | 74 |
| 6.1. | (Devam) Ölçüm Sonuçları, (a) BS-3 ölçümleri, (b) BS-4 ölçümleri..... | 75 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| 2.1. VFR minimum koşulları | 3 |
| 3.1. Temel hücresel standartlar | 16 |
| 3.2. GSM önerileri | 19 |
| 3.3. Telefon güç değerleri | 27 |
| 3.4. Teknolojilere göre frekans bantları | 34 |
| 3.5. Teknolojilere göre diğer frekans özellikleri | 35 |
| 3.6. Kanal tipleri | 35 |
| 4.1. TA ile hücre genişliği ilgisi | 42 |
| 4.2. Geleneksel GPS’te başlama tip ve zamanları | 50 |
| 4.3. Uçak kategorilerine göre inişte gösterge hava hızları (V_{KIAS}) | 57 |
| 5.1. GSM frekans bilgileri | 64 |

KISALTMALAR DİZİNİ

- 3G : Third generation mobile telephony system, üçüncü nesil mobil telefon sistemi
- 3GPP : 3rd Generation Partnership Project, üçüncü nesil ortaklık projesi
- A-GPS : Assisted Global Positioning System, şebeke destekli GPS
- ADF : Automatic Directional Finder, otomatik yön bulucu
- ALR : Active Location Retrieval, aktif konum düzeltme
- AMPS : Advanced Mobile Phone Service, gelişmiş cep telefonu hizmetleri
- ANSI : American National Standards Institute, Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
- AOA : Angle Of Arrival, varış açısı yöntemi
- API : Application Programming Interface, uygulama programlama arayüzü
- ARFCN : Absolute Radio Frequency Channel Number, mutlak radyo frekans kanal numarası
- ATI : Any Time Interrogation, herhangi zaman sorgusu
- AUC : Authentication Center, yetki merkezi
- BCC : Base Station Color Code, baz istasyonu renk kodu
- BCCH : Broadcast Control Channel, yayın kontrol kanalı
- BER : Bit Error Rate, bit hatası oranı
- BGW : Billing Gateway,
- BS : Base Station, baz istasyonu
- BSC : Base Station Controller, baz istasyonu kontrolörü
- BSIC : Base Station Identity Code, baz istasyonu kimlik kodu
- BSS : Base Station Subsystem, baz istasyonu Altsistemi
- BTS : Base Transceiver Station (or Radio Base Station-RBS), yer alıcı-verici istasyonu

- CAI : Customer Administration Interface
- CAS : Customer Administration System
- CC : Country Code, ülke kodu
- CCCH : Common Control Channel, ortak kontrol kanalı
- CDI : Course Deviation Indicator, rotadan sapma göstergesi
- CDMA : Code Division Multiple Access, kod bölmeli çoklayıcı erişim
- CDR : Call Detail Record, çağrı detay kayıtları
- CAI-X : Customer Administration Interface based on XML/HTTP
- Cell Id : Cell Identity, hücre kimliği numarası
- CGI : Cell Global Identity, küresel hücre kimliği
- CGI/TA : Cell Global Identity/ Timing Advance, küresel hücre kimliği/zaman ilerlemesi
- CI : Cell Identity, hücre kimliği
- CM : Circuit Mode connection call protocol
- ECC : Emergency Call Centre, acil çağrı merkezi
- CN : Core Network, çekirdek şebeke
- CNAI : Cellular Network Administration Interface
- CTA : Coarse Time Assistance, hassas olmayan zaman desteği
- DB : Data Base, veri bankası
- DCCH : Dedicated Control Channel, ayrılmış kontrol kanalı
- DME : Distance Measuring Equipment, uzaklık ölçüm seyrüsefer ekipmanı
- DGPS : Differential Global Positioning System, farksal GPS
- DVOR : Doppler VOR, “Doppler” etkisi prensibi ile çalışan VOR
- EC : Emergency Centre, acil yardım merkezi
- E-CGI : Enhanced Cell Global Identity, sinyal gücü ile konum bulma metodu

- E-OTD : Enhanced Observed Time Difference, geliştirilmiş gözlemlenen zaman farkı metodu
- EIR : Equipment Identity Register, cihaz tanımlama kütüğü
- EMLP : Ericsson Mobile Location Protocol, Ericsson mobil konum protokolü
- EMW : Ericsson Mobility World, Ericsson'a bağlı bir alt bölüm
- ETSI : European Telecommunications Standards Institute, Avrupa İletişim Standartları Enstitüsü
- EU : European Union, Avrupa Birliği
- FAA : Federal Aviation Administration, Birleşik Havacılık İdaresi
- FDMA : Frequency Division Multiple Access, frekans bölmeli çoklayıcı erişim
- FL : Flight Level, uçuş seviyesi
- FTA : Fine Time Assistance, hassas zaman desteği
- GMPC : Gateway Mobile Positioning Centre, mobil konumlandırma merkez geçişi
- GMLC : Gateway Mobile Location Centre, mobil konum merkez geçişi
- GMSC : Gateway MSC, geçiş MSC'si
- GPS : Global Positioning System, küresel konumlandırma sistemi
- GSM : Global System for Mobile Communications, Evrensel mobil haberleşme sistemi
- GSM : Groupe Special Mobile, GSM için kurulan grup
- HIS : Horizontal Situation Indicator, yatay durum göstergesi
- HLR : Home Location Register, kalıcı abone kütüğü
- IFR : Instrument Flight Rules, aletli seyrüsefer, aletli uçuş kuralları
- IMEI : International Mobile Equipment Identity, uluslararası mobil cihaz kimliği

- IMSI : International Mobile Subscriber Identity, uluslararası mobil abone kimliği
- ID : Identification, kimlik
- ILR : Interworking Location Register, şebekeler arası yer kaydedicisi
- IM : Inner Marker, iç “marker”
- ISDN : Integrated Services Digital Network, bütünleştirilmiş sayısal hizmetler şebekesi
- ISUP : ISDN User Part, ISDN kullanıcı tarafı
- ITU : International Telecommunications Union, Uluslararası Telekomünikasyon Birliği
- LA : Location Area, konum alanı
- LAC : Location Area Code, konum alanı kodu
- LAI : Location Area Identity, konum alanı kimliği
- LBS : Location Based Services, konuma dayalı hizmetler
- LCS : LoCation Services, konumsal hizmetler
- LIF : Location Interoperability Forum,
- LMU : Location Measurement Unit, konum belirleme ünitesi
- LOS : Line Of Sight, görüş hattı
- MAS : Minumum Altitude Safe, iniş için istenen güvenli yükseklik
- MLP : Mobile Location Protocol, mobil konum protoklü
- MM : Middle Marker, orta “marker”
- MMS : Multimedia Messaging Service, çoklu ortam mesaj hizmeti
- MOU : Memorandum Of Understanding, anlaşma tezkeresi
- MPS : Mobile Positioning System, mobil konumlandırma sistemi
- MPP : Mobile Positioning Protocol, mobil konumlandırma protokolü
- MS : Mobile Station, Cep telefonu

- MSC : Mobile services Switching Center, mobil hizmetler anahtarlama merkezi
- MSISDN: Mobile Station ISDN number, Mobil istasyon ISDN numarası
- MSL : Mobile Station Location, cep telefonu konumu
- MSLC : Mobile Station Location Centre, cep telefonu konum bilgi merkezi
- MSLP : Mobile Station Location Protocol, cep telefonu konum protokolü
- NDB : Non Directional Beacon, doğrusal olmayan sinyaller yayan seyrüsefer cihazı
- NDC : National Destination Code, ulusal şebeke kodu
- NF : Network Feature, şebeke özelliği
- N-ISDN: Narrow Band Integrated Services Digital Network, dar band bütünleştirilmiş sayısal hizmetler şebekesi
- NLOS : Non - Line Of Sight, görüş hattında olmayan
- NMT : Nordic Mobile Telephone System, Kuzey ülkeleri telefon sistemi
- NNS : Non mobile Network Systems, sabit şebeke sistemleri
- NSS : Network Switching Subsystem, şebeke anahtarlama altsistemi
- NVOR : Normal VOR, konvansiyonel VOR
- OM : Outer Marker, dış “marker”
- OMA : Open Mobile Alliance, açık mobil birliği
- OMC : Operation Maintenance Center, işletme ve bakım merkezi
- OTD : Observed Time Difference, gözlemlenen zaman farkı
- O&M : Operation and Maintenance, işletme ve bakım
- PLMN : Public Land Mobile Network, kamu arazisi mobil şebekesi
- RACH : Random Access CHannel, rastgele erişim kanalı
- RMI : Radio Magnetic Inducator, radyo manyetik göstergesi
- RMTS : Radio Mobile Telephone System, radyo cep telefonu sistemi

RNC : Radio Network Controller, radyo Şebeke kontrolr

RSS : Received Signal Strength, alınan sinyal Şiddeti

RTD : Real Time Difference, gerçek zaman farkı

RXLEV : Received signal level, alınan sinyal seviyesi

SAI : Service Area Indicator, hizmet alanı göstergesi

SACCH : Slow Assosiated Control Channel, yavaŐ birleŐtirilmiŐ kontrol kanalı

SCCP : Signalling Connection Control Part, sinyal baŐlantısı kontrol kısmı

SCTA : Single Cell Timing Advence, tekil hücreli zaman ilerlemesi metodu

SDCCH : Stand Alone Dedicated Control Channel, kendi başına ayrılmış kontrol kanalı

SIM : Subscriber Identity Module, abone kimlik modulu

SMLC : Serving Mobile Location Center, hizmet veren mobil konum merkezi

SMPC : Serving Mobile Positioning Center, hizmet veren mobil konumlandırma merkezi

SN : Subscriber Number, abone telefon numarası

SS7 : CCITT Signaling System 7, sinyal 7 sistemi

SUPL : Secure User Plane Location, güvenli kullanıcı düzlem konumu

TA : Timing Advance, ilerleme zamanı

TAC : Type Approval Code, onay kod tipi

TACS : Total Access Communication System, tam erişim iletişim sistemi

TCH : Traffic Channel, trafik kanalı

TDMA : Time Division Multiple Access, zaman bölmeli oklayıcıli erişim

TMSI : Temporary Module Subscriber Identity, geçici mobil abone kimliŐi

TOA : Time difference of Arrival, geliş zaman farkı metodu

TRX : Transciever (Transmitter/Receiver), alıcı-verici katı

TVOR : Terminal VOR, terminal VOR

- U-TDOA: Up-Link Time Difference of Arrival, yukarı yönde geliş zaman farkı metodu
- UMTS : Universal Mobile Telecommunication System, evrensel mobil iletişim sistemi
- VDF : VHF Directional Finder, VHF yön bulucu seyrüsefer cihazı
- VFR : Visual Flight Rules, görerek seyrüsefer
- VLR : Visitor Location Register, geçici abone kütüğü
- VMC : Visual flight Conditions, görerek uçuş koşulları
- VOR : VHF Omni Range, VHF seyrüsefer sistemi
- WCDMA: Wideband Code Division Multiple Access, genişband kod bölmeli çoklayıcı erişim

1. GİRİŞ

Gelişen bilimin ışığında, hızla artan her zaman ve her yerde erişilebilir olma isteği daha kolay karşılanmaya başlandı. Özellikle ses ve veri iletişimine olanak sağlayan GSM'nin kapsama alanının, insanın günlük yaşama alanının çoğunu içermesi, bu teknolojinin dünyanın birçok yerinde geniş çaplı kullanımını sağlamıştır. Böylece GSM telefonları hayatın önemli bir parçası haline gelmiştir. İnsanlar erişebilirliğe o denli alışmışlardır ki, GSM kapsama alanının olmadığı, erişebilirliklerinin kısıtlandığı durumlarda, büyük sorunlar yaşamaya başlamışlardır.

GSM'nin kullanımının çok sınırlı olduğu yerlerden biri de uçaklardır. GSM dışında bazı teknolojiler erişim ihtiyaçlarını bir ölçüde karşılasa da birçok dezavantajları vardır. Son dönemde uçakların içinde mobil telefon kullanımına olanak sağlayan bazı teknolojilere izin verilmeye başlanmıştır. Bu hizmetin hayata geçirilmesi teknik olarak çok zor olmamakla birlikte, asıl zorluk gerekli yasal düzenlemelerin yapılabilmesinde yaşanmaktadır.

GSM'de MS'in yerinin bulunması, MS kullanıcısının fiziksel yerinin bulunması anlamında önemli bir bilgidir. Kullanıcının yerinin belirlenmesi, konuma dayalı hizmetlerin (LBS) sağlanması için gerekli en temel gereksinimdir. Uygulanabilir bir mobil cihaz konumlandırma sistemi, günümüzde gerek ağ işletmenleri, gerekse servis sağlayıcılar tarafından aranılan bir çözümdür. Acil durum çağrıları, iz sürme, konuma dayalı bilgi hizmetleri, konuma dayalı ücretlendirme, yerel reklam bilgilerinin gönderilmesi ve tanıtımların yapılması bu tür konuma dayalı hizmetlerden sadece birkaçıdır.

Bu tezde, GSM şebekesinin, MS'in yerinin bulunmasına ilişkin getirdiği çözümlerin, havacılıkta kullanılabilirliği konusunda bir inceleme sunulmuştur. Özellikle inişte uçakların yararlanabileceği ek bir seyrüsefer yardımcı sistemi (NavAids) uygulaması geliştirilmeye çalışılmıştır. Sunulan çözümde, BS'de hiçbir ek cihaz kullanılmamıştır. Yasal altyapı şu an hazır olmadığı için tasarlanan sistemin testleri uçak üzerinde yapılamamıştır. Uçak üzerinde, yansıma problemleri daha az olacağı için, verilen ölçüm sonuçlarından daha doğru sonuçlar gözlemlenebileceği düşünülmektedir.

2. SEYRÜSEFER

Seyrüsefer, bir uçağı bir konumdan diğer bir konuma getirmek ve her an konumunu belirleyebilmektir. Hava seyrüseferinin en basit şekli, arazi üzerindeki belirteçler yoluyla uçağın istenen konuma gitmesini sağlamaktır. İlk uçucular, nehirleri, demiryollarını izleyerek ve açık belirteçler olan şehir ve dağ tepelerine dikkat ederek yollarını bulmaktaydılar. Araziyi görerek yapılan kısa, gündüz uçuşlarında belirteçleri izleyerek yapılan bu basit seyrüsefer tekniğı yeterli olmakla birlikte gelişen uçak sanayi ile beraber, imalat ve trafik arttığı için başkaca yöntemlere ihtiyaç duyulmuştur. Gece, gündüz, kara ve deniz üzerinde, iyi ya da kötü hava şartlarında trafiğın iyi bir şekilde idare edilmesi için kalkış ve iniş zamanlarının net ve doğru bir cetvel halinde düzenlenmesi gereğı de ortaya çıkmıştır. Hava seyrüsefer yöntem ve aletlerini geliştirmede, eskiden bu yana kullanılan deniz seyrüsefer sisteminden yararlanılmıştır. Deniz seyrüsefercilerinin kullandıkları aletlerin bir kısmı uçakta taşıma bakımından hem çok ağır hem de çok büyüktür. Kullanılan yöntemlerin bir kısmı da süratli uçaklarda kullanılamayacak kadar karmaşık ve zordur. Ayrıca bazı hava seyrüsefer problemlerinin denizdekilerle ilgisi yoktur. Bu sebeple havacılığın kendisine has seyrüsefer cihazlarına olan ihtiyaç, yeni teknik ve buluşlarla desteklenmiştir. Günümüzde de gelişmeler tüm hızıyla devam etmektedir.

2.1. Genel Seyrüsefer

Seyrüseferde kullanılan limit ve koşulların farklılığı nedeniyle seyrüseferler;

- Görerek (VFR),
- Aletli (IFR)

olarak ikiye ayrılır.

2.1.1. VFR

VFR şartlarda uçuş için gerekli minimum koşullar aşağıdaki Çizelge 2.1’de verilmiştir. Bu koşulların altında kalan hava durumlarında VFR uçuş ve seyrüseferi yapılamamaktadır.

Çizelge-2.1 VFR minimum koşulları

| | VFR MİNİMA TABLOSU | | | |
|---------------------|--|--------------------------|------------------------|--|
| | Kontrollü Saha İçerisinde | | Kontrollü Saha Dışında | |
| | Üstünde | Aynı Seviye veya altında | Üstünde | Aynı Seviye veya altında |
| | Deniz seviyesinden 900 m. veya manıadan 300 m. (Hangisi daha fazla ise) üstünde | | | |
| Uçuş Rüyeti | 5 Km. | 5 Km. | 5 Km. | 5 Km. |
| Bulutlardan Uzaklık | | | | Bulutlardan uzaklaşarak veya yer ve suyu görerek |
| a) Yatay | 1500 m. | 1500 m. | 1500 m. | |
| b) Dikey | 300 m. | 300 m. | 300 m. | |

Uçuş yapan pilotun VFR minima çizelgesindeki koşullara uyması gerekir. Sözelimi, bir meydandan VFR uçuş planı ile kalkış yapılacaksa uçuş rüyetinin 5 Km. ve üzeri olması yeterlidir.

2.1.2. IFR

Bu tip bir seyrüseferin yapılabilmesi için uçulacak uçağın ve kullanıcı olarak pilotun, IFR koşullarda uçabilecek lisans ve yetkilere sahip olması gerekir.

Bunlara birkaç örnek vermek gerekirse IFR koşullarda uçacak uçakların NAV ve COM cihazlarının yeterliliği, buzlanma şartları ve gece uçuşları için gerekli teçhizatın bulunması sayılabilir.

Tüm sistemlerin kontrolü ve alet uçuşu için gerekli ICAO ve AIP kurallarına uygunluğunun sağlanması pilotların sorumluluğundadır. Belirtilen koşullardan bir tanesinin bile eksik olması halinde IFR kalkış ve IMC hava durumunda uçuş yapılamaz. Aletli yapılan uçuşlarda pilotun yer ile görsel temas sağlamadan uçuş yapabilmesi serbest kılınmıştır. VFR uçuşta ise VMC muhafaza edilmelidir[1].

2.2. Seyrüseferin Temelleri

Seyrüsefer, uçuş sırasında hedef noktaya giderken izlenmesi gereken rotanın takibinde ihtiyaç duyulan bilgilerin sağlanması için gerekli yöntem ve karşılaşılabilecek problemleri çözmeye yöneliktir.

Seyrüseferde, çözülmesi gereken üç ana problem;

- uçağın bulunduğu konumun her an için belirlenmesi,
- uçağın belirlenen herhangi bir konuma varacağı zamanın belirlenmesi,
- istenilen konuma ulaşabilmek için tutulacak baş doğrultusunun (istikamet) nasıl olması gerektiğinin belirlenmesi

olarak sayılabilir.

Bu üç problemi çözmek için kullanılan yönteme hesabi seyrüsefer (dead reckoning) denir.

2.2.1. Konumu her an için belirleme

Uçağın konumunun belirlenebilmesi için, hareket noktasını, uçuş yönünü, uçağın hızını ve uçuş süresini bilmek gerekir. Bunlar biliniyorsa konum probleminin çözümü oldukça basittir. Sözelimi, bir uçak x noktasından batıya doğru 180 Knot hızla uçuyor ise 20 dk. sonra bu uçağın x noktasından ne kadar uzakta bulunacağı hesaplanabilir.

2.2.2. Belirli konuma ulaşacağı zamanı tespit etme

Uçağın herhangi bir konuma varış zamanını bulmak, hesaplanması gereken bir diğer konudur. Her zaman mevcut olan ve hiçbir zaman önceden tam olarak hesap edilemeyen rüzgar hızı, uçağın hızının ve uçuş yönünün belirlenmesini güçleştirir. Uçak, yerkabuğu etrafında hareket etmekte olan hava içerisinde uçar. Uçaktaki hız göstergesi, uçağın hava kütesine göre ne kadar hızla ilerlemekte olduğunu gösterir. Uçağın, rüzgarı önden veya arkadan alıyor olmasına bağlı olarak, yere göre hızı daha fazla ya da az olabilir. Meteorolojiden alınacak yol boyu irtifa rüzgar bilgileri kullanılarak yapılacak seyrüsefer planları daha dakik olacaktır. Ayrıca DME ve GPS cihazlarının kullanımı ve bilgisayar yardımı ile havadaki rüzgar hızının tam olarak hesaplanması da mümkündür. Rüzgar uçağın sadece hızına değil, nehrin bir yanından diğerine geçen kayığın su akıntılardan etkilenmesi gibi, uçuş yönüne de etki eder. Uçağın pusulası, uçağın yeryüzü düzleminde izlediği yönü değil, uçak başının yöneldiği doğrultuyu gösterir.

2.2.3. Uçuş doğrultusunun belirlenmesi

İstenilen bir konuma gidebilmek için tutulacak baş doğrultusunun belirlenmesinde, ulaşılabilecek olan konuma doğru uçmak yeterli olmaz. Çünkü rüzgar, uçağı tutulan baştan başka bir doğrultuya doğru sürükleyebilir. Bu yüzden, rüzgarın hız ve yönü belirlenmeli, buna göre gereken düzeltmeler yapılmalıdır.

2.3. Seyrüsefer Çeşitleri

Seyrüsefer,

- hesabi seyrüsefer,
- pilot seyrüseferi,
- radyo ve radar seyrüseferi,
- yıldızlarla seyrüsefer

olmak üzere dört çeşittir.

Tüm seyrüsefer çeşitleri temelde hesabi seyrüsefere dayanmaktadır. Hesabi seyrüsefer, mesafeyi, uçuş doğrultusunu, havada geçen zamanı ve yer hızını hesaplayarak uçağın konumunun belirlenmesidir.

Pilot seyrüseferi, yer ile haritayı karşılaştırarak rotanın korunması üzerine kurulmuştur. Harita kullanarak ve arazi üzerindeki belirli noktaları dikkate alarak yapılan uçuşta kullanılan seyrüseferdir. Arazi üzerindeki noktaların görülebileceği hava koşullarında yararlanılabilir.

Radyo ve radar seyrüseferi, radyo verici ve radar istasyonlarının yardımı ile yapılan seyrüseferdir.

Yıldızlarla seyrüsefer, güneş, ay ve diğer yıldızların yardımı ile yapılan seyrüseferdir. Güneş, ay ve yıldızların konumuna göre yer ve yön belirleme temeline dayanır.

Uçuş sırasında tek bir seyrüsefer yöntemi güvenli olmayabilir. Görüş şartları harita okumayı engelleyebilir, teçhizat veya statik arızalar radyo ve radar seyrüseferini mümkün kılmayabilir. Bu nedenle uçuş planlarında mümkün olduğu kadar diğer seyrüsefer yöntemleri de birlikte kullanılmalı ve uçuş öncesi hazırlıkları da buna göre yapılmalıdır.

2.4. Seyrüseferin Ana Unsurları

Seyrüseferin,

- konum
- doğrultu
- uzaklık
- zaman

olmak üzere dört ana unsuru vardır.

Seyrüsefer bu dört ana unsur üzerine kurulmuştur. Bu unsurlar yer planlamasında hesaplanmalı ve uçuş sırasında devamlı olarak kontrol edilip, göz önünde bulundurulmalıdır[2].

2.5. Radyo Seyrüsefer Yardımcıları

Kullanılan birçok radyo seyrüsefer yardımcısı bulunmaktadır. Bunlardan bir kısmı sadece sivil ya da askeri amaçla kullanılmaktadır. Burada sadece sivil amaçlı kullanılanlardan en çok bilinenleri ve özelliklerini kısaca verilmiştir.

2.5.1. Gonyometre

Genel olarak gonyometre, bir elektromanyetik dalganın yayılma yönünün ölçülmesi prensibine dayanır. Pratikte dalganın yayınlandığı vericinin yönünün ölçülmesidir. Uygulamada karşımıza yer ve uçak bordo gonyometresi olmak üzere iki farklı şekilde çıkar.

Yer gonyometresinin vericisi uçak üzerindedir. VHF bandında yayınlanan dalga, aynı bantta çalışan ve kule üzerinde bulunan VDF cihazı yardımıyla kule operatörü tarafından okunur ve uçağın kuleye göre yönü saptanır. Daha sonra bu bilgi tekrar VHF bandından pilota iletilir.

Uçak bordo gonyometresi (ADF) bir yer istasyonundan MF bandından yayınlanan elektromanyetik dalga, ADF cihazı yardımıyla alınarak, yön bilgisi bordodaki göstergeler yoluyla pilota QDM, QDR bilgisi olarak bildirilir.

2.5.2. VDF

VDF sistemi,

- bir ATC radar ekranı üzerindeki radar cevaplarının ayrılmasına yardım etmek,
- uçağı istasyona yönlendirmek,
- uçağın istasyona veya istasyonun uçağa göre pozisyonlarını vermek,
- daha gelişmiş olanları ise, uçağın havaalanına inişini sağlamak amacıyla

kullanılır.

30 Hz.'lik iki sinyal arasındaki faz farkının, yayın yapan vericinin yönünü vermesi prensibi ile çalışır. Ayrıca 300-3000 Hz. frekanslı ses sinyali ve 30

Hz.'lik sinyal taşıyıcı, VHF frekansı ile aynı anda modüle edilir. Alıcıda bu iki işaret demodüle edilerek gösterge ve hoparlörlere gönderilir. Taşıyıcı frekansı 118.00-136.00 MHz. arasında seçilir. 121.50 MHz. acil durum frekansı olarak seçilmiştir. Hata payı birkaç derecedir.

VDF sisteminin ulaşabileceği menzil (2.1) ile hesaplanabilir.

$$D_{NM} = 1,25 \cdot (\sqrt{H_T} + \sqrt{H_R}) \quad (2.1)$$

Burada; D_{NM} , deniz mili cinsinden uçak ve verici arasındaki uzaklığı; H_T , uçağın ft. cinsinden deniz seviyesinden yüksekliğini; H_R , vericinin ft. cinsinden deniz seviyesinden yüksekliğini göstermektedir. Ancak menzil, aynı zamanda uçaktaki vericinin gücüne de bağlıdır.

