



T.C.

ALTINBAŞ ÜNİVERSİTESİ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği

**TETRA SİSTEMİNDE FREKANS PLANLAMA
ÇALIŞMASI**

Şakir Yılmaz

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Çağatay Aydın

İstanbul, 2020

TETRA SİSTEMİNDE FREKANS PLANLAMA ÇALIŞMASI

Şakir YILMAZ

Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği

Yüksek Lisans Tezi

ALTINBAŞ ÜNİVERSİTESİ

2020

“Şakir YILMAZ” tarafından hazırlanmış ve 31.12.2020 tarihinde sunulmuş “TETRA SİSTEMİNDE FREKANS PLANLAMA ÇALIŞMASI” başlıklı tez Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak **oy birliği** ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Çağatay AYDIN

Danışman

Tez Savunma Sınavı Jüri Üyeleri:

Dr. Öğr. Üyesi Çağatay AYDIN

Mühendislik ve Doğa
Bilimleri Fakültesi,

Altınbaş Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Doğu Çağdaş ATILLA

Mühendislik ve Doğa
Bilimleri Fakültesi,

Altınbaş Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Cahit KARAKUŞ

Mühendislik ve Mimarlık
Fakültesi,

Esenyurt Üniversitesi

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak bütün şartları sağladığını beyan ederim.

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü kabul tarihi:

____/____/____

Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik davranışlara uygun olarak edinildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bu kuralların ve davranışların gerektirdiği şekilde, bu çalışmada, orijinal olmayan tüm materyalleri ve sonuçları tamamen alıntı yaptığımı ve referans gösterdiğimi de beyan ederim.

Şakir YILMAZ

İTHAF

Her zorlandığımda “Ben sana inanıyorum, sen başarısın” diyerek bana moral veren **babama** ithafen.



ÖZET

TETRA SİSTEMİNDE FREKANS PLANLAMA ÇALIŞMASI

Şakir YILMAZ

Yüksek Lisans, Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği ABD, Altınbaş Üniversitesi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Çağatay AYDIN

Tarih: Aralık 2020

Sayfa: 45

TETRA standartları temelde GSM standartları referans alınarak yazılmış olsa da iki standart arasında farkların olduğu aşikârdır. Bu sebeple daha önce GSM sektörü için geliştirilen frekans planlama algoritmaları ve bu sektör için yazılan tezler ile üretilen teoriler TETRA sistemi için tam anlamıyla geçerli olmamaktadır. Bu tez ile TETRA sistemindeki frekans planlama kısıtları göz önüne alınarak yer altı ve yer üstü kapsamayı sağlayan baz istasyonları arasında en uygun frekans tahsisinin yapılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: TETRA, frekans planlama, interferans

ABSTRACT

FREQUENCY PLANNING AT TETRA SYSTEM

YILMAZ Şakir

M.Sc., Electrical and Computer Engineering Department, Altınbaş University,

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Çağatay AYDIN

Date: December 2020

Pages: 45

Interference is the most important problem at wireless communication. So there are many works on interference problem at GSM and Wi-fi technology. Although GSM and TETRA standards are similar, there are some differences at limitation value. This thesis is about frequency planning analysis at TETRA system.

Keywords: TETRA, frequency planning, interference

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
TABLO LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	16
2. TETRA SİSTEMİNE GENEL BAKIŞ.....	17
2.1 TEMEL TETRA MİMARİSİ	17
2.1.1 Hava Ara Yüzü (Air Interface, AI).....	17
2.1.2 Çevresel Ekipman Ara Yüzü (Peripheral Equipment Interface, PEI)	17
2.1.3 Sistemler Arası Bağlantı Ara Yüzü (Inter System Interface, ISI)	18
2.1.4 Ağ Yönetim Ara Yüzü (Network Management Interface, NMI)	18
2.1.5 Telli İstasyon Ara Yüzü (Line Station Interface, LSI)	18
2.1.6 Geçit Ara Yüzü (Gateway Interface, GW IF).....	19
2.2 TEMEL ÇALIŞMA MANTIĞI	19
2.2.1 Baz İstasyonu Çalışma Mantığı.....	21
2.2.1.1 Baz istasyonu temel yapısı.....	21
2.2.1.2 Baz istasyonu çalışma prensibi	23
2.2.2 Telsiz Terminali Çalışma Mantığı	23
3. FREKANS PLANLAMA VE ÖN ÇALIŞMA VERİLERİ.....	26
3.1 ÖN ÇALIŞMA VERİLERİ	26
3.2 FREKANS PLANLAMA KISITLARI	29