2.5.3. ADF

Uçakların yayın yapan yer istasyonlarına bağlı olarak yön bulmasını sağlayan bir seyrüsefer yardımcısıdır. LF ve MF bandında çalışan bu sistem, uçaktaki RMI göstergeleri yoluyla, uçağın bulunduğu pozisyona göre istasyonun yönünü gösterir. NDB ve "Locator" olmak üzere iki tür yer istasyonu vardır. Sistemin çalışma frekansı 200.00-1750.00 KHz. arasında değişir. İletimde AM kullanılır. Çalışma prensibi VDF ile aynıdır. Her yer istasyonu mors kodunda 2-3 harfli tanıtım kodu gönderir. NDB için dakikada iki, "Locator" için dakikada altı defa tanıtım sinyali yayınlanır. ADF yaklaşma, normal uçuş gibi tüm uçuş seviyelerinde kullanılabilir. NDB daha çok seyrüseferde, "Locator" ise yaklaşımda kullanılır. "Locator" verici gücü 5-10 W., NDB'nin ki ise 1-5 KW. civarındadır. Buna bağlı olarak da "Locator" menzili 15-25 NM., NDB'nin ise 50-100 NM. civarındadır. Sistem hatası $\pm 5^\circ$ 'dir. Özellikle gece hata miktarı daha fazla olmaktadır. NDB'de gündüz, deniz üzerinde 430 NM., kara üzerinde 330 NM., gece ise deniz üzerinde 160 NM., kara üzerinde 125 NM.'a kadar sinyal alınabilmektedir. "Locator" genellikle pist orta hattına yerleştirilir ve son yaklaşımda kullanılır. Uçak üzerindeki alıcı anten bir dikdörtgen şeklindedir. Anten gelen sinyale paralelse maksimum, dikse minimum güçte sinyal indüklenir.

2.5.4. VOR

VOR istasyonu kendi etrafında birer derece aralıklarla 360 adet radyal denilen doğrusal hat üretir. VHF bandında her yönde yayın yapan verici, kullanıcıya manyetik kuzeye göre yönünü, seçilen radyale göre pozisyonunu bildirir. Uçakta alınan VOR bilgisi, uçağın uçuş yönünden bağımsızdır. Sadece ADF sistemindeki gibi uçak başını ADF istasyonuna yöneltmek amacı ile kullanılmaz, pilota uçuş sırasında yön bilgisi de verir.

VOR'un çalışması, istasyonunun yayınladığı sinyal bir taşıyıcı dalganın 30 Hz. değerinde birbirinden bağımsız, ancak aynı anda iletilen iki dalga tarafından modüle edilmesi prensibine dayanır. Bu iki işaretten,

- referans işareti (30 REF), her yönde sabit, değişmeyen faza,
- değişken işaret (30 VAR), radyale eşit olacak şekilde faza

sahiptir.

30 REF sinyali 9960.00 Hz.'lik bir alt taşıyıcıya, frekans modülasyonlu olarak bindirilir. Bu sinyal, alt taşıyıcıda, frekans değeri 108.00-118.00 MHz. arasında değişen ana taşıyıcıya bu sefer genlik modülasyonlu olarak bindirilir ve bir başka verici anten vasıtasıyla havaya iletilir. Uçaktaki alıcıda ise filtreler ve demodülatör vasıtasıyla 30 REF ve 30 VAR sinyalleri alt ve ana taşıyıcıdan ayrılır. Faz karıştırıcı ile 30 REF ve 30 VAR sinyalleri arasındaki faz farkları ölçülerek uçağın hangi radyal üzerinde olduğu belirlenir. HIS ve CDI göstergeleri yoluyla da pilota, seçilen radyale göre uçağın pozisyonu, "To/From" bilgisi, sessizlik konisi üzerinde uçulup uçulmadığı bilgisi gibi gerekli bilgiler aktarılır.

VOR'un çalışma frekans ve kanalları, 108.00-118.00 MHz.'lik frekans bandında 0.05 MHz. aralıklarla yerleştirilmiştir. Ancak 112.00 MHz.'e kadar frekanslar, 108.00-108.05-108.25-108.40 şeklinde sıralanmıştır. Bunun nedeni ise 108.10-108.30 MHz. gibi 111.90 MHz.'e kadar olan ara kanallarda ILS sisteminin "Localizer" kanallarının bulunmasıdır.

112.00 MHz.'den itibaren 118.00 MHz.'e kadar ise VOR kanalları 0.05 MHz. aralıklarla yerleştirilmiştir. Toplam 160 kanal kullanıma açılmıştır.

Aynı amaca hizmet etmekle beraber VOR tipleri,

- NVOR
- TVOR
- DVOR

olarak üçe ayrılır.

NVOR genelde düz uçuş seyrüseferlerinde kullanılır. Çalışma frekansı 112.00-118.00 MHz. arasındadır. Verici gücü 200 W., menzili 200 NM/FL 330 civarındadır.

TVOR yaklaşmalarda kullanılır. Çalışma frekansı 108.00-112.00 MHz. arasındadır. Verici gücü 50W., menzili 25 NM/FL 50 civarındadır. NVOR ve TVOR'un çalışma prensipleri aynıdır ve CVOR olarak da bilinirler.

DVOR'un çalışma prensibi diğer ikisine göre daha farklıdır. Havaalanı içerisindeki veya VOR istasyonu çevresindeki metal yapıların veya araçların neden olduğu yansılardan kaynaklanan bilgi hatalarının ortadan kaldırılması için geliştirilmiştir. Diğer iki tipe göre daha duyarlıdır ve hata payı daha düşüktür. Çalışma prensibinde "Doppler" etkisinden yararlanılmıştır. Vericiden gönderilen sinyal hareketsiz bir cisme çarpıp geri döndüğünde, giden sinyal ile dönen arasında herhangi bir frekans kayması olmaz. Hareketli bir cisimden yansıdığına ise f_d , "Doppler" frekansı kadar bir kayma meydana gelir. Eğer alıcı, vericiye yaklaşıyorsa f_d artar, uzaklaşıyorsa f_d azalır.

ICAO'nun izin verdiği kabul edilebilir maksimum hata payı her üç tip içinde $\pm 5^\circ$ 'dir. Her VOR istasyonu 2-3 harfli mors kodunda 1020.00 Hz.'lik bir tanıtım sinyali yayımlar.

2.5.5. DME

Pilota yer istasyonu ile uçak arasındaki uzaklığı veren ve UHF bandında yayın yapan bir sistemdir. Genelde VOR ile birlikte kullanılır. Böylece pilot aynı anda hem yön hem de uzaklık bilgisi edinmiş olur. Bu tip bir sistemde pilot, VOR frekansını seçtiğinde; otomatik olarak ona bağlı DME frekansı da seçilmiş olur

(VOR/DME). Sistem, yaklaşımlarda kullanılıyorsa iki istasyon arasındaki uzaklık 100 ft.'den fazla, seyrüsefer için kullanılıyorsa 2000 ft.'den fazla olmamalıdır.

DME'nin çalışma prensibi temelini radarın çalışmasından almıştır. Hem uçakta hem de yer istasyonunda, alıcı ve verici anteni vardır. Uçağın gönderdiği soru sinyalleri yer istasyonunda değerlendirilir ve farklı bir frekansta cevap sinyali olarak uçağa geri gönderilir. Yer istasyonunda soru sinyalinin değerlendirilmesi 50 µs.'de gerçekleşir. Soru ile cevap sinyali arasında 63 MHZ.'lik frekans farkı vardır.

Çalışma prensibi, sinyalin gidiş-dönüş süresinin ölçülmesine dayanır. Uçak ile yer istasyonu arasındaki uzaklık (2.2) ile hesaplanabilir.

$$D = (t - \tau) C / 2 \quad (2.2)$$

Burada, D, uçakla-istasyon arası uzaklığı(m); t, sinyalin gidiş-dönüş süresini(s); τ , yer istasyonunun soru sinyalini değerlendirme süresini (50 µs.);C, ışık hızını (m/s) göstermektedir.

İletişimde darbe modülasyonu kullanılmaktadır. Pilot, DME frekansını seçtikten sonra ilk soru sinyalleri darbe çiftleri şeklinde yer istasyonuna gönderilmeye başlanır. Uçak bu durumda arama aşamasındadır. DME istasyonunun cevap sinyalleri yakalanıncaya kadar uçak, saniyede 150 defa darbe çifti göndermeye devam eder. 15000 darbe çiftinden sonra hala cevap sinyali alınamamışsa saniyede gönderilen soru sinyali 60 darbe çiftine düşer. Cevap sinyali yakalandıktan sonra ise izleme aşaması başlar. Bu aşamada gönderilen darbe çifti sayısı, saniyede 10-30 arası bir sayıya iner.

Yer istasyonu her soru sinyaline cevap sinyali göndermez. Ortalama 10 soru sinyalinden 5'ine cevap sinyali gönderilir. Her DME istasyonunun belirli bir kapasitesi vardır. Yer istasyonunun gönderebileceği darbe çifti sayısı ortalama saniyede 2700'dür. Bu da aynı anda yaklaşık 100 uçağa hizmet verilebileceği anlamına gelir. İstasyon, öncelikle en güçlü aldığı soru sinyallerini değerlendirir. Kapasitesinin üzerinde kalan soru sinyalleri istasyon tarafından değerlendirmeye alınmaz.

DME'nin çalışma frekansı, UHF bandında 962.00-1213.00 MHz. aralığında seçilir. Bu aralıkta X modunda 126, Y modunda 126 olmak üzere toplam 252

kanal bulunur. Soru ile cevap sinyali arasında X ve Y moduna bağılı olarak ± 63 MHz. fark vardır. Her yer istasyonu 1350.00 Hz.'de mors kodunda tanıtım sinyali yayımlar.

DME'de optik dalgalar hakimdir. FL330'da 200 NM. menzile sahiptir. İstasyonun tam üzerinden geçilirken DME istasyonu uçağın irtifasını gösterir.

İzin verilen maksimum hata payı ortalama 0.5 NM. veya mesafenin %3'ü kadardır. Pratikte bu uzaklık 0.2 NM. civarındadır.

2.5.6. ILS

Bulut tavanının alçak, görüşün kötü olduğu durumlarda, uçağın piste elektronik cihazlarla emniyetli olarak iniş yapmasını sağlayan bir sistemdir.

Yer tesisleri,

- merkez pist hattını göstermek için düşey düzlem oluşturan "Localizer",
- iniş noktasına doğru belli bir açıyla (3°) yaklaşması için dikey düzlem oluşturan "Glide path",
- yaklaşma hattı boyunca dizilen, dikey yayın yapan ve mesafe bilgisi veren "Marker"ler

olmak üzere üç tanedir.

Bu üç yer tesisi daha çok fayda sağlamak ve uçuş emniyeti için, yüksek şiddet yaklaşma ışıkları ve DME ile beraber kullanılır.

"Localizer" bir piste ILS yaklaşması yapan uçakların, pistin merkez hattı doğrultusunda yaklaşmalarını sağlar. Frekans bandı 108.10-111.95 MHz.'dir. Taşıyıcı çıkış gücü 5-15 W. civarındadır.

"Localizer" verici antenleri, aletle iniş pistinin merkez hattı doğrultusuna dik olacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Pist sonundan itibaren 300 m. mesafededirler. Esas verici cihazları iniş kalkışları etkilememek için pist uzantısının dışına yerleştirilmişlerdir.

Anten yayınları iki yörünge meydana getirecek şekildedir. Bunlardan biri 150.00 Hz.'de modüle edilmiştir ve mavi sektör olarak bilinir. Haritalara da böyle işlenir. Diğer yörünge ise 90.00 Hz.'de modüle edilmiştir ve sarı sektör olarak

bilinir. Bir pilot dış “Marker” tarafından alana alçalma yapıyorsa mavi sektör daima sağındadır. Tam pist merkez hattı doğrultusunda, bu iki yörünge birbirlerini kestikleri kısımda bir “Course” meydana gelir. Bu “Course”un içinde uçan bir uçak doğruca pist doğrultusunda yaklaşır veya uzaklaşır. Dış “Marker” yönüne doğru pist üzerinden geçerek uzanan “Course”a “Front Course” ve bunun tam tersi yöne doğru uzanan “course”a “Back Course” denir.

“Localizer” vericileri 25 mile kadar güvenilir olarak sinyal yayınlamalıdır. “Localizer course”un kullanım açısı 3°’dir. Pist merkez hattına göre 1.5° sağ ve 1.5° soldadır.

“Localizer” VHF bandında çalışır. ILS’nin tanıtma sinyalleri, “Localizer” antenlerinden yayınlanır. “IESR”de olduğu gibi, ilk önce bir “I” harfi ve takiben 3 harfli bir mors kodu şeklindedir. “Localizer” antenlerinden ses yayını da yapılabilir, yönerge ve bilgiler pilota buradan iletilebilir.

Glide path, pilotlara açılma bilgisi verir ve iniş yapacak uçakların piste en uygun süzülme açısı içinde alçalmalarını sağlar. Frekans bandı UHF ve 329.15-335.00 MHz. arasındadır. Bunların anten ve verici binaları, ILS alçalması yapılan taraftan pist başından 300 m. içeriye ve 150 m. pist merkez hattının uzağına konulur. “Glide Path” antenleri, “Localizer” antenlerinde olduğu gibi iki adet yayın yörüngesi meydana getirir. 90.00 Hz.’de modüle edilmiş kısım üst tarafta, 150.00 Hz.’de modüle edilmiş kısım ise bunun alt tarafındadır. Bu iki yörünge birbirleri ile kesiştikleri yerde bir “Course” meydana gelir.

Her “Glide Path” vericisi beraber çalıştıkları “Localizer” frekansları ile eşleştirilmiştir. Pilot, VHF alıcı cihazında, “Localizer” frekansını seçtiğinde “Glide Path”de otomatik olarak devreye girer.

ILS’de kullanılan “Marker”ler alçalma yapan uçakların pilotlarına, pist başına ne kadar mesafede bulduklarını bildirirler. 75.00 MHz.’de çalışırlar. OM, MM ve IM olmak üzere üç adettirler. IM günümüzde fazla kullanılmamaktadır.

OM, pist başına 4-7 NM. mesafeye yerleştirilirler. Saniyede, mors kodunda, iki çizgi olarak kendilerini tanıtır. Bu sinyaller 400.00 Hz.’de modüle edilmiştir. Uçak “Marker”in yayın sahası içerisinden geçerken, alet paneli üzerinde mavi bir lambayı yakar.

MM, pist başına 3500 ft. mesafeye yerleştirilirler. 1300.00 Hz.'de modüle edilmiş çizgi ve nokta olarak kendilerini tanıtırlar. Uçak "Marker" in yayın sahasından geçerken, alet üzerinde amber renkli bir lambayı yakar.

IM, bazı konfigürasyonlarda ILS CAT II için yükseklik bilgisi sağlar. Pist başından 50 ft. uzağa yerleştirilir. 3000.00 Hz.'de modüle edilmiş, saniyede altı nokta olarak kendilerini tanıtırlar. "Marker" üzerinde beyaz renkli lamba yanar[3].

3. GSM TEKNOLOJİSİ

3.1. Genel Bakış

Bir mobil haberleşme standardının temel amacı, bir mobil telefon çağrısının, bir mobil şebekesinde nasıl taşınacağına belirlenmesidir. Bunun anlamı

- mobil telefon tarafından alınan ve gönderilen sinyallerin,
- bu sinyallerin formatlarının,
- mobil abonelerinin ulaşabileceği temel şebeke hizmetlerinin,
- şebekeyi oluşturan bileşenlerin birbirleriyle etkileşimlerinin,
- hücre gibi temel şebeke yapısının

ortaya konmasıdır.

Günümüzde, teknoloji alanındaki hızlı gelişimler özellikle iletişim alanında büyük değişimlere neden olmuştur. İletişim mobil sistemlerinin geçtiği aşamalar 70'li yıllara kadar uzanmaktadır.

70'li yılların başında yarı iletken teknolojisi ve yongaların geliştirilmesiyle teknolojinin her dalında daha hızlı ve karmaşık yapılar kullanılmaya başlanmıştır. 1972 yılında Bell Laboratuvarları'nda mobil iletişim için "hüresellik" kavramı ortaya konmuştur. Bütün dünyada, bu temel üzerinde çalışan farklı analog mobil iletişim sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerde, sadece ses taşımak mümkün olmuştur. Sözelimi, ilk nesil

- TACS sistemi İngiltere'de
- NMT sistemi İskandinav ülkelerinde
- AMPS sistemi ABD'de
- RMTS sistemi İtalya'da
- C-450 sistemi Almanya'da
- NTT sistemi Japonya'da

kurulmuştur.

Yukarıdaki sistemlerden bazılarının gelişimi çok başarılı olmuştur. Fakat sistemlerin bağımsız olmaları ve birbirleriyle uyumlu olmamaları gibi kesin kısıtlamalar ortaya çıkmıştır. Bir sistemdeki mobil telefon cihazı başka bir sistemde kullanılamamıştır. 1981’de NMT450’nin geliştirilmesinden bu yana birçok mobil standardı geliştirilmiştir. Bu standartların hepsi belirli bir ülke ya da grubun özel ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanmıştır. Bu yüzden bir ülke için uygunken bir diğeri için uygun olmamışlardır. Temel standartlar ve hedef piyasaları özetle Çizelge 3.1’deki gibi verilebilir.

Çizelge-3.1. Temel hücresel standartlar

| YIL | Standart | Mobil telefon sistemi | Teknoloji | Ana Piyasa |
|------|----------|--|-----------|------------------------|
| 1981 | NMT 450 | Nordic Mobile Telephony | Analog | Avrupa, Orta Doğu |
| 1983 | AMPS | Advanced Mobile Phone System | Analog | Kuzey ve Güney Amerika |
| 1985 | TACS | Total Access Communication System | Analog | Avrupa ve Çin |
| 1986 | NMT 900 | Nordic Mobile Telephony | Analog | Avrupa, Orta Doğu |
| 1991 | GSM | Global System for Mobile communication | Sayısal | Dünya çapında |
| 1991 | TDMA | Time Division Multiple Access | Sayısal | Kuzey ve Güney Amerika |
| | D-AMPS | Digital – AMPS | | |
| | IS136 | | | |
| 1993 | CdmaOne | CodeDivisionMultipleAccess | Sayısal | Kuzey Amerika, Kore |
| | IS95 | One | Sayısal | |
| 1992 | GSM1800 | Global System for Mobile communication | Sayısal | Avrupa |
| 1994 | PDC | Personel Digital Cellular | Sayısal | Japonya |
| 1995 | PCS1900 | Personel Communication Services | Sayısal | Kuzey Amerika |

1982 yılında Avrupalı otoriteler büyük bir öngörü ile mobil iletişimdeki uzun süreli potansiyeli belirleyip, mobil iletişimin sonraki neslini planlamaya başlamışlardır. CEPT toplantısında ikinci nesil, faz-2, sistemini oluşturmak amacıyla GSM (Groupe Special Mobile) çalışma grubu kurulmuştur.

Yeni sistemin tasarım felsefesi,

- Avrupa ülkeleri arasında dolaşıma izin verecek “Roaming”,
- açık standartlarla tasarlanacak,

- ISDN servislerinin sağlanabileceği sayısal teknoloji kullanılacak

olması olarak belirlenmiştir.

Geliştirilen sistem, Evrensel Mobil Haberleşme Sistemleri, GSM (Global System for Mobile communication) adını almıştır. Sistem ismi ile komite isminin karışmaması için komitenin ismi GSM (Groupe Special Mobile)'den, SMG (Special Mobile Groupe)'ye değiştirilmiştir.

1988'de ETSI kurulmuştur. Bu kurum daha önce farklı standartlarda ifade edilen CEPT aktivitelerini (telekomünikasyon standartlarını), GSM standartları da dahil olmak üzere, tek bir standart başlığı altında toplamıştır. GSM standartları bundan sonra ETSI standartları içinde verilmeye başlanmıştır.

GSM üç ayrı bant seçeneği ile sunulmuştur:

- GSM 900 : Bu sistem 900 MHz. frekans bandını kullanmaktadır. Temel olarak kırsal alan için tasarlanmıştır. Maksimum hücre yarıçapı 35 Km. olarak verilmiştir. Verici yönünde 890-915 MHz., alıcı yönünde 935-960 MHz.'lik bir frekans bandında çalışmaktadır. G-Bant sistemi içinse, sırasıyla 880-890 MHz. ve 925-935 MHz. frekans bandları verilmiştir.
- DCS 1800: Bu sistem 1800 MHz. frekans bandını kullanmaktadır. Temel olarak abone yoğunluğunun fazla olduğu şehirsal bölgeler için tasarlanmıştır. Maksimum hücre yarıçapı 7-8 Km. olarak verilmiştir. Verici yönünde 1710-1785 MHz., alıcı yönünde 1805-1880 MHz.'lik bir frekans bandında çalışmaktadır.
- PCS 1900 : Bu sistem 1900 MHz. frekans bandını kullanmaktadır. Kuzey Amerika'da kullanılmaktadır. Temel olarak abone yoğunluğunun fazla olduğu şehirsal bölgeler için tasarlanmıştır. Maksimum hücre yarıçapı 6-7 Km. olarak verilmiştir. Verici yönünde 1850-1910 MHz., alıcı yönünde 1930-1990 MHz.'lik bir frekans bandında çalışmaktadır.

N-ISDN geliştirilmesi ve ISDN servislerinin mobil telefonda kullanılmaya başlanmasıyla pazar içinde büyük gelişmeler olmuştur. GSM'deki önemli değişimler tarihsel sırayla verilmek istenirse,

- 1982, Pan-Avrupa mobil sistemlerinin standartlarının belirlenmesi için CEPT, GSM grubunu oluşturmuş,
- 1985, kabul gören bir öneriler listesi GSM grubu tarafından hazırlanmış,
- 1986, havadaki arayüz için teklif edilen farklı radyo erişim teknikleri test edilmiş,
- 1987, TDMA erişim metodu olarak seçilmiş (Daha sonra FDMA ile kullanılmıştır. 12 ülkeyi temsil eden 12 telekom işletmecisiyle ilk uzlaşma muhtırası, MOU, imzalanmıştır.),
- 1988, GSM sistemi onaylanmış,
- 1989, GSM in koşul ve standartlarının belirlenmesi ETSI'ye devredilmiş,
- 1990, Faz-1 GSM standartları oluşturulmuş,
- 1991, GSM, kamunun kullanımına sunulmuş,
- 1992, GSM anlaşması imzalayan ülkelerin sayısı ile beraber; büyük şehir ve havalimanlarında kapsama artmaya başlamış,
- 1993, karayolları kapsamaya alınmaya başlanmış ve GSM servisleri Avrupa dışında da verilir duruma gelmiş,
- 1995, Faz-2 GSM de kırsal alanlarda kapsama şartları belirlenmiştir.

GSM, platformdan bağımsız olarak tasarlanmıştır. GSM şartnamesinde, gerekli donanımları belirlemek yerine, şebeke fonksiyonları ve arabirimlerinin detayları belirlenmiştir. Böylece hem donanım tasarımcıları bu fonksiyonları sağlayacak tasarımlar yapma konusunda özgür bırakılmış, hem de operatörler farklı üreticilerin ekipmanlarını alabilir duruma gelmiştir.

GSM önerileri Çizelge 3.2'de verilen 12 seriden oluşturulmuş; bu seriler farklı uzman grupları tarafından yazılmıştır. Tüm bu gruplar ETSI tarafından organize edilmiştir.

Çizelge-3.2. GSM önerileri

| Seriler | Konu |
|---------|-------------------------------------|
| 1 | Genel |
| 2 | Hizmetle ilgili konular |
| 3 | Şebeke ile ilgili konular |
| 4 | MS-BSS arayüz ve protokolleri |
| 5 | Radyo yolunun fiziksel katmanları |
| 6 | Ses kodlama özellikleri |
| 7 | MS için terminal adaptörü |
| 8 | BSS-MSC arayüzü |
| 9 | Şebeke konuları |
| 10 | Hizmet konuları |
| 11 | Ekipman ve tip onaylama özellikleri |
| 12 | Bakım onarım |

3.2. İlk Mobil Telefon

1973 yılında ilk mobil telefonu Martin Cooper tarafından geliştirilmiştir. Başlangıçta Şekil 3.1’de gösterilen 850 gram ağırlığındaki mobil telefon, bugün yaklaşık 80-90 gram ağırlığında teknolojik bir ürüne dönüşmüştür.

Bu mobil telefon ile Cooper ilk görüşmeyi 3 Nisan 1973 tarihinde yaparak tarihe geçmiştir. Cooper’ın mobil telefonundan önce kullanılan araç telefonları ise yaklaşık 13 kg ağırlığındadır.



Şekil-3.1. İlk mobil telefon

3.3. Mobil Dünyası

GSM mobil telefonu standardı 1980 yılının ortasında kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde GSM'den bahsedildiğinde, ilk kullanılan frekans bandı 900 MHz. olduğu için, genelde GSM 900 olarak da bilinen ilk GSM anlaşılmaktadır. Ek kapasite sağlamak ve daha fazla miktarda abonelik sağlamak için sonradan GSM 1800 (DCS 1900 olarak da bilinir) ve GSM 1900 (PCS 1900 olarak da bilinmektedir) olmak üzere iki sistem daha kullanılmıştır;

GSM 900 ile karşılaştırıldığında, GSM 1800 ve GSM 1900 de temel farklılık kullanılan hava arayüzü olmuştur. Farklı bir frekans bandı kullanılmasının yanı sıra, her bir radyo hücresi için daha küçük kapsama bölgesi demek olan, mikro-hücresel yapı kullanılmıştır. Böylece frekansların daha yakın mesafelerde tekrar kullanılması ve abone yoğunluğunun artırılması sağlanmıştır. Yüksek frekans sebebiyle hava arayüzünün daha hızla zayıflaması ise bir olumsuzluk olarak ortaya çıkmıştır.

ETSI, daha sonraki mobil iletişim hava arayüzünü, UMTS-WCDMA ve TDMA-CDMA gibi teknolojilerin bileşimi olarak sunmuştur. Bu teknolojilerde mevcut GSM şebeke alt yapısının bir kısmı değiştirilmeden kullanılmıştır.

3.4. GSM Teknolojisi

Önceleri GSM şebekeleri, ülkeden ülkeye ve üreticiden üreticiye değişen analog teknolojiler olmuş; dolayısıyla birden fazla ülkede kullanılmayan ulusal mobil radyo şebekeleri şeklinde çalıştırılmıştır. Birçok şebekedeki konuşma kalitesi de istenilen seviyenin çok altında kalmıştır.

Tüm dünya da kullanılabilecek uluslararası standartların getirilmesi ve konuşma kalitesinin artırılması sonrasında, GSM çok kısa bir zaman içerisinde hızla yaygınlaşmıştır. Tüm dünyada tek bir telefon numarası ve mobil telefon ile konuşmaya başlanmıştır. Avrupa'da, 1991 yılında ETSI, GSM standartlarını yürürlüğe koymuştur. Günümüzde GSM, ikiyüzden fazla ülkede kullanılmaya başlanmıştır[4].

GSM sayesinde iletişim dünyasına

- uluslararası dolaşım desteği
- kullanıcı ve cihaz tanımlamasının ayrılması
- yüksek konuşma kalitesi
- geniş ölçekli servisler
- ISDN, DECT, Wi-Fi gibi teknolojilerin birlikte çalışması
- daha ucuz görüşme
- GSM'e özel güvenlik özellikleri ile güvenli iletişim

katma değerleri sunulmuştur.

GSM, diğer teknolojilerden, geniş kapsamlı servisleri olan,

- telefonla kaliteli ses iletimi,
- paket veri şebekesine erişim,
- asenkron ve senkron veri iletimi (2.4, 4.8 ve 9.6 Kbit/s'de),
- SMS, Fax şeklinde telematik servisleri,
- arayan kimliği, telesekreter, SMS gibi birçok katma değerli servisleri
- E-posta ve internet bağlantıları
- GPRS

sayesinde farklılaşmıştır.

Şebeke sağlayıcı açısından ise,

- şebeke büyütmede kolaylık,
- servis genişletme esnekliği
- verimlilik
- hızlı planlama
- gelir/kar paylaşımı

açısından tercih edilmiştir.

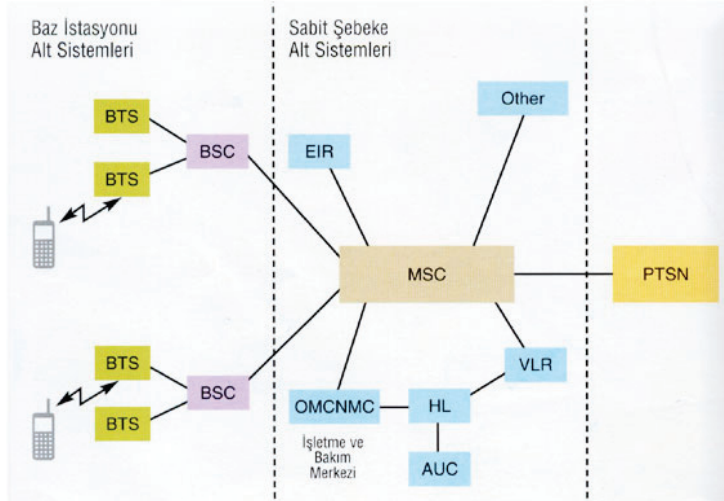
3.5. GSM Sistem Mimarisi

Yönetilebilir bir iletişim sistemi oluştururken izlenebilecek yollardan biri, sistemi standartlaştırılmış arayüzler kullanarak birbirine bağlamaktır. Bu arayüzler, her biri GSM sisteminin katmanları üzerinde çalışacak şekilde düşünülmüştür, Bu katmanlar sırasıyla fiziksel katman, veri-bağlantı katmanı ve şebeke katmanı şeklinde birinciden üçüncüye doğru sıralanmıştır. GSM şebekesi Şekil 3.2’de görüldüğü gibi üç gruba ayrılabilir,

- MS ya da Türkiye kullanılan ismi ile “Cep Telefonu”,
- BSS,
- NSS.

Bu sistemlerin her biri mobil şebekenin bileşenleri olan birçok fonksiyonel birimi kapsamaktadır. Diğer telekomünikasyon şebekelerindeki gibi, GSM şebekelerinin işletim, bakım ve yönetimi de merkezi bir şekilde bilgisayarlarla yapılmaktadır.

MS, klasik, araca monteli ve 20 W.'da çalışan telefondan, gittikçe daha yaygınlaşan, elde taşınabilen ve tipik olarak 5W.'ın altında yayın yapan birimlere dönüşmüştür.

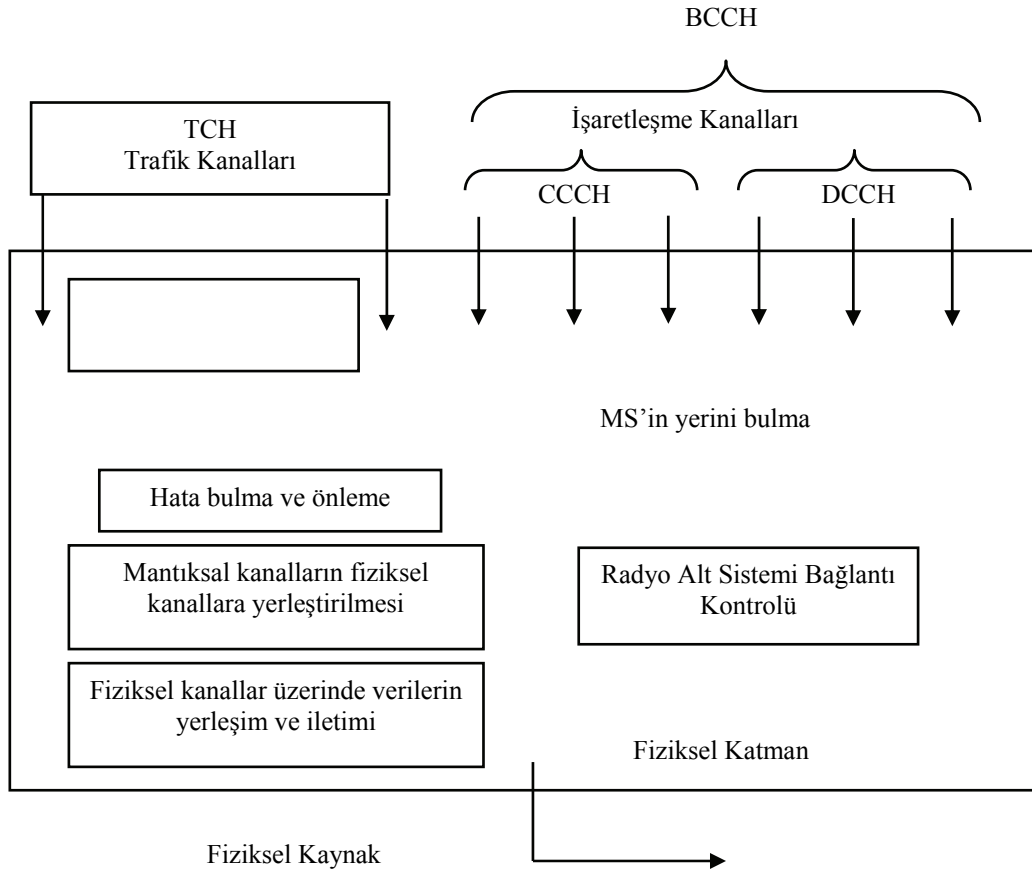


Şekil-3.2. Basit bir GSM şebekesi

MS kullanıcısı bir arama başlattığında, MS yakınındaki uygun bir BTS'i bulmaya çalışmaktadır. MS'in bulunduğu bölgeye hizmet veren BTS'in oluşturduğu radyo hücresinde bir ya da daha çok frekans bandı kullanılıyor olabilir. Bir ya da daha fazla BTS ve bir BSC'de, BSS'i oluşturmaktadır. BTS, radyo bağlantısının 1. ve 2. katmanlarında yer almaktadır. BTS kanallarından bir tanesi kontrol fonksiyonları için diğer kanallar ise trafik için ayrılmıştır. MS, bir BTS'e giriş yapıp senkronize olduğunda, BSC, MS'e çift-yönlü bir işaretleme kanalı belirlemekte ve bu kanalı MSC'ye bağlamaktadır. Şebeke içerisinde trafiği ve iletişimi yönlendiren MSC, diğer şebekelerle birlikte çalışmaktadır. MSC, ek fonksiyonlarıyla birlikte, bir ana ISDN santrali ile mobil uygulamaları destekleyecek olan bağlantılardan meydana gelmiştir. MS, sisteme giriş yapmak için istekte bulunurken, girişine izni olduğunu doğrulamaya yarayacak özel bir numara olan IMSI'sini göndermektedir. Bu kimlikle, belgeleme (authentication) denilen işlem gerçekleştirilmektedir. Bu arada sistem de, giriş izni olan MS'in şebekedeki yerini belirlemeye çalışmaktadır. Her abone, bir ana şebekeye ve o şebeke içinde bir MSC'ye bağlı olmalıdır. Bu amaçla HLR'ye her MS için bir abone kaydı yapılmaktadır. Bu kayıta, abonenin kullanımına izin verilen servisler hakkındaki bilgilerde verilmiştir.

GSM mobil şebekesinin radyo alt sistemi anlatılırken, mantıksal kanal verilerinin hatalarının nasıl önlediği, bu verilerin fiziksel kanallara nasıl yerleştirildiği ve son olarak da radyo linki üzerinde nasıl taşındığı kısaca anlatılmıştır. Radyo alt sistemi, mobil abone ile şebeke yani MS ve BS arasındaki bağlantının fiziksel katmanını oluşturmaktadır. Şekil 4.3'de bu fiziksel katman gösterilmiştir.

Bir taraftaki fiziksel katmanda yer alan trafik (TCH) ve iletişim kanalları (BCCH), mantıksal kanal yoluyla veri bağlantı katına bağlanmıştır. Şekil 3.3'de de görüldüğü gibi bu kanallardan bazıları alt kanallara da bölünmüştür. Konuşma ya da veri taşıyan trafik kanalları, tam (full-rate) ya da yarı-hızlı (Half-rate) olarak ve 2.4, 4.8 veya 9.6 Kbit/s. hızlarından birisinde çalıştırılabilmektedir.



Şekil-3.3. MS-BS bağlantısının fiziksel katı

GSM sisteminde, kullanıcılar tarafından hem yüksek kapasite isteyen, hem de çok farklı radyo servisleri tarafından paylaşılması gereken bir radyo iletim ortamı söz konusudur. Bu nedenle radyo frekans kaynaklarının kullanımı planlanırken radyo frekans bandının çok sınırlı bir kaynak olduğu dikkate alınmıştır. Mobil istasyonun hareketinden dolayı radyo bağlantısının güvenilemez ve zamanla değişen yapısı da göz önünde tutulmuştur. Yüksek kapasiteli hücreli sistemin, karışık zaman ve frekans bölmeli, çoklu girişli, sayısal iletimli ve bant genişliği verimli modülasyon kullanması bu gereklerden kaynaklanmıştır.

Radyo alt sisteminin amacı, veri bağlantı katına, baştan sona kadar tanımlanmış bir bit geçidini kabul edilebilir bir iletim gecikmesi ve mantıksal kanalların her biri için uygun bir kalite ile sağlamaktır. Bu amacın sağlanması için fiziksel kat,

- özel veri yapıları inşa ederek bunları radyo yolu üzerinden iletmek suretiyle fiziksel kanallar meydana getirme,
- mantıksal kanalları bu fiziksel kanallara yerleştirme,
- mantıksal kanallara hata koruması uygulama,
- verilen kaynakları ilgili kanallara atamak için radyo ortamını kontrol edip; kanal değişikliği ve güç kontrolü gibi fonksiyonlarla yayının özelliklerinin değişimini sağlama

görevlerini yerine getirmektedir.

Frekans bandı, frekans, zaman ve yeryüzü şartları açısından, MS'in ihtiyaçlarına uygun ve en verimli kullanılabilecek şekilde fiziksel kanallara ayrılmalıdır. GSM sisteminde, coğrafi bölgelerin altıgen şekilde gösterilen hücrelerden oluştuğu varsayılmaktadır. Her hücreye, önceden belirlenmiş belirli sayıda frekans-zaman kanallarıyla donatılmış bir BS hizmet vermektedir. Bazı hücrelerde çap 1 km.'ye kadar düşürülerek, radyo yayınının kapsadığı alan küçültülmüş ve aynı kanalın birbirine yakın istasyonlarda tekrar kullanılmasını sağlanmıştır. Benzer kavram daha önce analog mobil telefon şebekelerinde de başarıyla uygulanmıştır. CEPT, GSM tarafından kullanılmak üzere iki frekans bandı belirlemiştir. Bu iki banttan 890.00-915.00 MHz. aralığında yer alan bant, MS'den BS'e doğru kullanılacaktır. Bantlar 890.20 ve 935.20 MHz'den başlayan çiftler şeklinde, 200.00 KHz. aralıklarla, 124 taşıyıcı çiftine bölünmüştür. Bu sistemde zaman eksenini, TDMA sistemi kullanılarak, 0.577 ms.'lik zaman aralıklarına bölünmüş, sıfırdan yediye kadar numaralanan sekiz aralık birleştirilerek 4.615 ms.'lik bir zaman çerçevesi meydana getirilmiştir. Zaman aralıkları, her çerçeve bir fiziksel kanal oluşturduğundan, her 4.615 ms.'de bir tekrarlanmaktadır. Bu yapı her iki yönde de, yani hem aşağı hem de yukarı doğru kullanılmıştır. Veri bu zaman aralıklarına yerleştirilen veri yapılarında iletilmektedir. Bu veri yapıları, taşınacak her bir bit için 0.546 ms. olarak tasarlanmıştır. Bu 271 Kbit/s hızında iletilen 148 bit anlamına gelmektedir. Gerçek veri iletimi için 114 bit elde edilebilmektedir. Kalan bitler veri yapılarının alınmasında ve yerlerinin bulunmasında yardımcı olmak üzere kullanılmaktadır.

Her iki uçta üç bitlik kuyruk bitleri, veri bitlerinin eşit bir şekilde ortada yerleşmesini sağlamak için kullanılmaktadır.

Veri yapısının ortasında yer alan deneme dizisi, alıcı tarafından, saçılım dengeleyicisini ayarlamak, yayının karakteristiklerini tahmin etmek ve eş zamanlılığı sağlamak amacı ile planlanmıştır. Veri yapısı, bant genişliği - zaman çarpımı 0.3 olan “Gaussian minimum Shift Keying” tekniğini kullanarak; özel bir hücre için ayrılmış bir taşıyıcıyı modüle etmektedir. Frekans atlama yoksa, bir fiziksel kanala ait olan tüm veri yapıları, aynı taşıyıcı frekansı ile iletilmektedir. Bu durumda frekans, veri yapıları arasında değişir. Fiziksel kanallar 4.615 ms'de 114 bit çıkışı veya 24.7 Kbit/s.'lik hızı sağlamaktadır[5].

3.6. MS

MS cihazı, abonenin şebekeye girişi için gerekli olan ünedir. Mobil iletişim sistemlerinde kullanılan

- araca monteli,
- portatif,
- elde taşınabilir

olmak üzere üç tip telefon vardır.

İlk tip olan araca monteli cihazlar, genelde arabalarda kullanılmaktadır. Çoğu zaman anteni aracın dış kısmına yerleştirilir. 80'li yıllarda kullanılmaya başlanan bu mobil telefonların cihazları oldukça büyük ve ağır olup; çoğunlukla araç içerisine kurulu olarak kullanılmıştır. Çoğunlukla araç telefonu olarak isimlendirilmektedir. Bu telefonlar genellikle 5-8 W. arası bir güç ile çalışmaktadır.

İkinci tip olan portatif cihazların ahize birimleri elde taşınabilir olmakla birlikte anten ayrı bir RF ünitesine bağlanmıştır. Cihaz, iş yeri ve şantiye gibi küçük alanlar içerisinde taşınarak ve RF ünitesinden çok uzaklaşmadan kullanılmaktadır.

Üçüncü tip olan elde taşınabilir cihazların tamamı çok küçük hacim ve ağırlıktadır. RF ünitesi, anten ve telefon cihazı küçültülerek birleştirilmiştir.

Bugün kullandığımız mobil telefonlar bu tiptendir. Şebekelerde sinyal seviyelerinde denge ve belli bir kaliteyi sağlayabilmek açısından cihaz güçleri sınıflandırılmış; sistemde buna göre tanımlamalar yapılmıştır. Cihaz RF güç değerleri Çizelge 3.3'te verilmektedir.

Çizelge-3.3. Telefon güç değerleri

| Güç Sınıfı | Güç Çıkışı (W.) | Açıklama |
|------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | 20 | Kullanılmıyor |
| 2 | 8 | Portatif cihazlar |
| 3 | 5 | Araç telefonu |
| 4 | 2 | GSM900 mobil telefon |
| 5 | 0.8 | GSM1800 mobil telefon |

Mobil telefonların desteklemesi gereken genel özellikler,

- Çizelge 3.3'te verilen güç değerlerini sağlama,
- faz-1 ve faz-2 özelliklerini destekleme,
- şifreleme yapabilme,
- SMS gönderme/alma,
- belirtilen frekans bandında iletimi sağlama

olarak sıralanabilmektedir.

Yukarıda belirtildiği gibi MS, el terminali, mobil, taşınabilir terminal ya da mobil ekipman olarak isimlendirilebilir. MS'e, takıp çıkarılabilen ve iki farklı ebadı olan bir SIM kart takılabilir. SIM kartları, IMSI adı verilen kendine özel bir tanımlama numarası taşımaktadır. Ayrıca her MS'e de, IMEI adı verilen özel bir donanım kimliği atanmıştır.

Özellikle veri iletişimi gibi bazı yeni uygulamalarda MS, GSM arayüzü olarak çalışan bir terminale dönüştürülebilmektedir. Bu yeni uygulamada MS, normal GSM telefonundan çok daha fazla işlev üstlenmiştir.

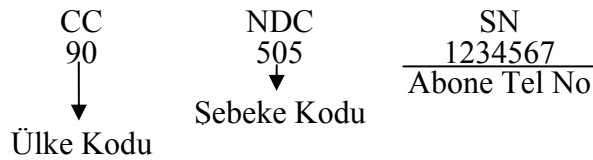
Mobil telefon küçük olmasına karşın ses ve veri iletiminde bir alıcı-verici görevi görmektedir. Aynı zamanda dinamik güç ayarlama, konuşma sırasında

kanal değiştirme ve kanal kodlama gibi birçok zorlu görevi de yerine getirmektedir.

3.6.1. SIM kart veya abone kimlik modülü

SIM kart abone bilgilerini taşıyan bir akıllı kart olup, mobil cihaz içine takılmaktadır. şebekeye girebilmek için SIM'in bazı özel bilgileri taşıması gerekmektedir. Bu bilgilerden,

- IMSI, şebekede, aboneyi tanımlayan ve özel bir numaradır. Abone, şebekede bu numara ile birden fazla servisi kullanabilmektedir. Bu numara yalnızca şebekeye ilk girişte kullanılmaktadır.
- TMSI, IMSI yerine kullanılan bir numara olup; periyodik olarak değiştirilmektedir. Böylece abone bilgileri ve konuşma güvenliği için, dinlenmeye karşı, ek bir koruma sağlamaktadır.
- LAI, abonenin, şebekede bulunduğu yeri tanımlamaktadır. Bu kod sayesinde aboneye gelen çağrılar, aboneye yönlendirilebilmektedir.
- Ki, abone bilgisi ve konuşma güvenliğinin sağlanması amacıyla kullanılan bir şifreleme ve sorgulama anahtarıdır. Bu kod her abone için ayrı olup, SIM kart ve AUC'de kaydedilmiştir. Ki kullanılarak MS ile BTS arasında iletilen tüm bilgiler şifrelenmektedir. şifreleme ve şifre zme işlemine sağlayan anahtar kod Ki'dir.
- MSISDN, abonenin kullandığı telefon numarasıdır. lke kodu, şebeke kodu ve abone telefon numarasının birleşimi ile oluşturulmuştur. Sözgelimi,



3.7. BSS

BSS, bir BSC ve bir ya da daha fazla BTS'den oluşmaktadır. BSS'i oluşturan sistemlerden BSC'ye kendi bölgesindeki bir ya da daha fazla BTS

bağlıdır. BSC’de, BTS’ler için radyo kaynakları yönetilir. Günümüzün yeni ve gelişmiş BTS’leri, daha önce BSC’ler tarafından yürütülen birçok görevi üstlenmişlerdir. BSC’nin ana fonksiyonu çağrıya kaynak sağlamaktır. MS’ler alabildikleri sinyal güçleri konusundaki bir raporu her 480 ms.’de bir BSC’ye iletirler. Bu bilgilerle, BSC diğer hücelere yapılacak kanal değişimi işlevlerini başlatabilir ya da BTS çıkış gücünü değiştirebilir.

GSM mobil telefonlarını hücresele şebekeye bağlamak için ise BTS adı verilen bir dizi radyo ileticisi kullanılır. BTS’lerin görevleri arasında kanal kodlaması ve kodlama/kod çözme bulunmaktadır. BTS, radyo ileticileri, alıcıları, antenler ve iletim arayüzü gibi donanımlar içermektedir. BTS, gerekli çağrı kapasitesini sağlamak için bir veya daha fazla alıcı-vericiden oluşabilir. Bir BSS yönsüz (her yönde yayınım yapan) ya da tipik olarak üç adet yönlendirilmiş (sektörel) hücreye sahip olabilir.

3.7.1. Baz istasyonu tipleri

BSS’lerin hizmet verdikleri bölgeye göre,

- yönsüz hücreli baz istasyonları,
- yönlendirilmiş hücreli baz istasyonları

olmak üzere iki farklı tipi vardır.

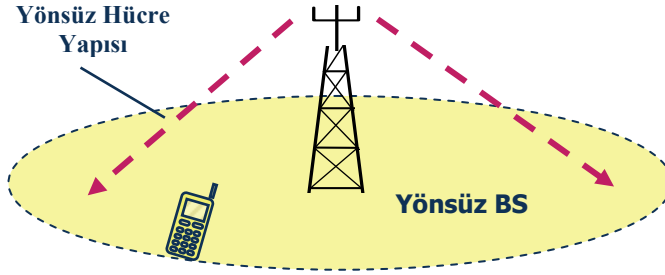
Yönsüz hücreli baz istasyonları, Şekil3.4a’da da görüldüğü gibi tek hücreden oluşur ve baz istasyonunu merkez kabul eden 360°’ye eşit olarak yayınım yapar. Baz istasyonu antenleri bu yayınıma uygun özelliktedir. Bu tip antenler “Omni” anten olarak isimlendirilir.

Yönlendirilmiş hücreli baz istasyonları ise Şekil3.4b’deki gibi bir veya birden fazla hücreden oluşur. GSM’de genelde üç hücreli yönlendirilmiş yapı kullanılır. Sektör’de denilen bu hücreler, yönlü antenler kullanılarak oluşturulur. Bu tip antenler ön yüzey doğrultusunda belirli bir açıyla ışınım yaparlar.

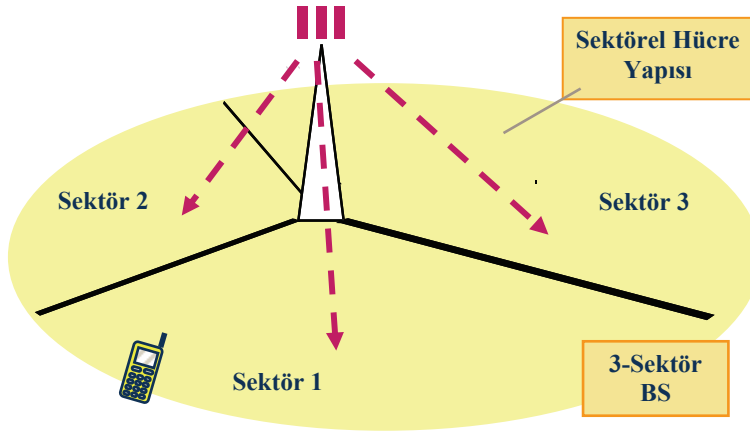
Sektörel yapıda antenler yere göre belirli bir eğimle (tilt) monte etmek mümkündür. Böylece hücre bir bölgeye odaklanıp; hizmet verilecek alanın sınırları iyi bir şekilde çizilebilir. Ayrıca bu yapıda sektör planlaması yapmakta daha kolaydır. Sinyal ve hizmet kalitesi, Şekil 3.4c’deki gibi hücreler daha

küçültülerek arttırılabilir. Küçük hücrelerde, var olan kapasite daha etkin bir şekilde kullanılabilir[6].

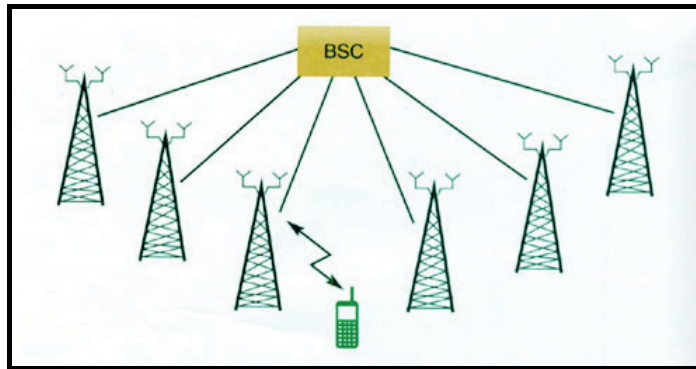
Düşük kapasitesinin olduğu ve olabildiğince geniş alanların kapsamak istendiği kırsal bölgeler için yönsüz, yoğun abone nüfusunun olduğu sık ve küçük hücre tanımlanması gereken şehirsal alanlar için ise yönlü BSS tipleri tercih edilir.