3.2.1	Baz İstasyonu Kapasitelerinin İncelenmesi	29
3.2.2	Sinyaller Arası Girişimin (interferans) İncelenmesi	34
3.2.2.1	Ardışık kanal girişimi (Adjacent channel interference)	34
3.2.2.2	Ortak kanal girişimi (Co - channel interference)	41
3.3	FREKANS PLANLANI YAPIMI	45
4.	ANALİZ VE YORUMLAR	52
5.	SONUÇ	54
6.	REFERANSLAR	55

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: TETRA faz-1 teknik özellikleri.....	20
Tablo 3.1: Baz istasyonlarına ait teknik detaylar.....	28
Tablo 3.2: Erlang C tablosu	32
Tablo 3.3: Analiz sonucuna göre trafik değerleri ve % 5 GoS ile ortalama kanal sayısı	33
Tablo 3.4: Frekans planlama referans tablosu	46
Tablo 3.5: Komşu kanal girişimine göre frekans tahsisi.....	49

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: PEI bağlantısının temsili gösterimi.....	18
Şekil 2.2: Temel TETRA mimarisi ve bağlantı ara yüzlerinin şematik gösterimi.....	19
Şekil 2.3: Baz istasyonu bileşenlerinin şematik gösterimi.....	21
Şekil 2.4: Gurup çağrısı ve özel çağrı türlerinin şematik gösterimi	25
Şekil 3.1: Uygulama yapılan sistem'e ait baz istasyonları bölgeleri	27
Şekil 3.2: Rohill CDR Analysis yazılımının genel görünümü.....	31
Şekil 3.3: Ardışık kanal girişimi gösterimi (ideal filtre -uygulamadaki filtre)	35
Şekil 3.4: Baz istasyonu filter çıkışı	35
Şekil 3.5: Baz İstasyonu ardışık kanal güçleri	36
Şekil 3.6: TETRA ardışık kanal girişimi sınır değerinin gösterimi	37
Şekil 3.7: 25 Khz offset değerinde oluşan sinyal girişimi	37
Şekil 3.8: Durdurma bandı frekanslarının gösterimi.....	38
Şekil 3.9: Girişim bölgelerinde alınan sinyal ölçümleri	40
Şekil 3.10: Pisagor bağıntısının gösterimi	44
Şekil 3.11: Komşuluk ilişkilerine göre frekans atama	45

Şekil 4.1: Frekans planlama öncesi (üstte) ve frekans planlama sonrası (altta) aynı noktadan alınan sinyal 53



KISALTMALAR

MI-FAP	: Minimum Interference - Frequency Assignment Problem
TETRA	: TErrastrial TRunked RAdio
ETSI	: European Telecommunications Standards Institute
DMO	: Direct Mode Operation
TMO	: Trunk Mode Operation
SwMI	: Switching and Management Infrastructure
PEI	: Peripheral Equipment Interface
ISI	: Inter System Interface
NMI	: Network Management Interface
LSI	: Line Station Interface
GW-IF	: Gateway Interface
ISDN	: Integrated Services Digital Network
PSTN	: Public Switched Telephone Network
LTE	: Long Term Evolution
DQPSK	: Differential Quadrature Phase Shift Keying
QAM	: Quadrature Amplitude Modulation
TDMA	: Time Division Multiple Access
FSC	: Fallback Site Controller

ISSI	: Individual Short Subscriber Identity
GSSI	: Group Short Subscriber Identity
TCH	: Traffic Channel
CCH	: Control Channel
MNC	: Mobility Network Code
MCC	: Mobility Country Code
LA	: Location Area
RXA	: Receiver Access
BTK	: Bilgi Teknolojileri Kurumu
RF	: Radio Frequency
GoS	: Grade of Service
CDR	: Call Detail Record
BTS	: Base Transceiver Station
IL	: Insertion Loss

SEMBOL LİSTESİ

N_R	: Frekans yeniden kullanım sabiti
M	: Slow fading için koruma marjini (dB)
K	: Hücre şekli ve girişim oluşturan baz istasyonu sayısına bağlı değişken
A	: Aktivite etkeni
α	: Yayılım sabiti
G	: Anten kazancı
L	: Yol Kaybı
f	: Merkez frekans
c	: Işık hızı

1. GİRİŞ

Günümüzde kablosuz haberleşme sistemlerinin ve bu sistemlere duyulan ihtiyacın artması ile birlikte frekans planlama sorunu ortaya çıkmıştır. İlk olarak farklı haberleşme sistemlerinin (TV, Radyo, GSM, ...) birbirini etkilemesi üzerine ortaya çıkan bu sorunu daha sonraları her bir sistem kendi içinde yaşamaya başlamıştır. Frekans planlama sorunu en belirgin olarak ilk defa mobil haberleşme sistemi olan GSM sektöründe ortaya çıkmış olsa da günümüzdeki mobil haberleşme sistemlerinin yaşadığı ortak frekans problemi literatürde MI-FAP (Minimum Interference - Frequency Assignment Problem) [1] kategorisinde değerlendirilmiştir.