Şekil-3.4. (a) Yönsüz istasyon



Şekil-3.4. (b) 120° açılı üç sektör hücreli istasyon



Şekil-3.4. (c) BSS şebekesi

3.7.2. Kod çevirici

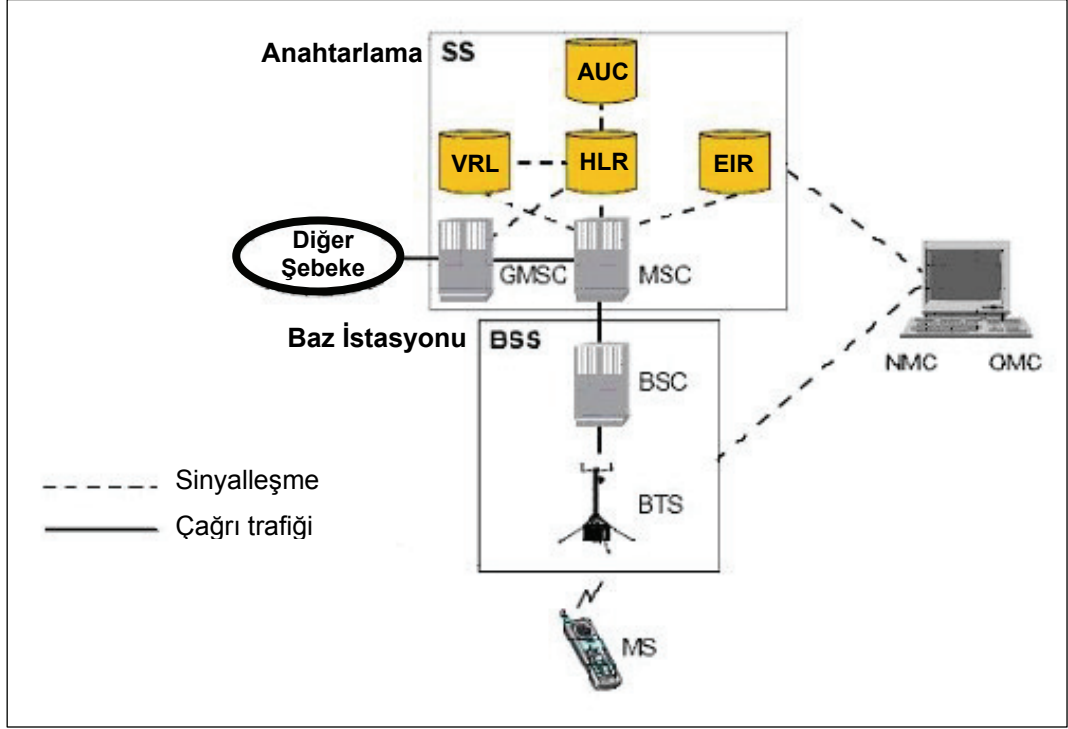
Kod çevirici (Transcoder), GSM'de kullanılan iletişim formatı ile genel iletişim sistemlerindeki iletişim formatı arasındaki dönüşümü sağlar. GSM sisteminde, hava arayüzünde (air interface) iletimin zorluğu ve daha verimli kullanım koşulları yüzünden kabul edilmiş iletim değeri 16 Kbit/s'dir. Genelde diğer iletim sistemlerinde ise 64 Kbit/s'lik iletim kullanılmaktadır. Kod çevirici, 16 Kbit/s'den 64 Kbit/s'ye ve 64 Kbit/s'den 16 Kbit/s'ye dönüşümü gerçekleştirir. Ekipman olarak MSC'lerin yanına yerleştirilmiştir.

3.8. Sabit Şebeke Sistemleri (NNS)

Çağrı işlemleri ve abonelik ile ilgili fonksiyonların yerine getirilmesinden sorumludur. Bu işlemleri yapabilmek için Şekil 3.5'de de görülen,

- MSC
- HLR
- VLR
- AUC
- EIR

fonksiyonel birimlerini kullanır.

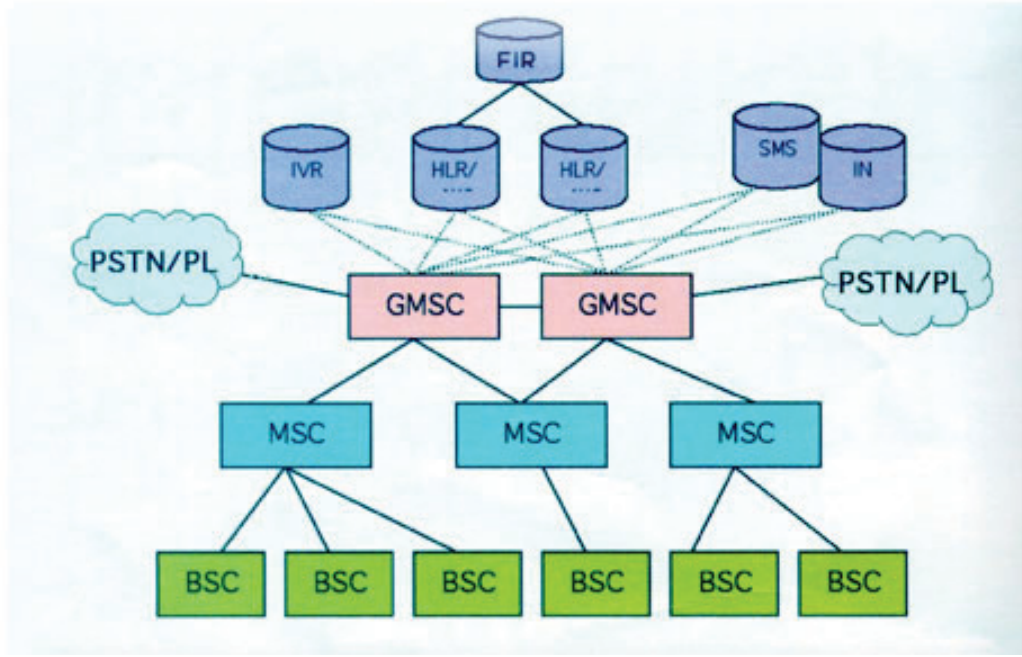


Şekil-3.5. Sistem modeli

MSC, sistemde telefon anahtarlama fonksiyonunu yerine getirir. Tıpkı PSTN ve PLMN'deki gibi telefon ve veri sistemlerine gelen ve giden çağrıları kontrol eder. Ana görevleri,

- çağrıların destek hizmetleri ile birlikte düzenlenmesi ve kontrolü,
- gerektiğinde abonenin bulunduğu yere konuma göre en uygun istasyon kanalına geçilmesinin sağlanması,
- abonenin yer bilgisinin güncellenmesi,
- abone verilerinin güncellenmesi,
- gelen ve giden sinyalleşmenin
 - BSC ile MS arasında,
 - MAP ve ISUP gibi diğer bazı GSM kısımları arasında,
 - PSTN veya ISDN gibi diğer şebekelerle arasında

sağlanmasıdır.



Şekil-3.6. GSM şebekesinin diğer şebekelere bağlantısı

Herhangi bir MSC, Şekil 3.6'daki gibi diğer şebekelerle iletişim kurması için bir geçit fonksiyonuna sahipse, GMSC olarak adlandırılır.

HLR, mobil abonelerin yönetimi için kullanılan veri tabanıdır. IMSI, MSISDN ve VLR adreslerini saklar. Burada saklanan ana bilgiler, her bir HLR tarafından yönetilen mobil abonenin bulunduğu yer (VLR adresi), kayıtlı olduğu ve kullanma izni olan servisler, varsa çağrı yönlendirmeleri gibi bilgilerdir. Bir HLR birçok MSC'ye servis verebilir.

VLR, MS'in mevcut yer bilgisini sağlar. Çağrı kontrolü ve abonenin kayıtlı olduğu servislerin temin edilmesi için gerekli olan ve HLR'a depolanan idari bilgiler VLR'dan gönderilir. Bir VLR, bir MSC'ye bağlıdır ve normalde MSC'nin donanımına entegredir.

AUC, her abonenin SIM kartında saklanan gizli bir şifrenin bir kopyasını bulduran korunumlu bir veri tabanıdır. Radyo kanalı üzerinden onaylama ve kodlama amacıyla kullanılır. AUC, sahteciliğe karşı ek güvenlik temin eder. Genelde bir GSM şebekesi içerisinde HLR'a yakın bir yerdedir.

Üçleme olarak adlandırılan, bir rasgele sayı (RAND), buna karşılık gelen belirli bir başka sayı (SRES) ve bir şifreleme anahtarı, AUC'de kayıtlıdır.

EIR, şebeke içerisinde yer alan geçerli mobil istasyon cihazlarının listesini içeren bir veri tabanıdır. Burada her bir MS, IMEI ile tanımlanır. EIR’de üç veri tabanı bulunmaktadır. Bunlardan, beyaz listede, bilinen, tüm sorunsuz IMEI’lar, kara listede, şüpheli veya çalıntı telefonların IMEI’ları ve gri listede, belirsiz telefonların IMEI’ları kayıtlıdır.

OMC, GSM fonksiyonel bloklarını denetleyen bir yönetim sistemidir. OMC, GSM şebekesinin uygun çalışmasını sağlamak üzere şebeke işletmecisine yardımcı olur. Donanım fazlalığı ve akıllı hata belirleme mekanizmaları, şebekenin çalışmadığı sürenin önlenmesine yardımcı olur. OMC, MSC, BSC ve BTS’nin kontrolü ve bakımından sorumludur. PLMN’nin tümü ya da sadece belirli kısımlarından sorumludur[7].

3.9. GSM Sisteminde Frekans Özellikleri

Mobil çağrıları, Çizelge 3.4’te verildiği gibi yukarı, şebekeye doğru ve aşağı, MS’e doğru olmak üzere iki farklı frekansı aynı anda “full duplex” kullanırlar.

Çizelge-3.4. Teknolojilere göre frekans bantları

| GSM | | | |
|--------------|-------------|---------------|---------------|
| | P GSM 900 | GSM 1800 | GSM1900 |
| Yukarı Doğru | 890-915 MHz | 1710-1785 MHz | 1850-1910 MHz |
| Aşağı Doğru | 935-960 MHz | 1805-1880 MHz | 1930-1990 MHz |

| WCDMA | |
|--------------|---------------|
| Yukarı Doğru | 1920-1980 MHz |
| Aşağı Doğru | 2110-2170 MHz |

| CDMA2000 | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| CDMA 800 | CDMA 1900 | CDMA 2100 |
| 824 – 869 MHz | 1850 – 1990 MHz | 1920 – 2170 Mhz |

| CDMA450 | | |
|------------------|----------------|---------------------|
| Blok göstericisi | Altbant Sınıfı | Frekans Bandı (MHz) |
| A | 0 | 452.500 - 467.475 |
| B | 1 | 452.000 - 466.475 |
| C | 2 | 450.000 - 464.800 |
| D | 3 | 411.675 - 425.850 |
| E | 4 | 415.500 - 429.975 |
| F | 5 | 479.000 - 493.480 |
| G | 6 | 455.230 - 469.990 |
| H | 7 | 451.310 - 465.730 |

3.10. Kanallar

Kanal, mobil sistemin kapasitesini belirleyen önemli bir özelliktir. Bilgi alış-verişi için ayrılmış frekans ya da frekans grubuna “kanal” denir. Değişik GSM teknolojilerinde kullanılan frekanslar ve taşıyıcı özellikleri birbirinden farklıdır. Bu sayede hem frekans olarak farklı bölgelerde çalışmalarını sağlanmış, hem de taşıyıcı kanal sayıları Çizelge 3.5’de görüldüğü gibi arttırılmıştır. İletişim kanalları genel olarak Çizelge 3.6’daki tiplerden biri olmak durumundadır.

Çizelge-3.5. Teknolojilere göre diğer frekans özellikleri

| Sistem | P-GSM900 | E-GSM900 | GSM1800 | GSM1900 |
|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Dalgaboyu | ~33 cm. | ~33 cm. | ~17 cm. | ~16 cm. |
| Bant Genişliği | 25 MHz | 35 MHz | 75 MHz | 60 MHz |
| Dubleks Uzaklığı | 45 MHz | 45 MHz | 95 MHz | 80 MHz |
| Taşıyıcıların Farkı | 200 kHz | 200 kHz | 200 kHz | 200 kHz |
| Taşıyıcı Kanal Sayısı | 125 | 175 | 375 | 300 |
| İletim Hızı | 270 kbits/s | 270 kbits/s | 270 kbits/s | 270 kbits/s |
| Modülasyon Tekniği | GMSK | GMSK | GMSK | GMSK |
| En Yüksek Veri Hızı | >150 Kbps (GPRS) | >150 Kbps (GPRS) | >150 Kbps (GPRS) | >150 Kbps (GPRS) |
| Çoklu Erişim Yöntemi | TDMA-FDMA | TDMA-FDMA | TDMA-FDMA | TDMA-FDMA |
| Hücre Yarıçapı | 0,15 - 30 Km. | 0,15 - 30 Km. | 0,15 - 30 Km. | 0,15 - 30 Km. |
| BTS Çıkış Gücü | 2,5 - 60 W (44 dBm) | 2,5 - 60 W (44 dBm) | 2,5 - 60 W (44 dBm) | 2,5 - 60 W (44 dBm) |
| BTS Duyarlılık Değeri | -110 dBm | -110 dBm | -110 dBm | -110 dBm |

Çizelge-3.6. Kanal tipleri

| Tip | Tanım | Örnek |
|-----------------|--|-----------------|
| Basit | Tek yönlü iletişim | FM radyo, TV |
| Yarı Çift Yönlü | Çift yönlü, ama bir anda yalnız bir yöne | Polis Radyosu |
| Tam çift Yönlü | Çift yönlü, hem de her iki yöne | Mobil Sistemler |

3.11. GSM Sisteminin Geliştirilmiş Özellikleri

GSM sistemi bir takım parametrelerin ölçülmesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu ölçümlerin amacı, olası sorunlara karşı hızlı çözümler bulunmasını sağlamaktır. Bu ölçümlerin bazıları MS’te bazıları se BS’te

yapılmaktadır. MS'te yapılan ölçümlerin bir kısmı da, Şekil 3.8'de gösterilen ilgili kanallar üzerinden BS'e aktarılmaktadır.

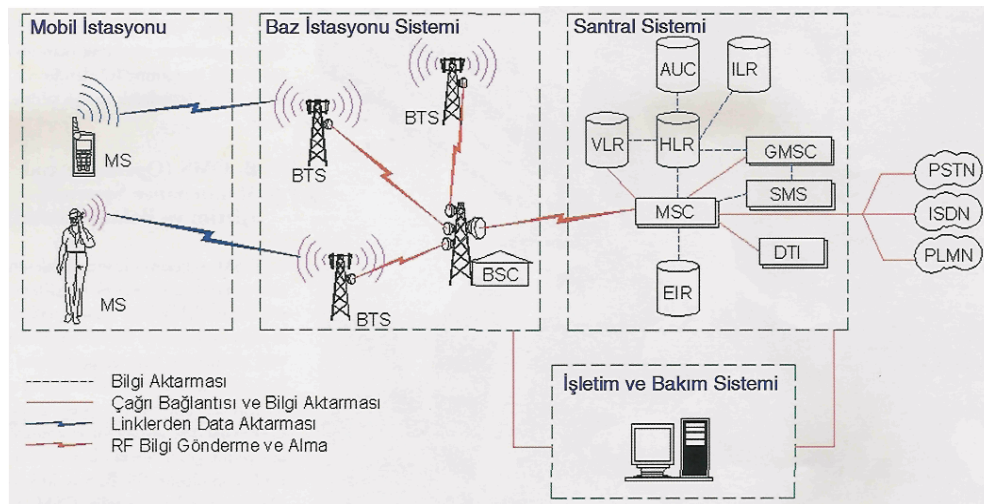
Bu ölçümlerin ilkinde, BS, MS'den gelen sinyalin seviyesi ve kalitesini ölçer. Aynı şekilde MS'te BS'den gelen sinyalin seviye ve kalitesini ölçer. MS, bu ölçüm sonucunu her 0.5 s.'de bir çalışan ilgili kontrol kanalı yoluyla şebekeye bildirir.

Diğer ölçümde, komşu hücre BCCH taşıyıcılarının alınan sinyal seviyeleri MS tarafından ölçülür. Komşu hücreler, yer istasyonu tanımlama kodları ve taşıyıcı frekansları okunarak tanınır. Sinyali en güçlü alınan 6 hücre için sonuçlar her 0.5 s.'de bir SACCH yoluyla şebekeye bildirilir.

Hücre içinde MS'in yeri, ona hizmet veren BS'den uzaklığı cinsinden belirlenebilir. Bu bilgi MS-BS arasındaki karşılıklı güç ayarlaması içinde kullanılmaktadır.

Boş trafik kanallarındaki girişim seviyeleri, kanal değişikliği için, şu an hizmet veren hücrede ve ileride hizmet vermeye aday hücrelerde ölçülebilir. Bu sayede gerektiği zaman MS, farklı hücrelere geçişte konuşmasını kesintisiz sürdürebilir.

Hizmet veren ve hedef hücrelerdeki trafik yükleri, işletme ve bakım fonksiyonları yoluyla ölçülebilir. Komşu hücre seviyelerinin BS'den çok MS tarafından ölçülmesi nispeten daha geniş bir kitle olan MS'in kullanımını sağlamak içindir[8].

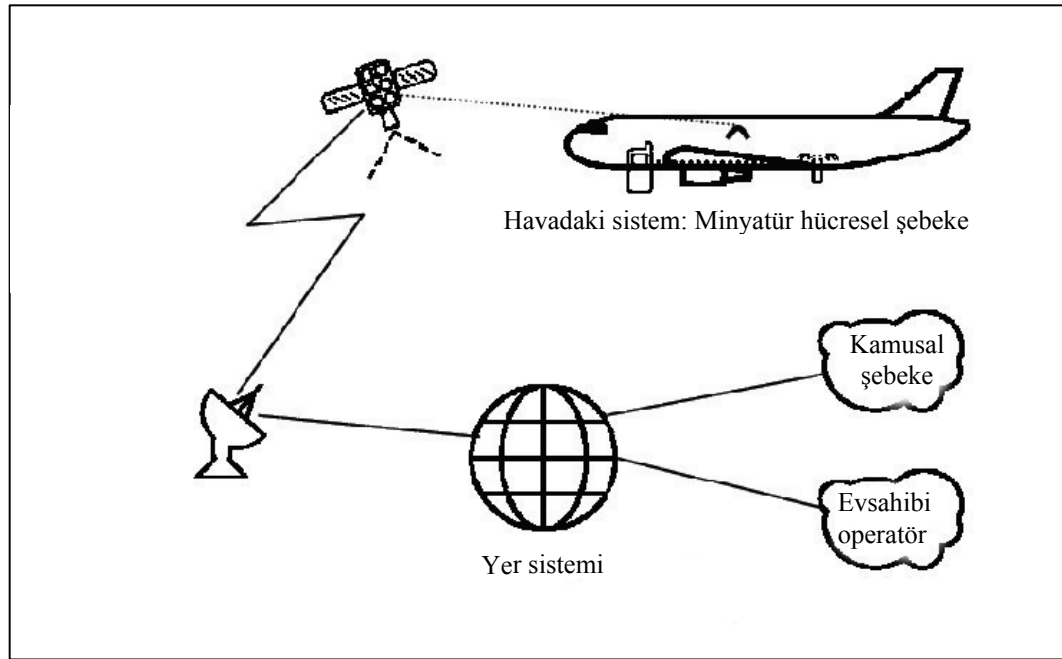


Şekil-3.7. GSM sisteminin temel yapısı

4. HAVACILIKTA GSM KULLANIMI

4.1. Uçaklarda Mobil Telefon Kullanımı

Uçaklarda GSM hizmetinin verilebilmesi için çözülmesi gereken önemli sorunların başında güvenlik gelmektedir. Bu hizmetin sebep olacağı herhangi bir facia uçaklarda GSM servisinin sonsuza kadar terk edilmesine sebep olabilir. Bu yüzden testlerde, GSM servisinin verilmesinde kullanılan her türlü cihazın, uçakta bulunan ekipmanların işleyişini etkileyip etkilemediği konusu çok iyi şekilde belirlenmelidir. Ayrıca uçağa kurulan GSM ekipmanlarının sadece uçak içindeki ekipmanlarla değil; aynı zamanda yeryüzündeki diğer servis sağlayan ekipmanlarla da uyumlu olması gerekmektedir.



Şekil-4.1. Genel mimari

Kullanıcının mobil telefonundan yerdeki bir santrale kadar, Şekil 4.1’de verilen bağlantı üç ana kısımdan oluşur. İlk kısım, kabin içindeki sistem olup aslında uçak içinde kurulan minyatür bir hücredir. Uçak içerisindeki bağlantı için minyatür hücre kullanılması şu an için hazır olan birçok proje tarafından kabul

görmüştür. Bu hücreler bilinen GSM yapısında kullanılan hücrelerle benzer işlevlere sahip olmakla birlikte uçakta bulunan mobil telefonlarının yaydığı güç seviyesini ayarlama da daha kararlı davranırlar. Ayrıca uçak içi bağlantılarında, piko hücre yapısının kabin içerisinde yerleştirilme noktaları, yani topoloji önemli bir tasarım konusudur. Bunun için uçaktaki yayılım ve kanal modellemeleri yardımıyla girişim modellemesi yapılarak hücreler ona göre yerleştirilmektedir. Son olarak uçakta oluşturulan hücrelerin yeryüzündeki hücrelerle aynı frekansta olma ihtimali göz önüne alınarak uçaktan yayılan sinyallerin sadece uçak içerisinde kalmasını sağlayan engelleyici sistemler kullanılmaktadır.

İkinci kısım, uçaktan yerdeki merkeze kadar olan ve hücreleri yerdeki santrallere bağlayan kısımdır. Bu noktada iki farklı yaklaşım bulunmaktadır. Biri bu bağlantıyı yeryüzüne yerleştirilmiş ve yukarıya yöneltilmiş baz istasyonlarının oluşturduğu çok büyük radyo hücreleri kullanarak gerçekleştirmek; diğeri ise aynı işi uydu kullanarak yapmaktır. Büyük hücresel antenler şu an dünyada sadece Aircell firması tarafından ABD içinde yerleştirilmiş olup 95 adettir. Bu hücresel bağlantılar geniş-bant sayılabilecek hızlarda test edilmiştir. Uygulanabilirlikleri kolay değildir.

Uydu çözümlerinde ise uçak içerisinde toplanan trafik uyduya, uydudan da yer istasyonuna gönderilmektedir. Uydu kullanılarak yapılan bağlantıların yeryüzü hücrelerine göre en büyük avantajı, kapsama alanının sadece yeryüzüne yerleştirilen baz istasyonlarının olduğu yerlerle sınırlı olmayıp, deniz ve okyanuslarda da kapsama alanının olmasıdır. Kullanmakta olduğumuz GSM protokollerinin, uydu bağlantısının oluşturduğu yayılım gecikmeleri dolayısı ile, aynı şekilde kullanımı mümkün değildir. Bu yüzden bazı değişikliklerin yapılması gerekmektedir. Ayrıca uydu bağlantılarının bant genişliği sorunlarından dolayı QoS, bant-genişliğinin paylaşımı, protokol uyumluluğunun sağlanması gibi konuların çözülmesi gereklidir.

Son kısım, yer bağlantılarının oluşturduğu sistemdir. Burada uydu merkezine getirilen trafiğin kullanıcının BSC'sine kadar taşınması sağlanır[9].

4.2. Havacılıkta GSM Yer Bilgisinin Kullanımı

GSM de MS'in yerinin bulunması, MS kullanıcısının fiziksel yerinin bulunması anlamında önemli bir bilgidir. Kullanıcının yerinin belirlenmesi, konuma dayalı hizmetlerin, "LBS" sağlanmasındaki en temel gereksinimdir. Uygulanabilir bir MS konumlandırma sistemi, günümüzde gerek şebeke işletmenleri, gerekse servis sağlayıcılar tarafından aranılan bir çözümdür. Acil durum çağrıları, iz sürme, konuma dayalı bilgi hizmetleri, konuma dayalı ücretlendirme, yerel reklam bilgilerinin gönderilmesi ve tanıtımların yapılması bu tür LBS'lerin sadece birkaçıdır.

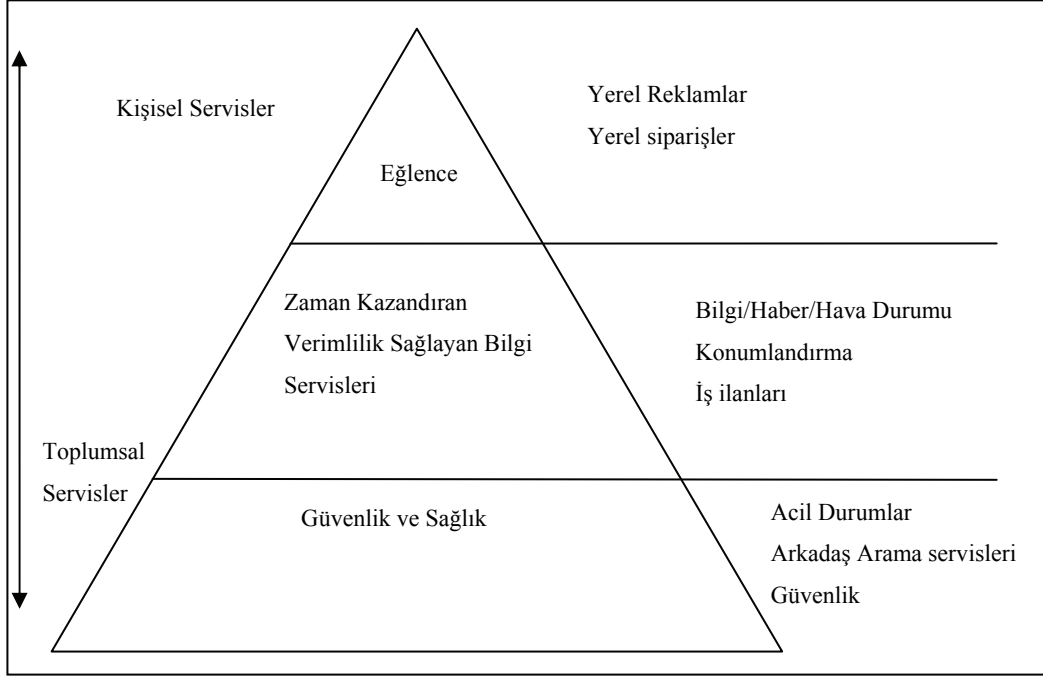
Bu tezde, GSM şebekesinin, MS'in yerinin bulunmasına ilişkin getirdiği çözümlerin, havacılıkta kullanılabilirliği konusunda bir inceleme sunulmuştur. Özellikle inişte uçakların yararlanabileceği ek bir seyrüsefer yardımcı, "Nav aids" sistemi uygulaması anlamında bir çözüm incelenmiştir.

4.3. GSM'de Konum Bulma Probleminin Tanımı

Konuma dayalı hizmetler, ikinci ve üçüncü nesil telsiz ağlar için yeni birçok hizmetlerin sağlanmasına olanak vermektedir. Şekil 4.2'de verilen bu hizmetlerden bazıları için MS'in bulunduğu hücrenin belirlenmesi yeterli iken, acil durum hizmetleri veya kullanıcı takip sistemleri gibi hizmetlerde daha kesin konum belirleme sistemlerine ihtiyaç olmaktadır.

GSM sistemi, normalde doğrudan konum ve uzaklık ölçüm bilgisi içerecek şekilde tasarlanmamıştır. GSM'in kendi içinde herhangi bir konum belirleme işlevselliği bulunmamaktadır. Bu tür işlevselliğin sağlanmasında, ayrı bir konum belirleme teknolojisi ile bütünleştirme söz konusu olabilir. Bütünleştirme yapmak için de bazı ek sistemler ve bunların getirdiği bazı kısıtlamalara hazır olmak gereklidir. Sözelimi, gelişmiş gözlemlenen zaman farkı gibi teknolojilerin desteklenmesi için GSM baz istasyonlarına LMU'nun konumlandırılması gerekmektedir. Yine GPS ve A-GPS teknolojilerindeki, en az 3 uydunun görülmesi, konum sabitlemesi için geçen zamanın uzunluğu, GPS alıcısının güç tüketimi gibi bir takım kısıtlamalar vardır. Tüm bunlar bir tarafa, zaten piyasada

yalnızca birkaç yeni MS (ya da PDA), GPS ve E-OTD gibi teknolojileri desteklemektedir.



Şekil-4.2. Konum belirlemeye ilişkin servisler

Burada anlatılan konum belirleme algoritmaları, bu tür özel teknolojiler olmadan, hücresel şebekede bulunan ve aslında bu amaç için tasarlanmamış mevcut verileri kullanarak konum belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu veriler, ana ve komşu baz istasyonlardan alınan sinyallerin seviyeleri, CELL-ID, TA ve komşu hücre ölçümleri gibi aslında tüm mobil telefonlarına gelen GSM protokollerini içerir. Bu yüzden daha uygun maliyetlerle GSM’de mobil istasyonun yerinin belirlenmesi mümkündür[10].

4.4. Hücresel Şebekelerde Konum Belirleme Metodları

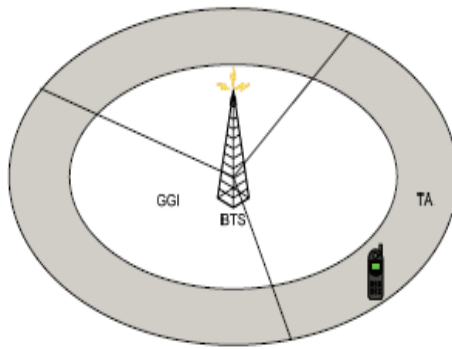
Konum belirleme yöntemleri, şebeke tabanlı ve mobil cihaz tabanlı olmak üzere iki ana tekniğe dayanır. Bu bölümde, bu iki ana teknikten kısa bir şekilde bahsedilmiş ve her birinin kendine özgü yetenekleri belirtilmiştir.

4.4.1. Şebeke tabanlı teknolojiler

Şebeke tabanlı konum belirleme teknolojileri, tüm mobil cihazlarla uyumluluk gösterir. Verilen yöntemlerin çalışması için yapılması gereken güncellemeler çoğunlukla şebeke kısmındadır.

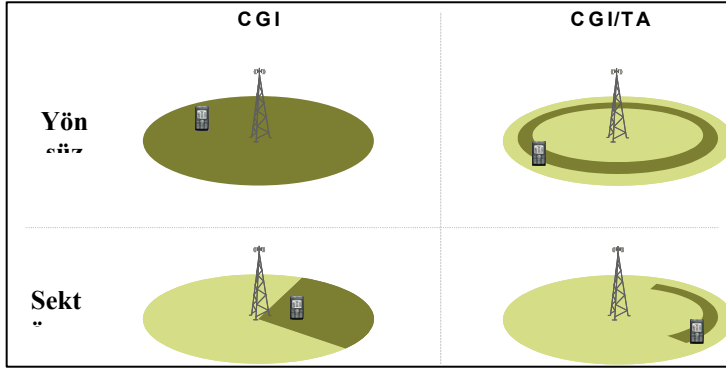
4.4.1.1. CGI/TA

Şebeke tabanlı konum belirleme yöntemlerinin en çok bilinenlerinden birisi, CGI/TA metodudur. Bu metod için gerekli olan tüm parametreler günümüz GSM şebekelerinde yer alan parametrelerdir. Bu nedenle, sistemde güncellenmesi gereken tek yer, konum bilgisi tahminini yürütecek olan mobil konum belirleme merkezidir. Tekil hücreli zaman ilerlemesi konum belirleme metodu, MS'in yerini belirlemek için GSM şebekesinde Şekil 4.3'de de görünen CGI ve TA parametrelerini kullanır. CGI, MS'in içinde bulunduğu hücreyi belirtir. Bir hücre yönsüz veya üçgen sektör şeklinde olabilir. TA parametresi, MS'in ana baz istasyonundan uzaklığı konusunda bilgi sağlar. TA değerleri 64 dilime (0-63) ayrılmıştır ve bu dilimlerin her biri diğerine yaklaşık olarak 550 metre uzaklıktadır. Bu da toplamda yaklaşık 35 Km.'ye kadar olan uzaklıkların TA cinsinden ifade edilebildiğini göstermektedir. Sözelimi, ana baz istasyonundan 600 metre uzakta bulunan bir mobil cihazın TA değeri 1'dir. TA parametresi sayesinde mobil cihazın tahmini konumu ana baz istasyonundan belirli uzaklıktaki bir halka içerisinde olacak şekilde belirlenebilir.



Şekil-4.3. CGI + TA metodu

CGI/TA metodu aslında Şekil 4.4’de görüleceği gibi iki farklı şekilde kullanılabilir. Birincisi, CGI, ATI olarak da isimlendirilir. Hassasiyeti hücre tipine göre, yönsüz hücrelerde tamamen hücrenin büyüklüğüne, üç sektörlü hücrelerde ise hücrenin 120°’lik kısmı ile orantılıdır.



Şekil-4.4. CGI ve CGI/TA yöntemleri

İkinci CGI/TA metodunda, önceki yöntemden elde edilen bilgiye ek olarak, MS ile hizmet aldığı BS arasındaki uzaklığı veren TA değeri de kullanılır. Burada TA, havadaki gecikme süresinin ölçümü BS tarafından yapılır ve MS’e gönderilir.

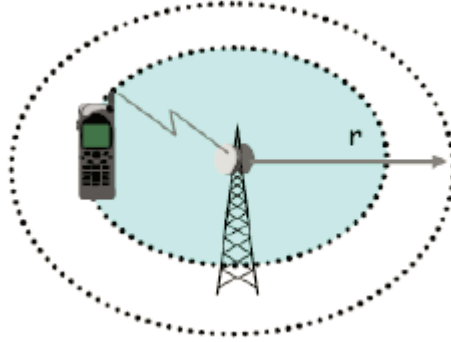
Bu iki yöntemin doğruluğu da hücrenin büyüklüğüne göre değişiklik göstermektedir. Çizelge 4.1’de TA değerlerinin hücre büyüklüğü ile değişimi verilmiştir. Bir hücrenin yarıçapı 100 m. ile 35 Km. arasında değişebilir. Kısmen küçük bir alanı kapsayan hücrelerde doğruluk oranı iyi iken, bu oran hücre yarıçapı büyüdükçe kötüleşmektedir. Buna ek olarak, doğruluk, hücrenin yönsüz veya üçgen sektör şeklinde olmasına göre de değişmektedir.

Çizelge-4.1. TA ile hücre genişliği ilgisi

| Hücre genişliği 120 | | |
|---------------------|-------|-------|
| TA | X (m) | Y (m) |
| 0 | 275 | 225 |
| 1 | 425 | 425 |
| 2 | 550 | 850 |
| 3 | 550 | 1375 |

4.4.1.2. E-CGI

Şebeke tabanlı konum belirleme yöntemlerinden ikincisi, sinyal gücü, “E-CGI” metodudur. Bu yöntem artırılmış CGI olarak da isimlendirilir. Birkaç baz istasyonundan alınan sinyal gücü ölçümleri, MS ile bu baz istasyonları arasındaki uzaklıkların tahmini için kullanılmaktadır. İki boyutlu bir düzlemde düşünüldüğünde Şekil 4.5’deki gibi bu sinyal seviyeleri, merkezinde baz istasyonları olan çemberler oluştururlar. Boşlukta iletim modeline göre, eğer üç ayrı baz istasyonundan alınan sinyal seviyeleri bulunmakta ise, MS’in konumu bu üç çemberin kesişim noktası olarak belirlenebilir.

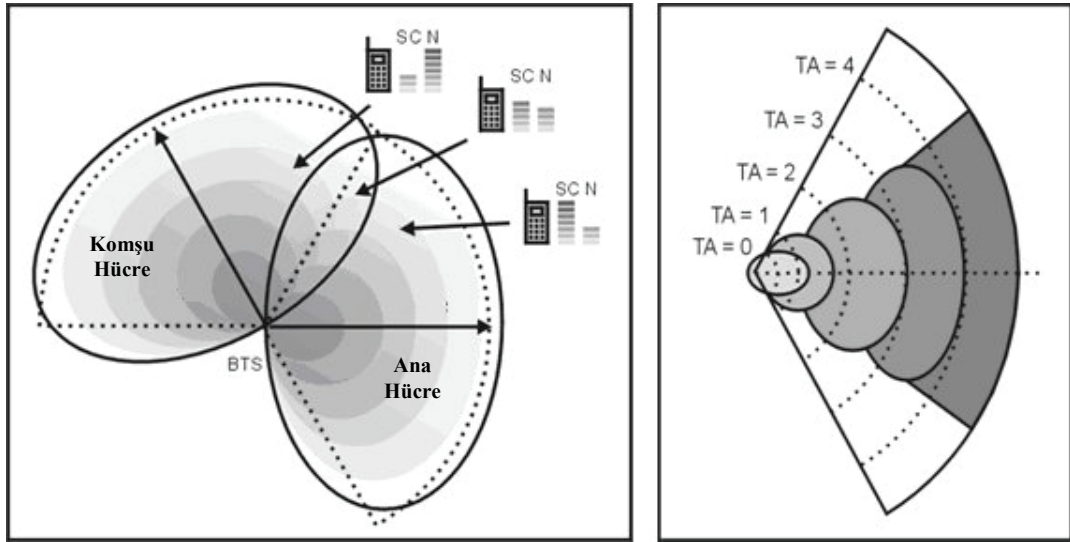


Şekil-4.5. Sinyal gücü metodu

Gerçek hayatta, özellikle şehir içi ortamlarda, sinyal yayılımı birçok zayıflatıcı ve değiştirici etkenle karşı karşıyadır. Boşlukta iletim prensibi tam olarak sağlanamaz. Bu nedenle, ortam koşullarına dayalı bir sinyal yayılım modeli kullanmak gereklidir. Şehir içi ortamlarda sinyal seviyesi kırsal alanlardakine göre daha hızlı bir şekilde zayıflar. Bu nedenle, her ortam koşulu için aynı yayılım modelini kullanmak doğru bir yaklaşım değildir.

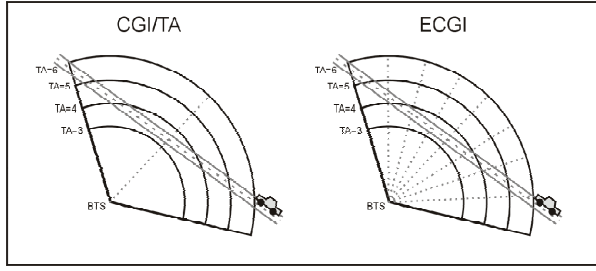
Şekil 4.6’da verilen sinyal gücü metodu GSM şebekesinde kolayca uygulanabilirliği olan bir metottur. Normalde de MS aktif moda şebekeye, ana ve komşu baz istasyonlarından alınan sinyal gücü ölçüm değerlerini iletmektedir. Bu yüzden yöntem mevcut MS’lerde ve GSM şebekesinde herhangi bir değişiklik yapılmasını gerektirmez.

Burada ölçümleri yapan MS, konum belirlemeyi yapan ise GSM şebekesidir. Sonuç olarak, sinyal seviyesi metodu kolay uygulanabilir ve düşük maliyetli bir metottür. Bir önceki konuda bahsedilen CGI/TA yönteminin doğruluğunu yaklaşık %25 oranında arttırabilir. Güç, hücre içerisinde, baz istasyonundan uzaklaştıkça zayıflamaktadır. E-CGI, %80 olasılıkla MS'in yerinin tespitini sağlar[11].

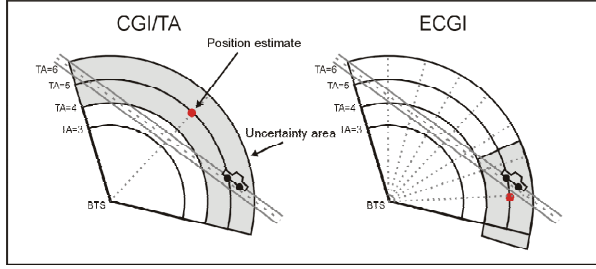


Şekil-4.6. Sinyal gücü zayıflaması

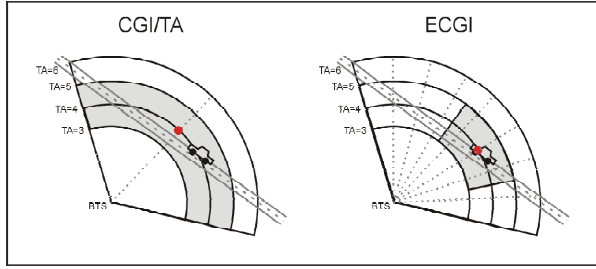
CGI/TA ve E-CGI yöntemlerinin karşılaştırması amacı ile sektörel antenle çalışan bir BS'nin hizmet verdiği hücreden, doğrusal olarak geçmekte olan bir aracı incelemek için her iki yöntemin çıktıları verilmiştir. Aracın geçiş süreci Şekil 4.7'de detaylı olarak verilmiştir.



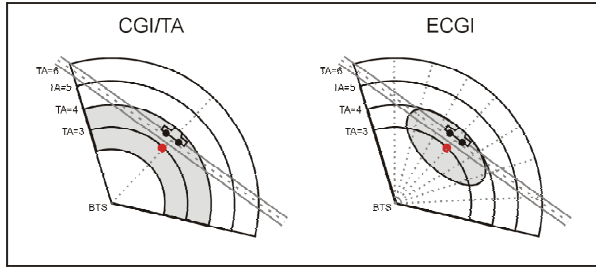
(a)



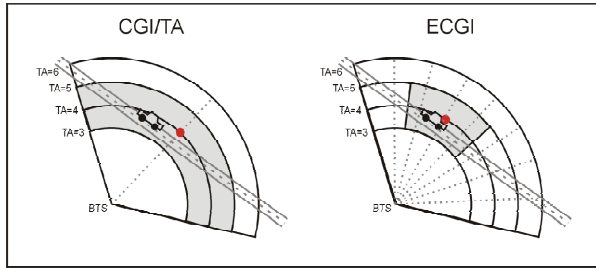
(b)



(c)

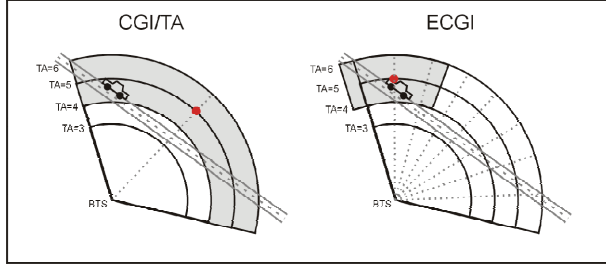


(d)

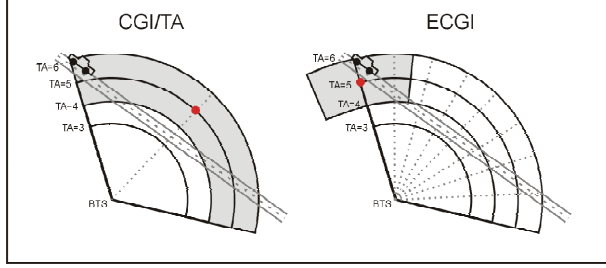


(e)

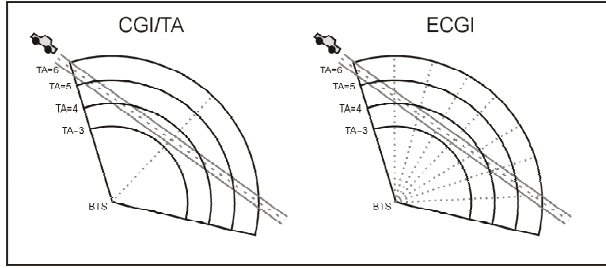
Şekil-4.7. TA'nın bir başka gösterimi



(f)



(g)



(h)

Şekil-4.7. (Devam) TA'nın gösterimi (a) hareket eden bir aracın konumlandırılması, hücreye giriş, (b) ikinci konum: TA=5, AF= 0.83, (c) üçüncü konum: TA=4, AF= 0.25, (d) dördüncü konum: TA=3, AF= 0, (e) beşinci konum: TA=4, AF= 0.25, (f) altıncı konum: TA=5, AF= 0.83, (g) yedinci konum: TA=5, AF=1, (h) hücre dışına çıkış, (AF:Açı Faktörü)

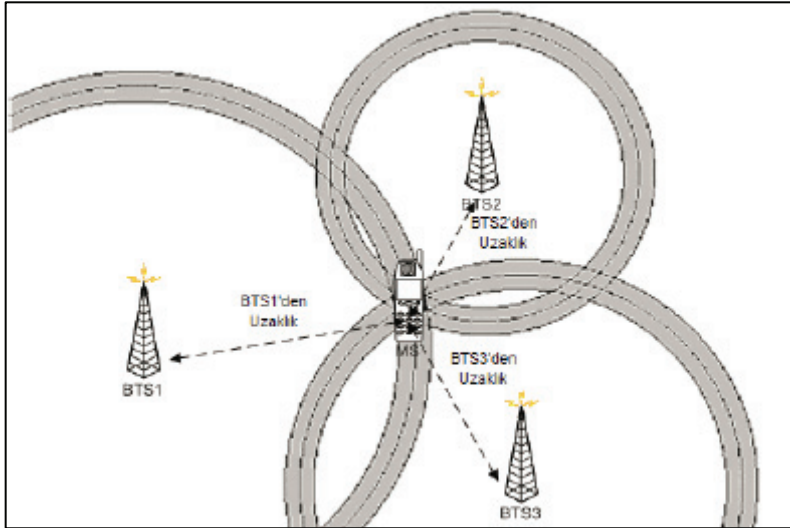
Şekil 4.7'de görüleceği üzere CGI/TA yöntemi ile konum belirlenirken karşılaşılan hata oranı E-CGI'a göre daha fazladır. E-CGI da konum noktalarının çözünürlüğü CGI/TA ya göre daha fazla olduğu için daha iyi sonuç vermektedir. Şehir yerleşimleri yakınında CGI/TA yaklaşık 235 m. civarında bir hassasiyetle konum belirlerken, E-CGI yaklaşık 100 m. doğrulukla konumu belirleyebilir. Bu iki yöntemi karşılaştırırken sadece bu şekilde basit bir karşılaştırma yapmak yeterli olmayacaktır. Bu yöntemlerin her birinin kendilerine özgü avantaj dezavantajları, uygulama alanları, yeterlilik koşulları olduğu göz önünde tutulmalıdır.

4.4.1.3. TOA

Şebeke tabanlı konum belirleme yöntemlerinden biriside TOA ya da U-TDOA'dır. Bu yöntem, MS'in sinyali alabilen bütün BS'lerin MS'ten gelen özel bir sinyal yapısını, "Burst" dinlemesi üzerine kurulmuştur. Sinyali alan BS, zaman bilgisini kaydeder ve bunu şebekedeki özel bir sunucu bilgisayara gönderir. Bu şekilde sunucu bilgisayarda toplanan ve birçok BS'den gelen bilgiler birbirleriyle karşılaştırılır; elde mevcut olan BS konum bilgileriyle birleştirilerek, Şekil 4.8'de görüldüğü gibi MS'in konumu belirlenebilir.

Bu metodun doğruluğu baz istasyonlarının konum bilgilerine, alınan sinyallerin yayınına ve şebeke elemanlarının eşzamanlı çalışmasına bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu yöntem için BS'lere LMU adı verilen donanım kurulmalıdır. Bunların sayısı var olan her bir veya her iki BS için bir tane olmalıdır. Bu da, TOA metodunun, GSM operatörü için belirli bir maliyeti olduğu anlamına gelmektedir.

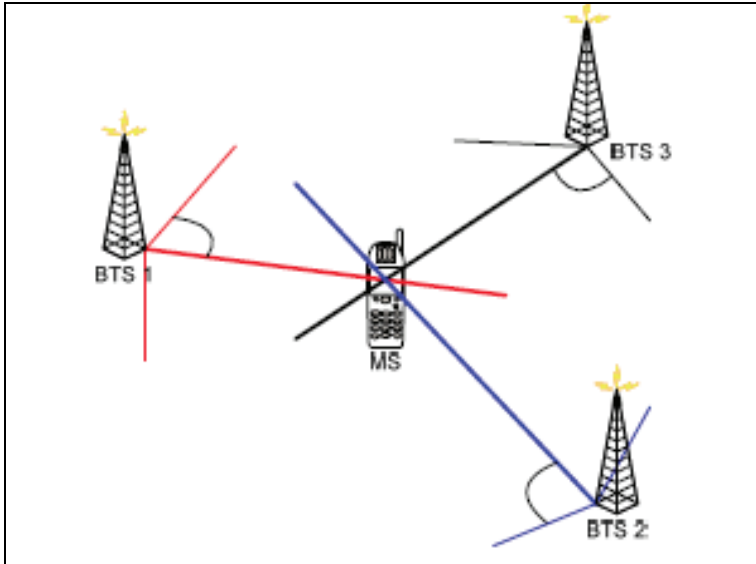
Bu yöntem günümüzde özellikle ABD'de, E911 acil çağrı sisteminde, yüksek olasılıklı konum belirleme yapabilmesi nedeniyle kullanılmaktadır.



Şekil-4.8. TOA metodu

4.4.1.4. AOA

AOA yöntemi, yönlü antenler veya anten dizilimleri kurulumunu gerektirir. Bu yöntem temelde MS'in konumunu, Şekil 4.9'daki gibi üçgenleme metodu kullanarak belirler. Her biri bir BS'den çıkan ve sinyal yönlerinden belirlenen yönlü iki doğrunun kesişim noktası mobil cihazın konumunu verir. Bu yöntem MS'in en az bir çift BS, bir kesişim noktası, bilgisine sahip olmasını gerektirir. Eğer mümkünse birden fazla sayıda BS çifti de kullanılabilir. En çok, iki çift sağlayan, üç BS'nin kullanımı yaygındır.



Şekil-4.9. AOA metodu

Bu yöntemin doğruluğu çevredeki BS'lere ulaşan bilginin hassasiyetine göre değişir. Ayrıca AOA'da konum tahmininin yüksek doğrulukta olması için BS'lerin görüş hattında olması gerekmektedir[12].

4.4.2. Mobil cihaz tabanlı teknolojiler

MS tabanlı sistemlerde en yüksek doğruluk seviyeleri elde edilmekle birlikte, yeni ya da yükseltilmiş model MS'lere ihtiyaç duyulmaktadır.