Literatürde MI-FAP için üretilen çözümler daha çok GSM sektörüne yönelik çözümler olup bu çözümler TETRA sistemlerinde pek verimli olmamaktadır. Bunun temel nedeni ise iki sistemin farklı modülasyon tekniği kullanması ve farklı sınırlamalara tabii olmasıdır.

Bu tezde daha çok literatürde yok denilecek kadar az bahsedilen TETRA baz istasyonları arasında frekans planlama sorununun çözümü üzerine durulacaktır. Tezin ilk bölümünde TETRA sistemi hakkında genel bilgiler verilecek olup bu bölümde sistemin mimarisi ve çalışma mantığı üzerine durulacaktır. İkinci bölümde ise frekans planlamadaki temel kısıtlar ve bu kısıtların TETRA sistemindeki sınır değerleri üzerine durulacaktır. Üçüncü bölümde uygulama yapılan sistem üzerinde yapılan ön çalışma ve elde edilen veriler üzerine durulacaktır. Son bölümde ise yapılan çalışmalar ve çözüm önerileri anlatılacaktır.

2. TETRA SİSTEMİNE GENEL BAKIŞ

Standartları ETSI tarafından 1995 yılında yazılan ve 1997 yılında tüm dünyaya tanıtılan TETRA sisteminin temelleri GSM standartlarına dayanmaktadır. Günümüzde halen çoğu ülkede kullanılan TETRA sisteminin asıl ortaya çıkış amacı ise frekans kaynaklarının etkin kullanılmasıdır. TETRA sistemini diğer trunk yapıdaki teknolojilerden ayıran en belirgin özellikler dinleme ile konuşmanın aynı anda yapılabilmesi ve baz istasyonu olmaksızın telsizden telsize direk konuşmanın (DMO) yapılabilmesidir.

2.1 TEMEL TETRA MİMARİSİ

Bir TETRA sistemi temel olarak bir baz istasyonu ile bu baz istasyonunu kontrol eden ana sunucu (SwMI)' dan ve sistem üzerinden haberleşmeyi sağlamak için kullanılan telsizlerden oluşmaktadır. TETRA sistemi sayısal bir sistem olması sebebi ile bir Swmi üzerine baz istasyonu haricinde üçüncü parti yazılımların ve farklı haberleşme sistemlerinin de bağlanması mümkün olmaktadır.

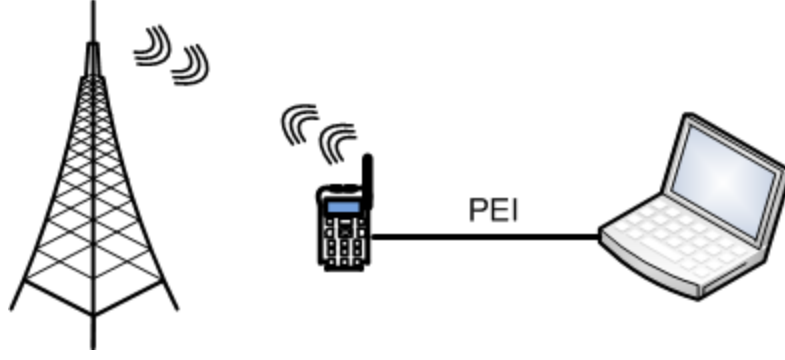
ETSI yazdığı TETRA standartlarında 3 temel ara yüzden bahsetmektedir. TETRA standartlarında geçmeyen fakat sonradan ilan edilen 3 tane daha ara yüz bulunmaktadır. [2]

2.1.1 Hava Ara Yüzü (Air Interface, AI)

Hava ara yüzü TETRA standartlarında TMO ve DMO olmak üzere iki farklı çalışma türü için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Bu ara yüzde telsiz ile baz istasyonu arasındaki iletişimin nasıl yürütüleceği belirtilmiştir. Telsiz ile baz istasyonu arasındaki kablosuz haberleşme bu ara yüzde tanımlandığı için bu tezdeki çalışmada hava ara yüzüne ait sınırlamalar kullanılmıştır.