4.4.2.1. A-GPS

A-GPS, MS pozisyonunu bulmak için MS'de yerleşik bir GPS alıcısını kullanır. Amerikan ordusu tarafından geliştirilmiş olan GPS'de yeryüzündeki herhangi bir terminalin konumunu belirlemek için 27 uydudan gelen sinyaller kullanılmaktadır. Konum belirleme, düşeyde ve yatayda 10 m.'den daha iyi doğrulukla gerçekleştirebilir. Konumlamanın gerçekleşebilmesi için bir GPS terminali dört veya daha fazla uyduyu (üç tanesi konum, bir tanesi zaman düzeltmesi için) görüyor olmalıdır. Bu uyduların sinyallerinin geliş zamanı ve uydu kimlik bilgileri kullanılarak alıcının konumu hesaplanır. Bu yöntem açık alanlarda ve genel olarak bina dışı yerlerde yüksek başarıma sahip olsa da bina içi ve yüksek yoğunluktaki yerleşim alanlarında GPS uydusuyla bağlantı kurulumundaki zorluklar nedeniyle sorunludur. Bir GPS alıcısı çalıştırıldığında kesin zaman ve konum bilgisine sahip değildir. Bu nedenle GPS alıcısının konumunu belirlemesi Çizelge 4.2'de verildiği gibi belli bir gecikmeyle gerçekleşir. GPS alıcısında ayrıntılı konum bilgisinin elde edilmesinde yaşanan bu gecikme sorununu çözmek için şebeke destekli GPS sistemi kullanılmaktadır. GPS, GSM'in kullandığından daha yüksek bir frekans bandı kullandığından yeni mobil terminaller iki antene sahip olmalıdır.

Ayrıca GPS alıcısının yüksek güç kullanımı nedeniyle A-GPS destekleyen yeni terminaller daha yüksek batarya kapasitesine sahip olmalıdırlar. Bu nedenlerle A-GPS yönteminin kullanıcılar için, yeni cihaz gerekliliği de düşünüldüğünde, belirli bir maliyeti olmaktadır.

Çizelge-4.2. Geleneksel GPS’de başlama tip ve zamanları

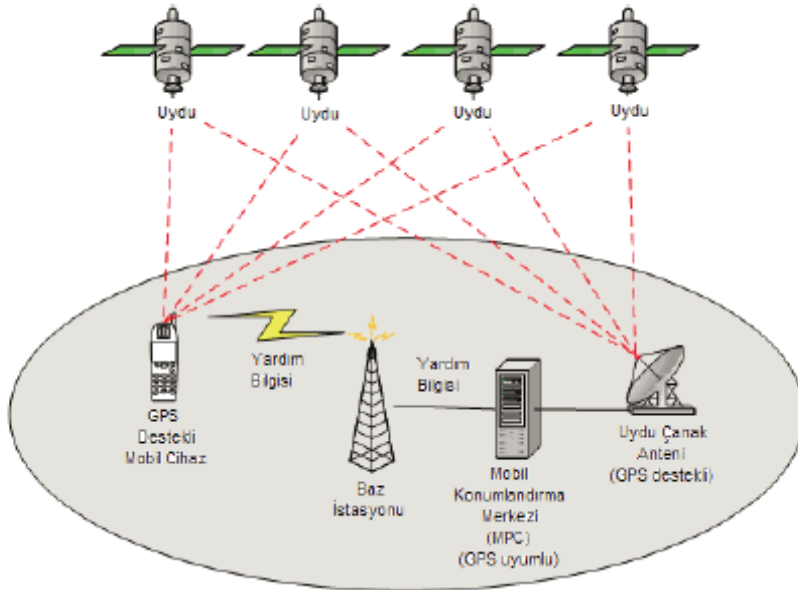
| Başlama Tipi | Ulaşılabilen Bilgi | Tipik TTFF |
|------------------------|---|------------|
| Açılış sonrası | Almanak | 01-30 dk. |
| Açık olanı başlatırken | Almanak, hassas olmayan yer ya da zaman bilgisi | 20-60 s. |
| Açıkken | Hassas olmayan yer ya da zaman bilgisi | 06-12 s. |

Şekil 4.10’daki A-GPS’in avantajı, geleneksel GPS’den farklı olarak GSM şebekesinin GPS’ye bulunduğu bölgede hangi uyduları arayacağını söylemesi ve sinyal problemleri yüzünden GPS’nin yaptığı ölçümlerdeki hataları düzeltmesidir.

Bu yüzden normal GPS’ye göre A-GPS,

- ilk ölçüm süresini çok kısaltması,
- daha iyi bir kapsama sağlaması,
- GPS cihazına göre daha az güç harcaması,
- artırılmış hassasiyet (± 10 m.-%95)

anlamında daha iyi sonuç vermektedir.



Şekil-4.10. A-GPS yöntemi

Yine şebeke tarafından sürekli olarak sağlanan CTA ile MS'e, anlık (± 2 s.) GPS-zaman bilgisi sağlanır.

Seçimlik olarak sunulan bir özellikte, FTA'dır. Bu özellik sayesinde GPS zamanına ± 10 μ s. kadar yaklaşılmaktadır. Böylece geleneksel GPS'e göre:

- pozisyon düzeltmesi için harcanan ortalama zaman azaltılmakta,
- hassasiyet ± 5 m. (%95) çıkarılmakta,
- çok daha iyi bir kapsama sağlanmaktadır.

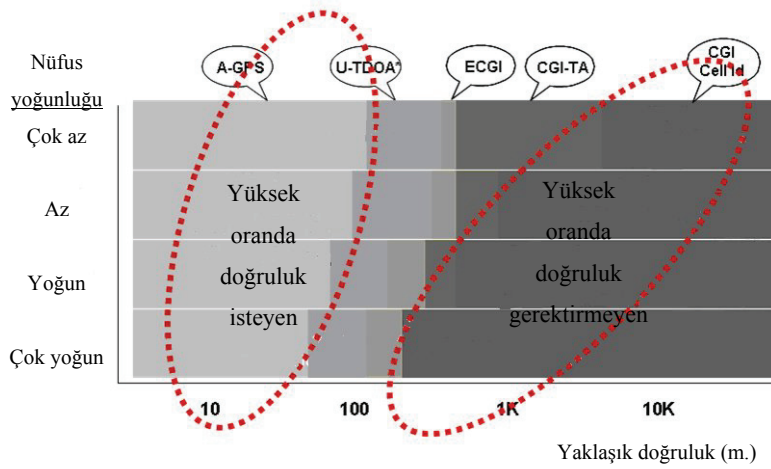
A-GPS'de aynı şebeke yapısı üzerinde çalışabilen SS7 tabanlı, CP ve IP tabanlı, SUPL olmak üzere iki farklı sinyalleşme seçeneği vardır.

SS7 tabanlı CP'nin, güvenli bilgi, şebeke sorunlarından daha az etkilenme, SUPL'den daha hızlı cevap zamanı, acil aramalar için kullanılan konuşma kanalını bloke etmeme gibi avantajları vardır.

IP tabanlı SUPL'nin ise kolay kurulum, ek donanım gerektirmeme, tüm şebekelerde uygulanabilme gibi avantajları vardır.

4.4.3. Konum bulma yöntemlerinin karşılaştırılması

Buraya kadar incelediğimiz konum bulma yöntemlerinin her birinin kendisine özgü avantaj ve dezavantajları olmakla birlikte; genel olarak kullanım yeri ve hassasiyet açısından karşılaştırmak gerekirse:



Şekil-4.11. Konum bulma yöntemlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.11'den doğruluk oranı en yüksek olan metodun A-GPS olduğu, bununla beraber nüfusun yoğun olduğu, dolayısıyla daha sık BS bulunan yerlerde diğer yöntemlerinde oldukça iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemek mümkündür.

Konum bildirme kapasiteleri açısından da,

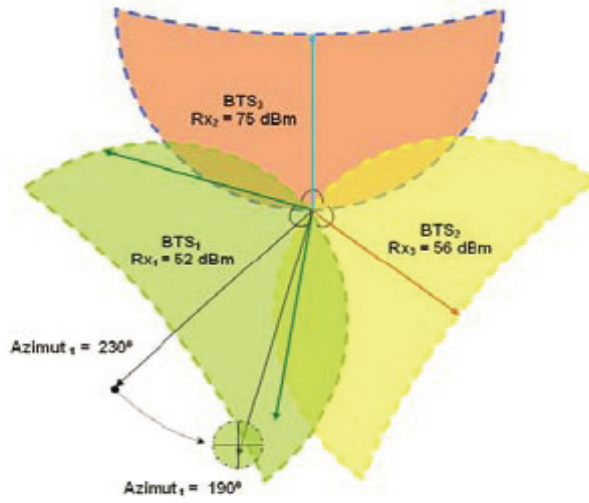
- CGI/TA Saniyede 100 konum bildirme
- E-OTD Saniyede 20 konum bildirme
- A-GPS Saniyede 40 konum bildirme

şeklinde verilebilir.

4.4.4. Farklı bir konum belirleme algoritması

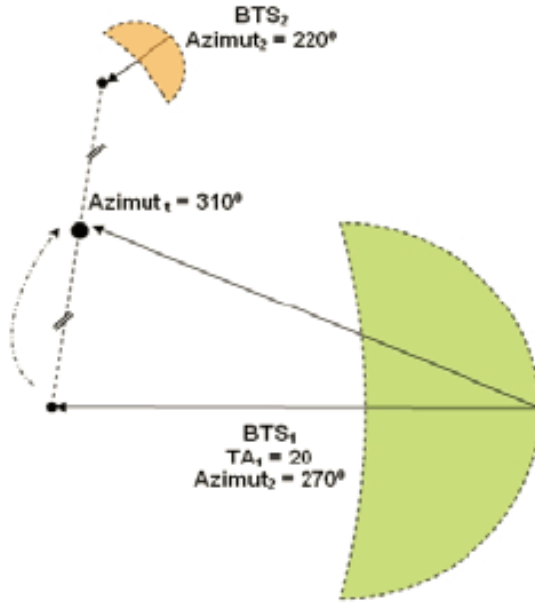
Geleneksel çember kesiştirme algoritmasında çemberlerin kesişim noktalarının aritmetik ortalaması alınarak konum bulunmaktadır. Bu algoritmada RSS değerlerinden yarıçaplar bulunup çemberler oluşturulmakta ve çemberlerin kesim noktalarından azimutu gören çember dilimi içinde olanlar seçilip bu noktaların ortalaması alınmaktadır. Teoride geçerli olan bu durum pratikte bazı farklılıklar göstermektedir. Gerçek hayatta, özellikle şehir içi ortamlarda, sinyal yayılımı birçok zayıflatıcı ve değiştirici etkenle karşı karşıyadır ve boşlukta iletim prensibine tam olarak uymaz. Böylece, yarıçapların yanlış hesaplanması çemberlerin yanlış yerlerde kesişmesine ya da hiç kesişmemesine sebep olabilir. Büyük TA'ların olduğu açık alanlarda çember kesişmesi olmaz ise ana hücrenin azimut açısı yönünde TA mesafesi kadar (15-20 Km.) gidilebilmekte ve komşular dikkate alınamadığı için hata mesafesi de 10 Km.'ye kadar çıkabilmektedir. Geleneksel çember kesiştirme tekniğinde yansımalar ve antenlerin arkasına yaydığı kaçak sinyaller dikkate alınmamaktadır. Bunun sonucunda "backlobe" denilen geriye sızmalar, sinyalin antenin tarama açısının arkasına düşmesi ile kullanıcı konumunun hatalı bulunmasına neden olabilmektedir. Geleneksel algoritmada eş konumlu, "co-located" sektör hücreler ile elde edilen iç içe çemberler kesişmedikleri için eş konumlu sektör hücreler elenmektedir. Bu sektör hücrelerin komşu olması durumunda konum bulma doğruluğu azalmaktadır. Geliştirilen algoritmada bulunan açı kaydırma yöntemi ile bahsedilen bu sorunlar giderilerek konum bulma doğruluğu artırılmıştır.

Açı kaydırma algoritmasının çalışma mantığında, her hücre için azimut açısı bir vektörün yönü, RSS seviyesi de vektörün büyüklüğü olarak düşünülerek vektörler oluşturulup, aynı sektör hücreler için vektörel ortalama alınarak yeni bir azimut açısı oluşturulmakta ve bu açığa göre açı kaydırma hesaplanmaktadır. Sonuçta bulunan vektörel ortalama noktasından geçen ve hesaplanan mesafe kadar uzaklıktaki nokta, konum olarak alınmaktadır. Vektörlere ağırlık verme işlemi RSS sinyal değeri ve ortam durumuna göre farklı olarak gerçekleştirilmektedir. Geliştirilmiş algoritmada sektör hücrelerde hedef konumun daha iyi RSS seviyesi sinyali veren sektör hücrenin önünde olduğu kabul edilerek, bu sektör hücrenin tarama alanında kalma koşulu ile azimut vektörel olarak orta noktaya kaydırılmaktadır. Bu durumun bir örneği Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Burada üç sektörlü bir hücre için RSS seviyeleri sırası ile 52 dBm., 75 dBm. ve 56 dBm.’dir. 3 sektör hücrenin azimut ve RSS seviyesi değerlerinden elde edilen vektörlerin toplamı ile ana hücrenin azimutu 230° ’den 190° ’ye kaydırılmıştır.



Şekil-4.12. Azimut ve RSS seviyesi ile açısal kaydırma

Geriye sızma olma durumlarında daha iyi sonuç elde etmek için gelen RSS seviyelerinin vektörel ortalaması temel alınarak ana hücrenin arkasında olup olmadığı kontrol edilmektedir. Eğer hücre eş konumlu ise daha iyi RSS seviyesi olan komşunun baktığı azimut ağırlıklı olarak alınır, böylece geriye sızma durumlarında konum bulma doğruluğu artırılmış olur. Bunun yanında TA'ya göre



Şekil-4.13. Büyük TA'larda azimut ve RSS seviyesi ile açısal kaydırma

4.5. İnişte Baz İstasyonlarından Faydalanma

Bazı acil durumlarda faydalanmak üzere yer bulma algoritmalarından havacılıkta da yararlanılabilir. Özellikle uçağın iniş sürecinde, yeri daha önceden bilinen BS'lerden faydalanmak mümkündür. MS'lerin, sinyalini aldığı BS'lerin güçlerini ölçebilme özelliğinden ve sinyal zayıflama yaklaşımından hareketle uçağın yerinin bulunması ya da önceden hazırlanan bir iniş rotasını takip etmesi sağlanabilir.

4.6. Sinyal Kaybının Hesabı:

Kablolu iletişim ortamlarından farklı olarak, havada her zaman öngörülebilir ve belirli bir kayıp olmadığı için modellenmesi de zordur. Radyo dalgalarının modellenmesinde, geleneksel olarak, vericiden belirli bir uzaklıkta ortalama sinyal şiddetinin değerinin ne olacağını belirlemeye çalışılan bir modelleme kullanılır. Bu modelleme, çalışılacak yerin coğrafi ve nüfus yoğunluğu yapısıyla doğrudan ilişkilidir.

Sinyal kaybının hesabında, “Okumura”, “Hata”, “Walfisch-Ikegami” gibi sinyal yayılımı ve kayıplar konuda çok kullanılan modellemelerin yerine daha basit olan boş-uzay kaybı, “free space loss” kullanılmıştır. Bunun nedeni daha sonra da anlatıldığı gibi yerdeki aksine havada, sinyal zayıflamasını etkileyen parametrelerin daha az olmasındandır.

Basit olarak BTS den MS’e gelen sinyalin gücünün hesabı için, alıcı tarafında elde edilen güç:

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \quad (4.3)$$

Şeklinde verilir. Burada P_T , BTS çıkış gücünü; P_R , MS’in aldığı gücü; G_T , BTS anten kazancını, G_R , MS anten kazancını, λ , sinyal dalga boyunu ve d ise BTS-MS arası uzaklığı ifade etmektedir.

Denklem (4.3)’de anten kazançlarını, “1” olarak alırsak;

$$P_R = P_T \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \quad (4.4)$$

olur. Alınan ve gönderilen güç arasındaki fark zayıflamayı vereceği için,

$$P_L = P_T - P_R \quad (4.5)$$

yazılabilir. (4.5)’in logaritmik ifadesi,

$$10\text{Log}(P_L) = 10\text{Log}\left(\frac{P_T}{P_R}\right) \quad (4.6)$$

içinde P_L mW. olarak alınır (P_L eğer W. olarak verilirse, $L_{dBm} = L_{dBW} + 30$ olur.),

$$L_{dBm} = 10 \text{Log} P_L \quad (4.7)$$

tanımında, P_L yerine (4.4)'deki karşılığı konulursa,

$$L_{dBm} = 20 \text{Log}(4\pi) - 20 \text{Log}(c) + 20 \text{Log}(f) + 20 \text{Log}(d) \quad (4.8)$$

genel denklemi bulunabilir. Burada dalganın yayılma hızı yaklaşık $c=2.997925 \times 10^8$ m/sn., f : frekans(MHz) ve d : mesafe, m. cinsinden alınır:

$$L_{dBm} = -27.56 + 20 \text{Log}(d) + 20 \text{Log}(f) \quad (4.9)$$

bulunur. (4.9)'da tekrar (4.7)'deki P_L yerine konulup, d , çekilirse:

$$d = \frac{\sqrt{P_L} \text{Log}^{-1}\left(\frac{27.56}{20}\right)}{f} \quad (4.10)$$

ya da (4.10) yeniden düzenlenerek,

$$d = \frac{23.878 \sqrt{P_L}}{f} \quad (4.11)$$

bulunur. Burada frekansımız örneğin GSM900 için: 935.00 ile 960.00 MHz. arasında olacaktır.

MS tarafında ölçülen gelen sinyal gücü ve BTS'in çıkış gücü bilindiğine göre, (4.11)'den P_L hesaplanabilir. Buradan MS ile BTS arasındaki, dolayısıyla MS in olduğu uçak ile koordinatları bilinen BTS arasındaki uzaklık bulunabilir.

Her bir BTS'nin BSIC'si farklı olduğu ve BTS tarafından MS'e gönderildiği için, uzaklığın hangi BTS ile ilgili olduğu da bilinmektedir.

Bu noktada eğer iniş kartlarında, ilgili meydana iniş prosedürleri içerisinde, havaalanı civarındaki her bir BTS'den hangi yükseklikte ne kadar uzakta bulunulacağı daha önceden verilirse; bu veriler inişte kullanılabilir.

Yine bu noktada, basit birkaç algoritma yardımı ve birden fazla BTS'ye olan uzaklık kullanılarak; uçağın yerinin tespit edilmesi de mümkündür[14].

4.7. Uçak Kategorilerine Göre İniş Hızı:

Uçağın yerinin tespit edilmesi sırasında uçağın hareketli olması nedeniyle hızından doğan bir fark oluşacaktır. Bu fark ölçüm hızıyla orantılı olarak artacaktır. Bu nedenle uçakların Çizelge 4.3’de verilen son yaklaşımdaki hızlarının bilinmesi gereklidir. Değişik kategorilerdeki uçaklar için iniş hızları FAA tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir [15].

Çizelge-4.3. Uçak kategorilerine göre inişte gösterge hava-hızları (V_{KIAS})

| Segmenti | Kat A | Kat B | Kat C | Kat D | Kat E | |
|------------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|------|
| Başlangıç Ortalama | 150 | 150 | 240 | 250 | 250 | |
| Son Yaklaşma | 90 | 120 | 140 | 165 | Özel | |
| Eksik Yaklaşma (Pas) | 110 | 150 | 240 | 265 | Özel | |
| Minimum Havahızı Sınırlaması | Başlangıç | 110 | 140 | 210 | 210 | Özel |
| | Ortalama | 110 | 140 | 180 | 180 | Özel |
| | Vazgeçme | 100 | 130 | 165 | 185 | Özel |

Burada gerçek hava-hızı (V_{KTAS}) için:

$$V_{KTAS} = V_{KIAS} \times [1 + (\text{Yükseklik} \times 0.00002)] \quad (4.12)$$

formülünden hesaplanabilir.

Sözgelimi, son yaklaşımda, 1500 feed’deki Kat-B bir uçağın gerçek hızı:

$$V_{KTAS} = 120 \times [1 + (1500 \times 0.00002)] = 123.6 \text{ Knot} \quad (4.13)$$

dur. Km/saat olarak bakıldığında, Kat-D’de bile yaklaşma sırasında hız, yaklaşık 300 Km/saat civarında olmaktadır. Bu hızda bir uçak için sağlanabilecek veri hızı, MS’den 480 ms.’de bir güç verisi akışı olduğu düşünülürse, yeterli görülmektedir.

İniş için istenilen güvenli yükseklikte, MAS, FAA dokümanlarından bulunabilir [16].

4.8. Diğer Zayıflatıcı Etkiler:

Boş-uzay kaybı dışında zayıflamada etkisi olabilecek başka parametrelerde vardır. Bu kayıplar genel olarak,

- her zaman var olan ve öngörülebilien,
 - boş uzay kayıpları
 - gaz etkileri

sonucu oluşan kayıplar ve

- her zaman olmayan, geçici etkiler:
 - yansıma
 - yağmur
 - engelleyici cisimler

sonucu oluşan kayıplar olmak üzere iki tiptir.

4.8.1. Gaz etkileri

Gaz etkileri, sıcaklık ve nemin fonksiyonu olarak hesaplanır. Özellikle GHz. seviyesinde belirli gazların zayıflatma etkisi önemlidir. Sözelimi, 23 GHz'de su buharının ve 50-60 GHz.'de oksijenin zayıflatıcı etkisi önemlidir. MHz. seviyesinde ise gazların sebep olacağı zayıflatma etkisi 1-2 dB/km'yi geçmez.

4.8.2. Yansıma etkileri

Yansıma etkileri özellikle deniz gibi büyük yansıma yüzeylerinde etkili olur. Alıcı ve verici antenlerinin yeterince yüksekte olduğu durumlarda ise etkisi çok sınırlıdır. Antende, dikey polarizasyon kullanımı, yansıma etkilerinin azaltılmasında yatay polarizasyona göre daha etkilidir. GSM de kullanılan, antenler arası boşluk, "space diversity" tekniği ile bu zayıflama etkisi büyük ölçüde giderilebilmektedir. Bu teknikte, gelen frekansın dalgaboyunun katları ile orantılı olarak alıcı tarafındaki antenler arasında mesafe bırakılır. Bu durumda

antenlerden birisi her zaman sinyali en iyi şekilde alır. Yansıma etkileri özellikle havaalanı gibi açık ve düz alanlarda etkili bir boyuta çıkmaz.

4.8.3. Yağmur etkileri

Yağmurun neden olduğu zayıflama etkisi normalde doğrudan yol kaybına eklenmez. Geçici ve değişken bir sinyal söndürme etkisi, “rain fading” vardır. Özellikle yatay polarizasyonda etkisi daha fazladır. Söndürme etkisi, yağmur şiddeti (mm/saat) ile üssel bir şekilde artar. Etkisi frekansla artar. Uzak mesafelerde, yaklaşık 10 GHz’den sonra etkisi dikkate alınacak seviyeye gelir. 18 GHz’den sonra boş-uzay kaybı, yol kaybından daha etkili olmaya başlar. Çok yoğun ve kısa süreli yağmurlar, zayıflamada öngörülmesi zor parametrik değişiklikler meydana getirirler.

4.8.4. İletim hattındaki engelleyici cisimler

Alıcı-verici arasındaki iletim hattı üzerinde bulunan bazı cisimler zayıflamaya neden olabilirler. Bu tür zayıflama etkilerini açıklamada ince kenar, “knife-edge” yaklaşımı oldukça doğru sonuçlar vermektedir.

Bu yaklaşıma göre,

- Birinci Fresnel bölgesinin %60 lık bir kısmı içerisinde yer alan bölgede engel yoksa kayıp 0 dB.’dir.
- Eğer engelin uç noktasını alıcı verici arasındaki hatta ise; kayıp 6 dB’dir.
- Eğer engelin en uç noktası, ilk Fresnel bölgesinin üst tabanına kadar gelmişse, kayıp 16dB ye kadar çıkabilir.

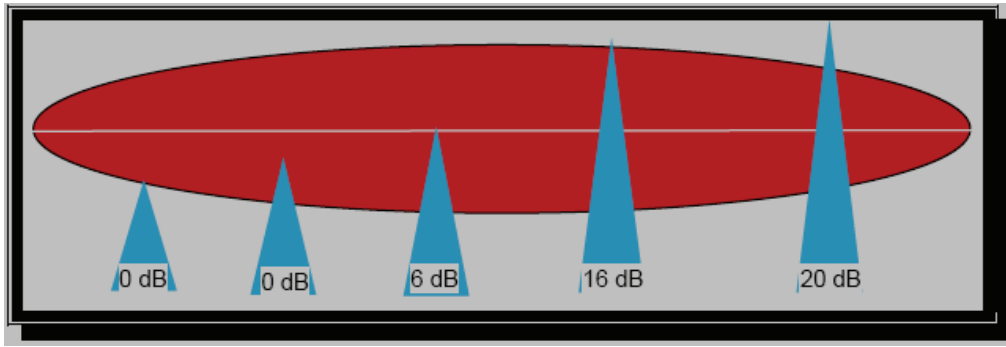
Şekil 4.14’de bu yaklaşım bilgileri çizim olarak verilmiştir.

Fresnel bölgesinin belirlenmesi için gerekli yarıçap, Şekil 4.15’den hesaplanabilir.

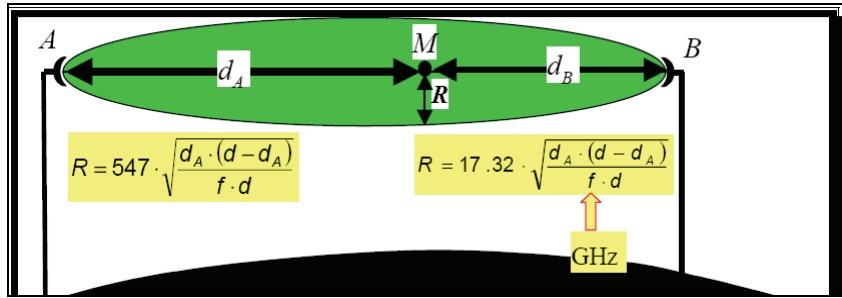
Bunlar dışında,

- Frekansla ilgili (Frekans Selective)
- Kırılma ile ilgili (Refraction)
- Kırınım ile ilgili (Diffraction)

zayıflatma parametreleri de vardır. Bunların etkileri uçak ve havaalanı civarında ihmal edilebilecek düzeydedir.



Şekil-4.14. Birinci Fresnel bölgesi ve zayıflatma



Şekil-4.15. Fresnel bölgesi

Burada d_A , A anteninden M'ye uzaklık; d_B , B anteninden M'ye uzaklık; d , A ve B antenleri arasındaki mesafe, R , M noktasındaki Fresnel Bölgesi yarıçapı(m); f , frekanstır (MHz.) [17].

5. ÖLÇÜMLER

Buraya kadar edindiğimiz bilgiler dahilinde, ilgilenilen frekanslarda örnek olarak aldığımız Bakü Havaalanı çevresinde ölçümler yapılmıştır.

Havaalanı çevresinde yapılan ölçümlerde GSM bandında tanımlı frekanslarda, sinyal şiddetleri, konumsal bilgiye bağlı olarak kaydedilmiştir. Gerekli bilgilerin bir kısmı Ericsson'un GSM planlanması için geliştirdiği "TEMS Investigation" adlı özel yazılım-donanım ürünü kullanılmıştır. Ölçümler TEMS 8.1 versiyonu ile yapılmıştır. Elde edilen ölçüm bilgileri TEMS üzerinde görüntülenebilmektedir.

5.1. "TEMS Investigation"

"Tems Investigation" hata bulma, denetleme, optimizasyon ve bakım amaçlı olarak kablosuz şebekelerde kullanılabilen bir çözümdür. "TEMS Investigation" kullanarak operatörler, ses kalitesini artırma, çağrılara daha verimli bir şekilde cevap verme ve daha iyi hizmet kalitesi sunma gibi çok önemli konularda çözüm üretebilmektedirler. GSM, GPRS, EDGE ve WCDMA teknolojilerinin yanında, HSDPA yi de desteklemesi "TEMS Investigation"'ın şebeke operatörleri tarafından yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır.

Şekil 5.1'deki, "TMES Investigation" ile gerçek zamanlı, sayısal haritalar üzerine GPS yardımıyla konumsal bilgiyi yerleştirerek yapılan ölçümler sayesinde; geniş bir alanın her noktasında ayrı ayrı GSM ölçümleri yapmak mümkündür. Böylece daha sonra, bu kaydedilmiş veriler üzerinden, haritadaki kayıtlı noktalardaki tüm verileri değerlendirmek mümkün olmaktadır.

GSM anlamında,

- layer 3 mesajları çözülerek : RR, CC, MM, GMM, SM,
- vericinin gönderdiği güç,
- hücre hizmetleri,
- RxLev (Full/Sub),

- RxQual (Full/Sub),
- ARFCN (BCCH / TCH),
- BSIC,
- Ses kalite indeksi, SQL,

değerleri ölçülebilir[18].



Şekil-5.1. “TEMS Investigation”

5.2. Yapılan Ölçümler

“TEMS Investigation” programının yüklü olduğu bilgisayara üç MS ile bir adet GPS bağlanarak; daha önce yüklenen harita üzerine yapılan ölçüm değerlerinin yüklenmesi sağlanmıştır. Havaalanı çevresindeki tüm yollar üzerinde olabildiğince fazla noktadan geçilerek, mümkün olan maksimum tarama gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Gerçekte havada yapılması gereken ölçümler, yasal zemin hazır olmadığı için uçak yerine yerde gerçekleştirilmiştir[19].

Ölçümlerde bulunan değerlerin doğruluğunu gözlemleyebilmek için GPS kullanılmıştır. GPS’te ise referans olarak ”World Geodetic System 1984’s (WGS-84) ellipsoid parameters” alınmıştır. Kullanılan parametreler yerin “Geoid” yapısı ile ilgilidir. Geoid, karaların altında da devam ettiği varsayılan durgun deniz yüzeyleridir. Yeryüzü üzerindeki bir noktanın koordinatlarını tanımlamak

için yerel ve küresel referanslandırmaya, “Datum” ihtiyaç vardır. “Datum”, herhangi bir noktanın yatay ve düşey konumunu tanımlamak için başlangıç alınan referans yüzeyidir. Yani yerin şeklini ve boyutunu tanımlayan bir referans sistemidir. Yatay Datum, koordinatlar için referans alınan başlangıç yüzeyi; düşey “Datum” ise yükseklikler için referans alınan referans başlangıç yüzeyidir[20].

Datum parametreleri, referans elipsoidi ve başlangıç noktasının koordinat ve dönükleri ile belirlenir.

Türkiye ülke ölçmelerinde, 1924 yılında uluslararası elipsoid kabul edilmiş olan “Hayford Elipsoidi”ni (International 1924) kullanmaktadır[21].

Bu noktada eldeki veriler incelenmiş ve havaalanı yakınında GSM sinyalinin GSM dışındaki diğer sistemlerin sinyalleriyle etkileşmediği gözlenmiştir.

5.3. Verilen iki nokta arası Mesafenin Hesaplanması

Verilen iki nokta arasındaki mesafe (d),

$$d^2 = x^2 + y^2 + z^2 \quad (5.1)$$

olarak verilmektedir. Tüm açılar radyan olarak alındığında,

$$x = r \cos(\lambda) \cos(\varphi) \quad (5.2)$$

$$y = r \cos(\lambda) \sin(\varphi) \quad (5.3)$$

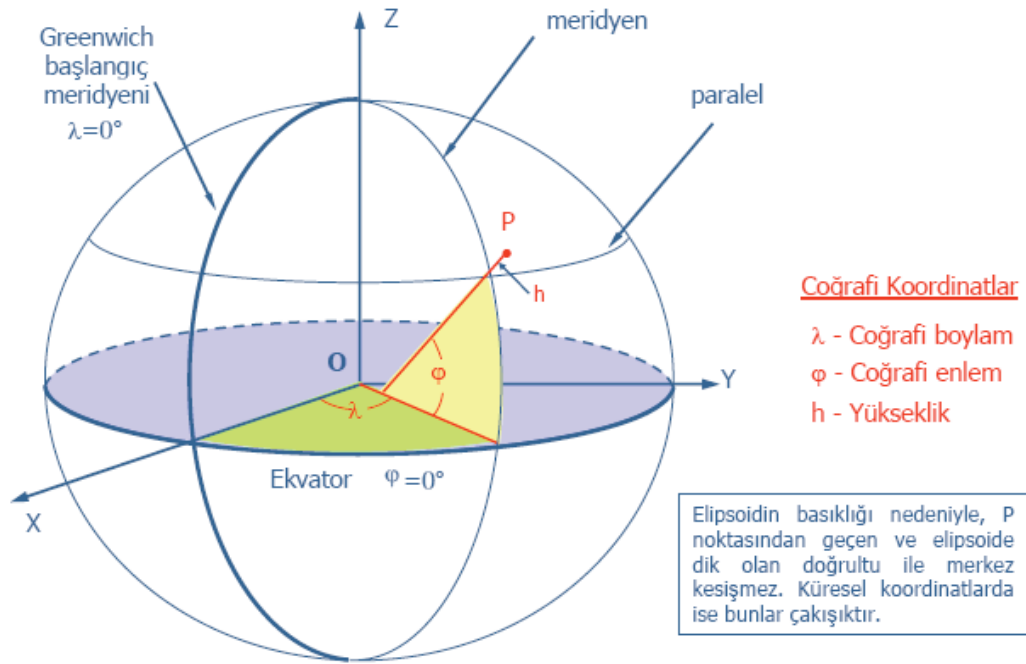
$$z = r \sin(\varphi) \quad (5.4)$$

dönüşümleri kullanılabilir. Burada Şekil 5.2’de de verildiği gibi, λ , coğrafi enlem, φ , coğrafi boylam, r, yarıçaptır.

Mesafenin 300m. üzerinde olduğu durumda uzaklık, yay uzunluğu şekline dönüşeceği için,

$$d = \cos^{-1} [\sin(\lambda_1) * \sin(\lambda_2) + \cos(\lambda_1) * \cos(\lambda_2) * \cos(\varphi_1 - \varphi_2)] \quad (5.4)$$

Denklem 5.4 kullanılabilir. Bu açısal olarak mesafeyi ifade eder [22].



Şekil 5.2. Koordinat tanımlamasında açısal dönüşümler

5.4. GSM Kullanılarak Mesafe Hesabı

Ölçüm yapılan frekansın bulunmasında Çizelge 5.1'den yararlanılmıştır. Ölçüm alınan BTS'ler E-GSM 900'de çalışmaktadır.

Çizelge-5.1. GSM frekans bilgileri

| Sistem | P-GSM 900 | E-GSM 900 | GSM 1800 | GMS 1900 |
|------------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|
| Yukarı doğru rekanslar | 890-915 MHz | 880-915 MHz | 1710-1785 MHz | 1850-1910 MHz |
| Aşağı doğru frekanslar | 935-960 MHz | 925-960 MHz | 1805-1880 MHz | 1930-1990 MHz |
| Dalgaboyu | ~33 cm. | ~33 cm. | ~17 cm. | ~16 cm. |
| Band genişliği | 25 MHz. | 35 MHz. | 75 MHz. | 60 MHz. |
| Frekans ayrılığı | 45 MHz. | 45 MHz. | 95 MHz. | 80 MHz. |
| Taşıyıcı frekans farkı | 200 kHz. | 200 kHz. | 200 kHz. | 200 kHz. |
| Kanal sayısı | 125 | 175 | 375 | 300 |
| İletim hızı | 270 kbit/s. | 270 kbit/s. | 270 kbit/s. | 270 kbit/s. |

Ölçümler BCCH üzerinde yapılmıştır. Her istasyon kendisini bu kanal üzerinden MS'lere tanıtmaktadır. İstasyonlara doğrudan frekans vermek yerine, ilgili kanal numarasını gösteren ARFCN verilir.

900 MHz.'de yayın yapan istasyonlar için ARFCN'den frekans hesabı MHz olarak,

$$f_A(n) = 890,2 + 0,2 * (n-1) \quad (5.5)$$

ile yapılır. Burada n. frekans kanal numarası, ARFCN (n = 1,2, ..124) ve f_A , istasyon alıcı frekansıdır. İstasyon verici frekansı, (f_V), içinde alıcı-verici frekans farkı, "duplex distance" eklenerek,

$$f_V(n) = f_A(n) + 45 \quad (5.6)$$

bulunabilir[23].

5.5. Ölçümde Kullanılan Veriler

Yapılan ölçümde kullanılan istasyonlar,

- BS-1,
 - enlem : N50 09 41.10
 - boylam : E40 29 14.41
 - yükseklik: : 15 m.
 - BSSC : 83
 - frekans (f_V) : 951.60 MHz.
- BS-2,
 - enlem : N50 06 41.60
 - boylam : E40 28 26.40
 - yükseklik : 20 m.
 - BSSC : 81
 - frekans (f_V) : 951.20 MHz.
- BS-3,
 - enlem : N50 02 28.50
 - boylam : E40 26 23.80

- yükseklik : 30 m.
- BSSC : 85
- frekans (f_v) : 952.00 MHz.

- BS-4,

- enlem : N49 59 04.70
- boylam : E40 25 41.80
- yükseklik : 22 m.
- BSSC : 68
- frekans (f_v) : 948.60 MHz.

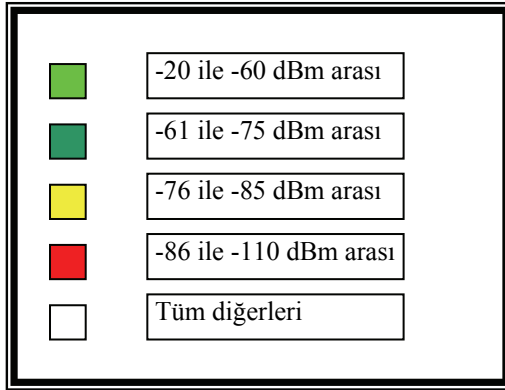
ve ölçümlerin yapıldığı

- havaalanının konumu,

- enlem : N50 09 08.90
- boylam : E40 29 39.70

olarak bilinmektedir.

Ölçümlerde, elde edilen güç değerleri sayısal harita üzerinde Şekil 5.3’de anlamları verildiği gibi değişik renklerde gösterilmiştir. Ölçüm yerde alındığı için izlenen rota, havaalanına doğru giden bir yol güzergahıdır.



Şekil 5.3. Sinyal şiddetlerinin renk olarak anlamı

5.6. Ölçüm Sonuçları

Yapılan ölçümlerde elde edilen değerler her bir BS için,

- BS-1:

- Havaalanına uzaklık : 1086.82 m.

- Alınan örnek sayısı : 3612
- GPS'e göre fark
 - min : 9.92 m (-90 dBm.'de)
 - ortalama : 5203.06 m. (>-99 dBm.)
 - ortalama : 5623.92 m. (>-90 dBm.)
 - ortalama : 6663.87 m. (>-80 dBm.)
 - ortalama : 535.00 m. (>-70 dBm.)
 - ortalama : 405.24 m. (>-60 dBm.)
 - ortalama : 395.18 m. (>-50dBm)
 - ortalama : 317.60 m. (>-40 dBm.)

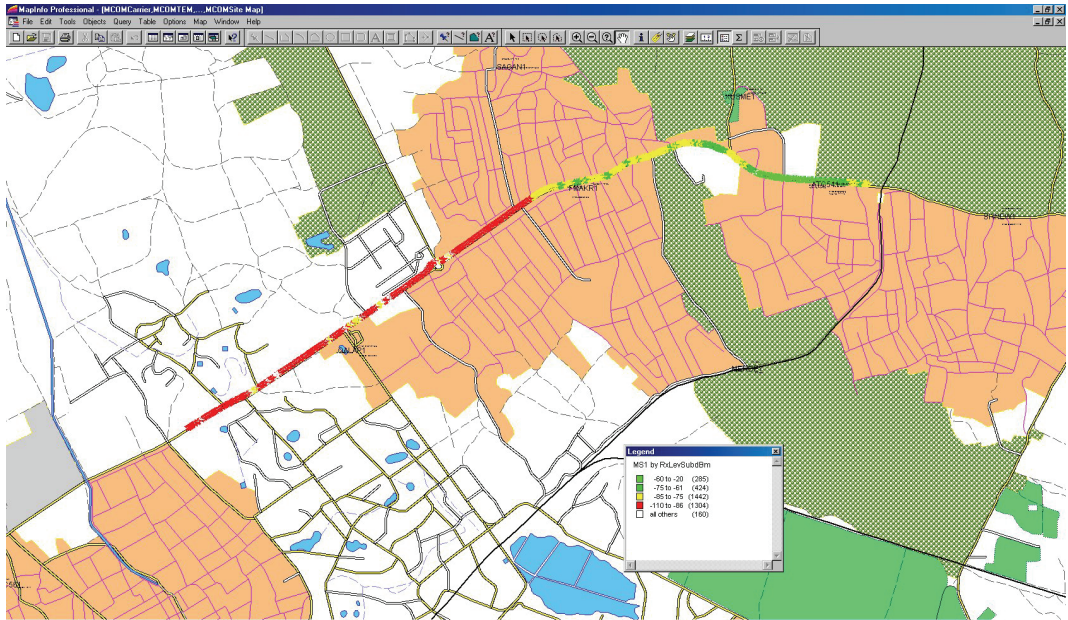
- BS-2

- Havaalanına uzaklık : 4132.51 m.
- Alınan örnek sayısı : 3009
- GPS'e göre fark
 - min : 285.00 m (-77 dBm.'de)
 - ortalama : 4652.97 m. (>-98 dBm.)
 - ortalama : 5100.72 m. (>-90 dBm.)
 - ortalama : 4758.27 m. (>-80 dBm.)
 - ortalama : 4649.54 m. (>-70 dBm.)
 - ortalama : 4457.93 m. (>-60 dBm.)
 - ortalama : 668.83 m. (>-52dBm)
 - ortalama : 675.58 m. (>-44 dBm.)

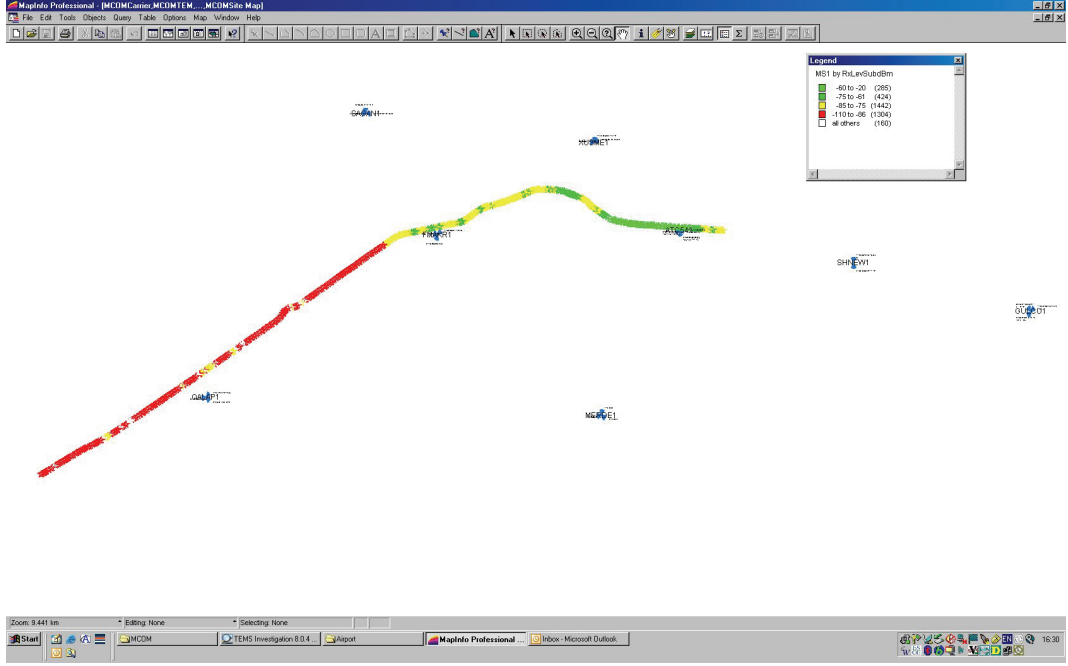
- BS-3:

- Havaalanına uzaklık : 11178.99 m.
- Alınan örnek sayısı : 3952
- GPS'e göre fark
 - min : 5.99 m (-72 dBm.'de)
 - ortalama : 5016.24 m. (>-100 dBm.)
 - ortalama : 4568.75 m. (>-90 dBm.)
 - ortalama : 3224.01 m. (>-80 dBm.)
 - ortalama : 1954.35 m. (>-70 dBm.)
 - ortalama : 714.99 m. (>-60 dBm.)

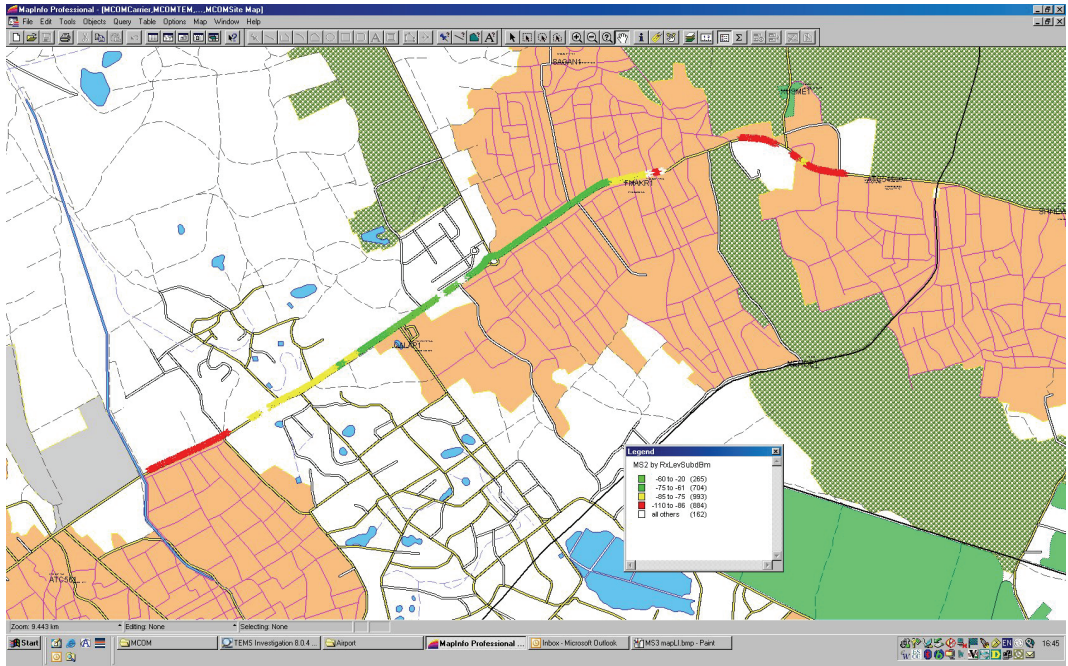
- ortalama : 361.66 m. (>-50dBm)
 - ortalama : 219.09 m. (>-40 dBm.)
 - ortalama : 104.11 m. (>-38 dBm.)
- BS-4
 - Havaalanına uzaklık : 15976.96 m.
 - Alınan örnek sayısı : 5788
 - GPS'e göre fark
 - min : 121.63 m (-94 dBm.'de)
 - ortalama : 7957.92 m. (>-103 dBm.)
 - ortalama : 7856.11 m. (>-100 dBm.)
 - ortalama : 7890.81 m. (>-90 dBm.)
 - ortalama : 8569.44 m. (>-80 dBm.)
 - ortalama : 11135.81 m. (>-70 dBm.)
 - ortalama : 14748.15 m. (>-60 dBm.)
 - ortalama : 14814.86 m. (>-50dBm)
 - ortalama : 14816.63 m. (>-40 dBm.)



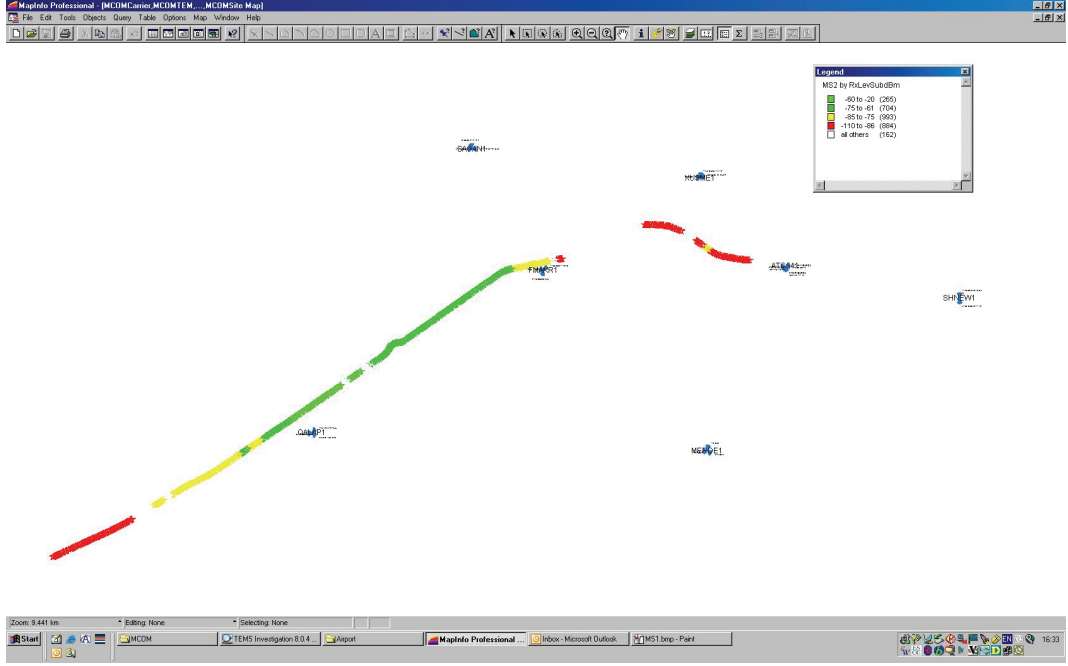
Şekil 5.4.(a) Harita üzerinde BS-1'e göre ölçüm



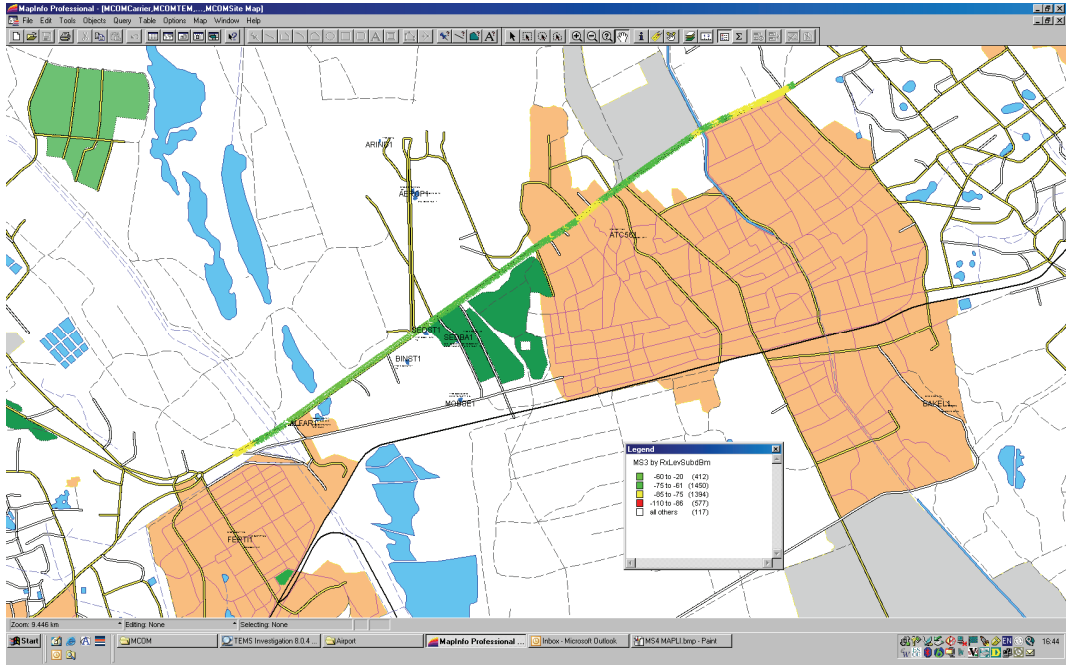
Şekil 5.4.(b) BS-1'e göre ölçüm



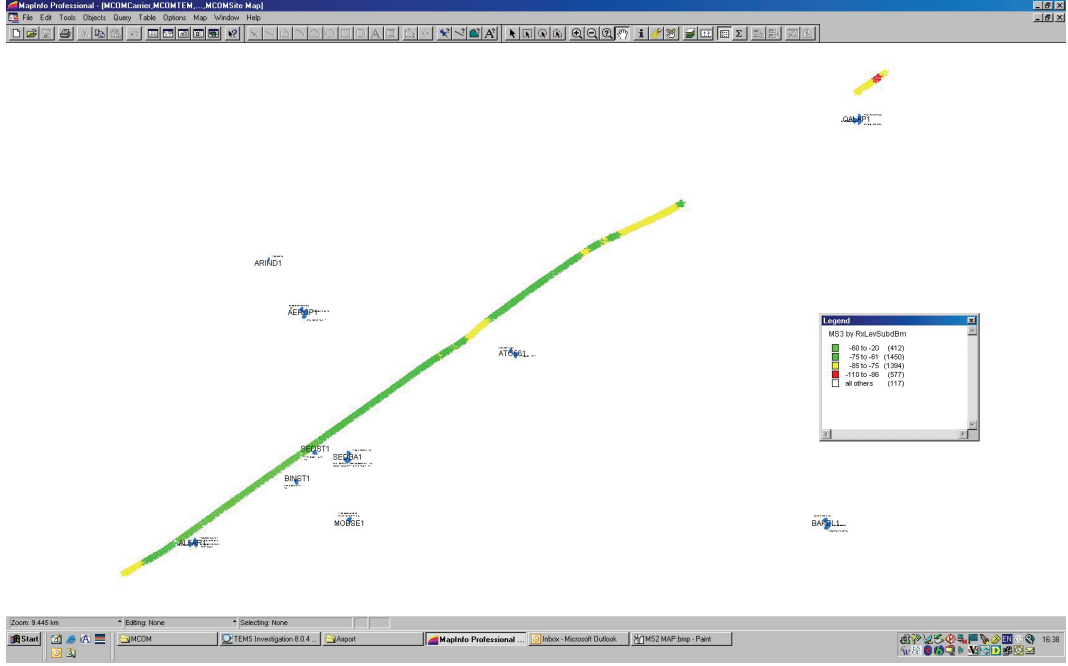
Şekil 5.5.(a) Harita üzerinde BS-2'ye göre ölçüm



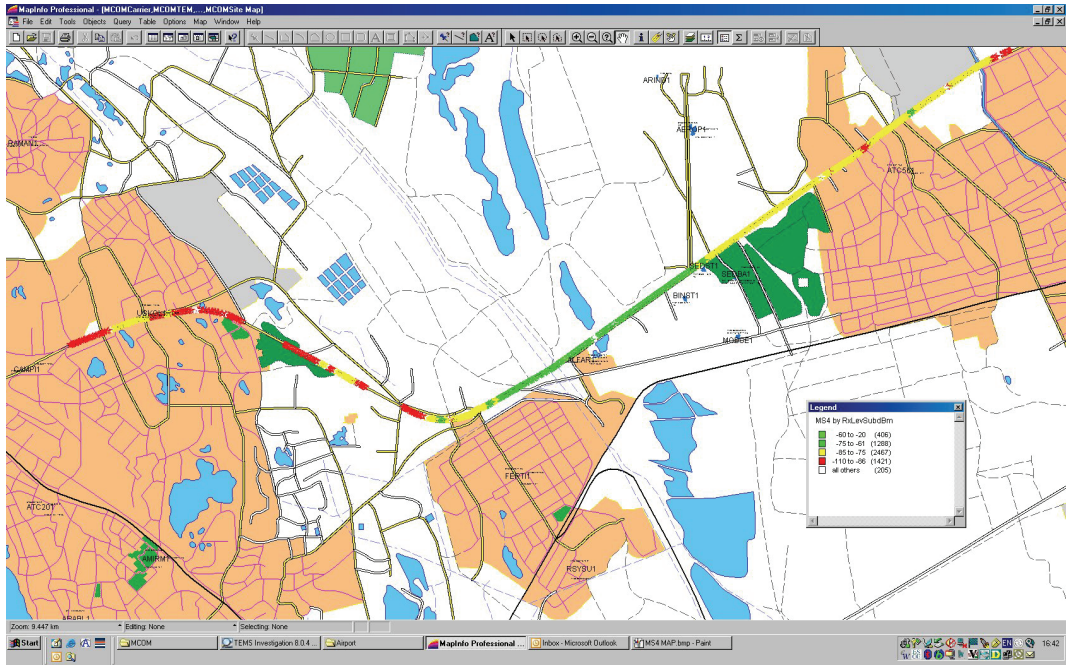
Şekil 5.5.(b) BS-2'ye göre ölçüm



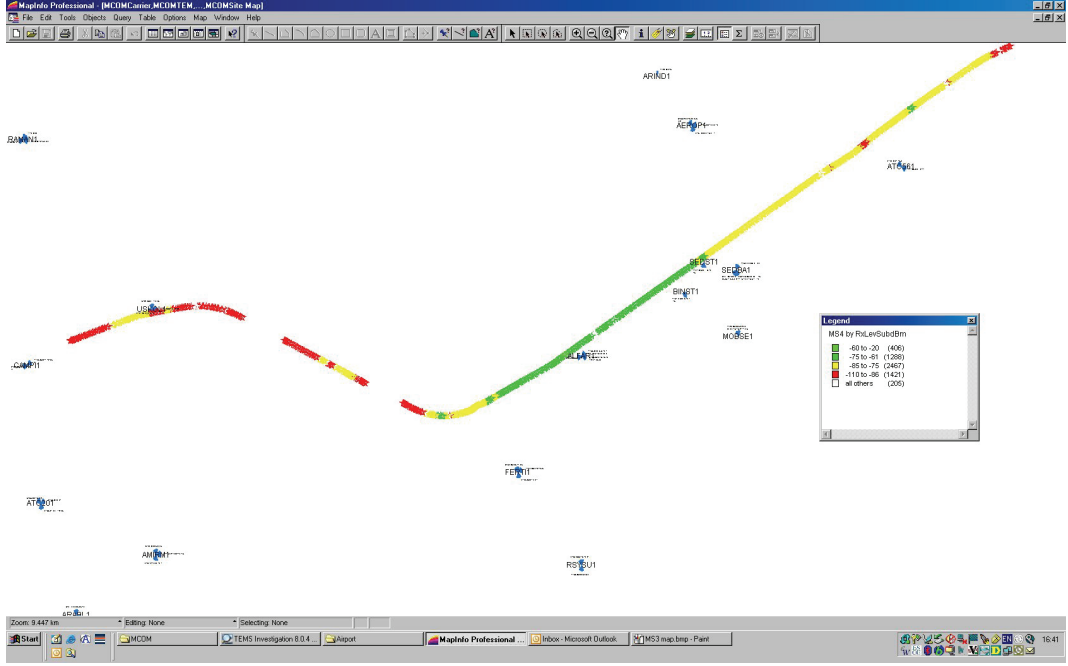
Şekil 5.6.(a) Harita üzerinde BS-3'e göre ölçüm



Şekil 5.6.(b) BS-3'e göre ölçüm



Şekil 5.7.(a) Harita üzerinde BS-4'e göre ölçüm



Şekil 5.7.(b) BS-4'e göre ölçüm

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Elde edilen sonuçlarda, gerçek uzaklık değerine 6 m.'ye kadar yaklaşmış olmakla birlikte, ortalama değerlerde sonuçlar istenen doğruluktan çok uzak görünmektedir. Yasal düzenlemelerin henüz tamamlanmamış olması sebebiyle, ölçümlerin yerde alınmış olmasının beklenen doğruluk değerlerine erişilememesinde en büyük paya sahip olduğu düşünülmektedir.

Havadaki durumdan çok farklı olarak, yeryüzünde birçok yansıma, kırılma ve engel yüzeyleri vardır. Bu yüzeyler, BS'den MS'e gelmesi gereken sinyal şiddetini değiştirmekte ve sonuçların çok farklı çıkmasına neden olmaktadır. Ölçümde özellikle verilen BS-4 çevresinde bulunan bu tür sorunlu yüzeyler nedeniyle istenenden çok farklı sonuçlar ortaya koymuştur.

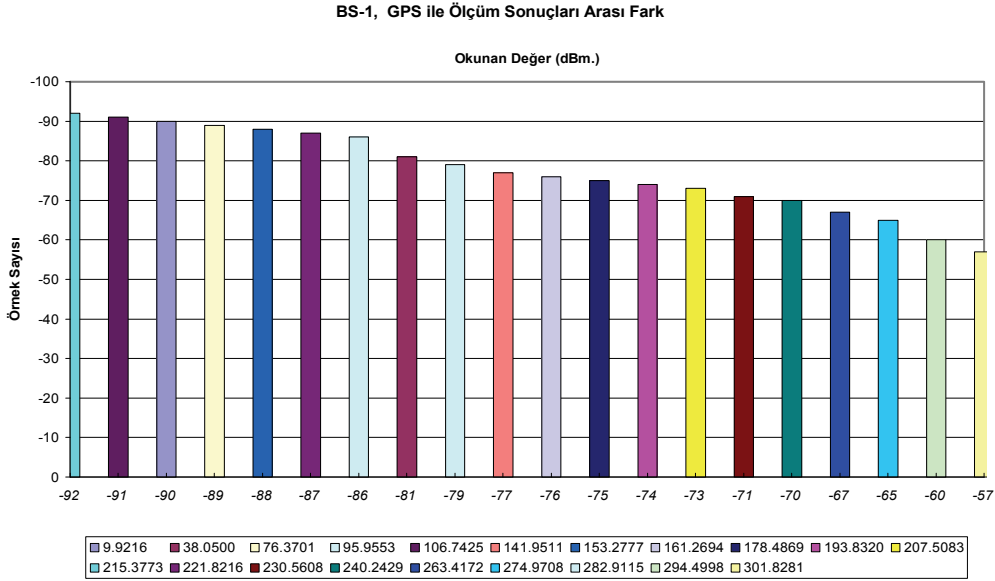
Kısaca özetlemek gerekirse, BS-1 ile yapılan ölçümlerde, GPS ile yapılan ölçümlere 9 m.'ye kadar yaklaşmıştır. Şekil 6.1(a)'da görüldüğü gibi ölçüm yapılan istasyonlar arasında ölçüm yapılan noktalara en yakın istasyon olması dolayısıyla en iyi sonuçları vermiştir. Okunan değişik güç değerlerinde çok farklı sonuçlar elde edilmiş, bu sonuçlardan da çevre koşullarının etkisi anlaşılmıştır.

BS-2'den yapılan ölçümlerde, ölçüm yapılan noktalara ikinci en yakın istasyon olmasına karşın, MS ile arasında bulunan engeller nedeniyle en iyi durumda 285 m.'ye kadar GPS'den alınan verilere yaklaşılabilmiştir. Şekil 6.1(b)'de görüldüğü gibi diğer verilerin birbirine yakın değerler vermesi, BS ile MS arasındaki zayıflatıcı yüzeylerin düzgün bir zayıflamaya neden olduğunu göstermektedir.

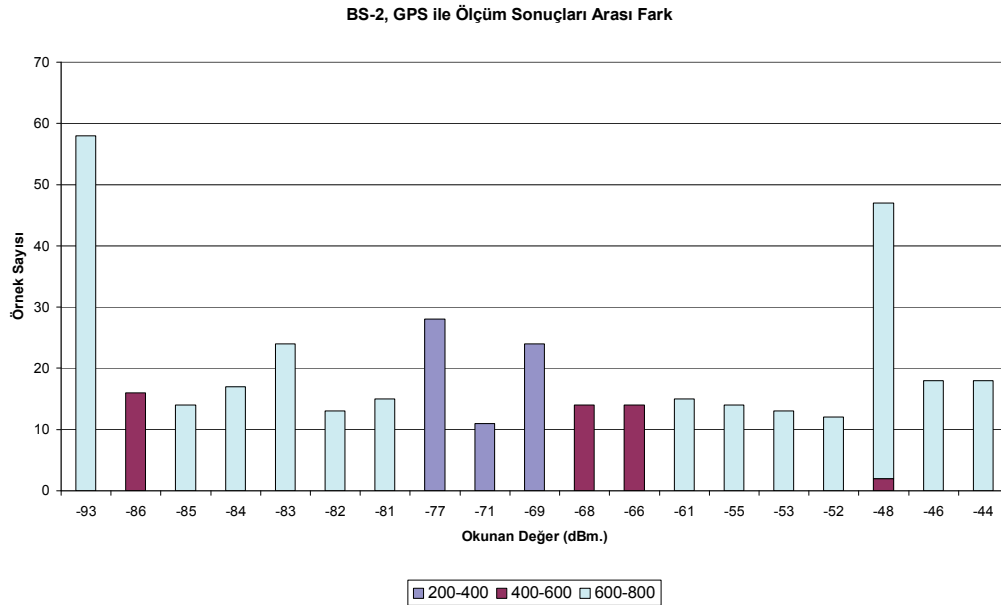
BS-3, ölçüm yapılan noktalara uzaklığı gözönüne alındığında son sırada yer almaktadır. Bu nedenle de ölçümlerde Şekil 6.1(c)'de görüldüğü gibi en kötü sonuçları vermiştir. Bunun ölçüm alınan MS'e uzak bir konumda olması ile birlikte; BS-MS arasındaki engellerin en fazla bulunduğu istasyon olması nedeniyle bu şekilde gerçekleştiği düşünülmektedir.

BS-4'de yapılan ölçüm sonuçları Şekil 6.1(d)'de görüldüğü gibi, MS ile BS arasındaki uzaklığın elde edilecek bilginin doğruluğu üzerinde ne kadar etkili olabileceğini göstermektedir. İstasyonun uzaklığı arttıkça, elde edilen verilerdeki doğruluk oranı azalmaktadır. Bu sonuçlara bakılarak uçak iniş doğrultusuna ve

dolayısıyla uçağa en yakınlıkta olacak şekilde istasyonların seçilmesinin daha doğru ve hassas değerler elde edilmesini sağlayacağı söylenebilir. Mesafenin artması, aradaki engellerin yerdeki kadar çok olmayacağı varsayıldığında, hava seyruferi için büyük bir soruna neden olmayacağı düşünülebilirse de; hava koşullarının artan uzaklıkla birlikte etkisinin artacağı da göz önünde bulundurulmalıdır.



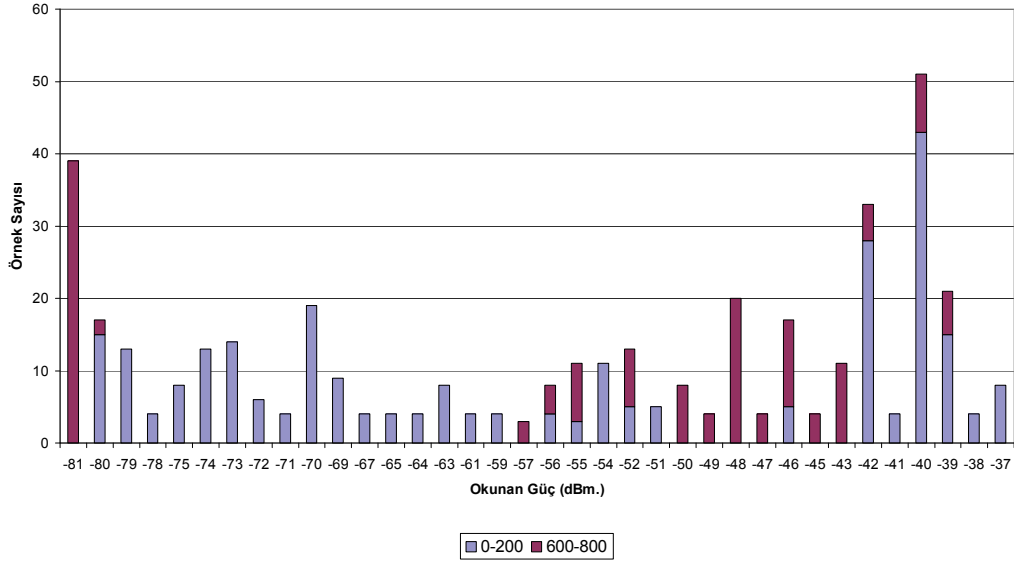
(a)



(b)

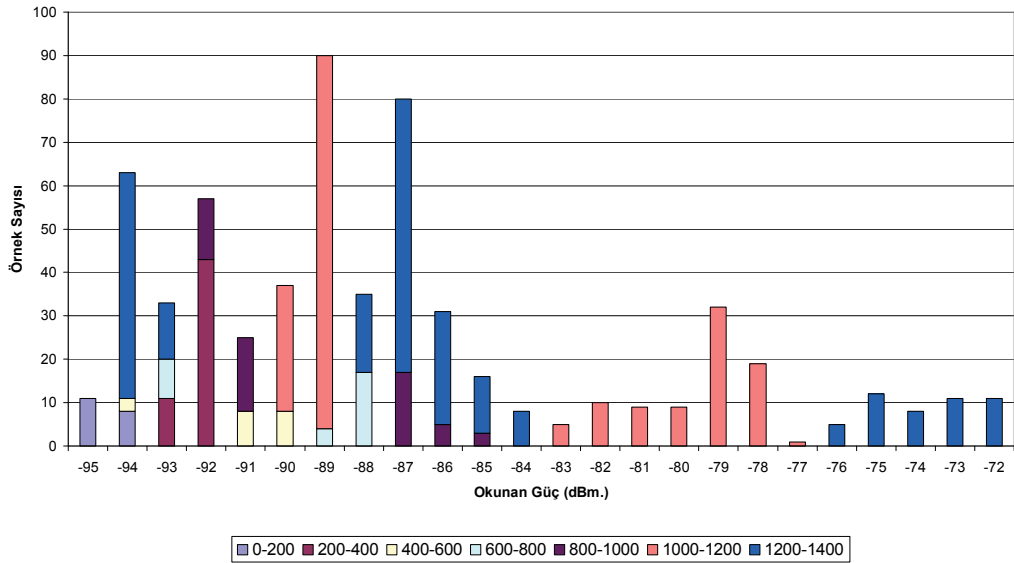
Şekil-6.1. Ölçüm Sonuçları, (a) BS-1 ölçümleri, (b) BS-2 ölçümleri

BS-3, GPS ile Ölçüm Sonuçları Arası Fark



(c)

BS-4, GPS ile Ölçüm Sonuçları Arası Fark



(d)

Şekil-6.1. (Devam) Ölçüm Sonuçları, (c) BS-3 ölçümleri, (d) BS-4 ölçümleri

Yerde yapılan ölçümlerde, anten yüksekliklerinin çok az olması da sinyal şiddeti üzerindeki olumsuz etkileri arttırmıştır. Yüksek olmayan antenlerden yapılan yayınımlar, kısa mesafe ve yoğun nüfus için iyi çözümler sunarken; burada yaptığımız gibi uzun mesafeli çalışmalarda beklenen verimin

alınmamasına neden olabilmektedir. Yerde yapılan ölçmelerde Longley-Rice modeli, Okumura modeli, Hata modeli, Hata modelinin gelişmiş hali ve Walfish Bertoni modeli gibi bine dışı yayılım modellerinden birisi referans alınarak daha gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmesi mümkündür. Değişik modellerden elde edilecek sonuçlarla, gerçek değerler arasında bazı noktalarda birbirine çok yakın, bazı noktalarda ise çok farklı sonuçlar ortaya çıkabilir. Bunun nedeni bahsedilen modellerin çok düzgün bina yapılarına sahip olan Japonya ve Avrupa gibi şehir merkezleri için ortaya konulmuş olmasındandır. Bu modeller havada ilerleyen sinyalin karşılaşacağı durumu da tam olarak modellemeyeceği için, çalışmamızda referans alınmaya uygun değildir[23].

Ölçümde kullanılan cihazlar yerine bu verileri sağlayacak daha uygun mobil cihazlar kullanılması durumunda sonuçlar daha gerçeğe yakın çıkacaktır. Sözgelimi, LMU ile donatılmış BS'lerin kullanıldığı bir çözüm daha uzun mesafelerde daha doğru sonuçlar verebilir.

Eğer bu amaçla özel olarak konumlandırılmış ya da konum olarak bu işe uygun BS'ler, havaalanına yakın ve eş konumlu olmayan, kullanılırsa ölçüm sonuçlarının daha iyi çıkması beklenebilir.

Burada GSM'in hava seyrüseferinde kullanımına ilişkin bir örnek verilmiştir. Buradaki gibi mesafe bilgisi almak amacıyla kullanıldığında, DME benzeri bir işlem gerçekleştirmektedir. Mesafe olarak tabiki DME çıkış gücü büyüklüğünde bir güç, GSM'de söz konusu olmadığı için sadece son yaklaşımda kullanımı düşünülmüştür. DME istasyonlarında olduğu gibi belirli koordinatlara yerleştirilirse ve son yaklaşma düşünülerek yönlü antenler, pist doğrultusunda konumlandırılırsa daha uygun sonuçlar gözlemlenebilecektir.

Burada verilen uygulama dışında yine son yaklaşma da seyrüsefer yardımcısı olarak kullanılırken, ikiden fazla BS kullanılarak, mesafe yerine konum bilgisi sağlamakta mümkün olabilir. Burada beklenen problem, şu an ki sistemler kullanılarak, konum hesabının zaman alması ve uçağa iletilinceye kadar uçağın ilerlemesi sonrası bu bilginin istenen zamanda uçağa iletilemeyecek olmasıdır. Üçüncü nesil mobil sistemlerinden başlayarak çok daha hızlı, daha geniş bantlı kullanan ve daha gelişmiş sistemler söz konusu olacağı için, bu sorunun da ortadan kalkması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Anonim, *Radyo Seyrüsefer Yardımcıları*, DHM İşletmeleri, 2006.
- [2] Kayton, M., Fried, W.R., “Terrestrial Radio-Navigation Systems”, *Avionics Navigation Systems* (Editörler), John Willey & Sons, New York, A.B.D., 99-178, 1997.
- [3] Wood, C., *The Instrument Landing System*, 2004
<http://www.navfltsm.addr.com/index.htm>
- [4] Çora, A., *GSM Hücresel hareketli haberleşme sistemi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi E.E.M.B., 2005.
- [5] Anonim, *Global System for Mobile Communication*, 2005.
<http://www.iec.org/online/tutorials/gsm>
- [6] Anonim, *Radio Network Parameters & Cell Design Data for Ericsson's GSM System-90/1553-HSC 103 12*, Ericsson Radio Systems AB, 2002.
- [7] Anonim, *GSM System Survey-LZT 1233321*, Ericsson Radio Systems AB, 2002.
- [8] Heine, G., *GSM Networks, Protocols, Terminology and Implementation*, Artech House, Boston-London, 1999.
- [9] Balston, D.M., *Pan-European Cellular Radio or 1991 and all that*, Electronics and Communication Engineering Journal, **1**, 1989.
- [10] Anonim, *Effects of Interference from Cellular Telephones on Aircraft Avionic Equipment*, Civil Aviation Authority, 2003.
- [11] Barut, M., Bayrak Ö., Temizyürek Ç., Türkyılmaz O., Gur G., “*A mobile Positioning Algorithm Based on Environment Estimation*”, Signal Processing and Communications Applications, IEEE, **15** (11-13), 1-4, 2007.
- [12] Drane, C., Macnaughtan, M., Scott, C., *Positioning GSM Telephones*, Communication Magazine, IEEE, **36**, 46-54, 59, 1998.
- [13] Yanev, K., *Location - aware computing*, 2006,
http://www.cs.helsinki.fi/u/riva/Courses/papers/LocationAwareness_Yanev_session2.pdf

- [14] Williams, D., “Terrestrial Network-Based Location Technologies”, *The Definitive Guide To GPS, RFID, Wi-Fi, and Other Wireless Location-Based Services* (Ed: Flanagan D.), Mind Commerce Publishers, Louisville, A.B.D., 301-331, 2006.
- [15] FAA, “*Required Navigation Performance (RNP) Approach Procedures with Special Aircraft*”, Order 8260.52, 2005.
- [16] FAA, RNAV - Order 8260.3, Kısım 1, paragraf 221, MAS detayları.
- [17] Anonim, *Radiowave Propagation-LZU102152*, Ericsson AB, 2003.
- [18] Anonim, *TEMS CellPlanner 7.0-FAP 901 0437*, Ericsson AB, 2007.
- [19] Anonim, *TEMS Investigation 8.2 Route Analysis-LZT 108 9116*, Ericsson AB, 2007.
- [20] Anonim, *Jeodezi, Datum, Koordinat Sistemleri, Harita Projeksiyonları*. 2004,
http://www.koeri.boun.edu.tr/jeodezi/notdefteri/bilgi_notes/JEODEZI_BUKRDAE_GED.pdf
- [21] Çelik, Dr.R.N., *GPS Techniques-Ders Notları*, 2006,
<http://atlas.cc.itu.tr/~celikn>
- [22] Anonim, *Global Konum Belirleme Sistemi*,2006
http://www.koeri.boun.edu.tr/jeodezi/notdefteri/bilgi_notes/GPS_BUKRDAE_GED.pdf
- [23] Anonim, *Channel Concept in GSM BSC Operation - LZT1233801*, Ericsson, 2006.
- [24] Masui, H., Akaike, M., Kobayashi T., “Microwave path-loss modeling in urban line-of-sight environment”, *IEEE Journal*, **20** (6), 1151-1155, 2002.