2.1.2 Çevresel Ekipman Ara Yüzü (Peripheral Equipment Interface, PEI)

TETRA sistemi üzerinden harici bir ekipman (ör. bilgisayar, cep telefonu, ...) ile veri transferi için tanımlanmıştır. Bu ara yüz genelde telemetri sistemleri için tercih edilmektedir. Bu sebeple bu ara yüzün çalışması daha çok bir telsizin harici ekipman ile TETRA ağı arasında bir köprü görevi üstlenmesi temeline dayanır.



Şekil 2.1: PEI bağlantısının temsili gösterimi.

2.1.3 Sistemler Arası Bağlantı Ara Yüzü (Inter System Interface, ISI)

İki ya da daha fazla TETRA ağını bir birine bağlamak için geliştirilen bu ara yüzün asıl çıkış amacı farklı üreticilerin tek bir ağda çalışmasını sağlayarak rekabeti arttırmaktır. Fakat ETSI standartların yazımında bu husustaki çerçeveyi biraz geniş çizdiği için hedeflediği bu amaca ulaşamamıştır. Bu sebeple farklı üretici firmaların ürettiği ürünler tek bir ağda çalışmamaktadır. Son zamanlarda bu problemin çözümü için gateway ara yüzü üzerinden çalışan bir takım ürünler piyasaya çıkmıştır.

2.1.4 Ağ Yönetim Ara Yüzü (Network Management Interface, NMI)

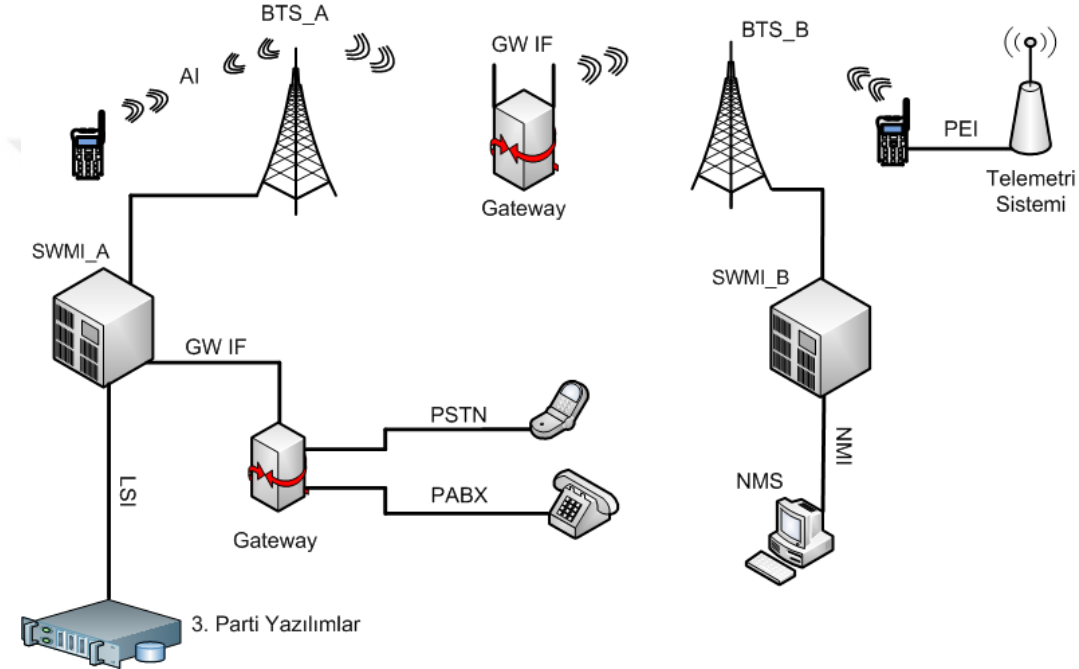
TETRA sistemi ağında konfigürasyon ve bakım faaliyetlerinin yürütülmesine olanak tanıyan bu ara yüz, ortak bir tanımlamanın uygulanabilir olmadığı gerekçesi ile ETSI tarafından standartlara dahil edilmemiştir. TETRA birliği tarafından tanımlanan bu ara yüz kullanıcılara rehber olması amacı ile ilan edilmiştir. Bu ara yüz vasıtası ile üretici firmalar kendi sistemlerinin yönetilebilmesi için NMS yazılımını çıkarmıştır.

2.1.5 Telli İstasyon Ara Yüzü (Line Station Interface, LSI)

TETRA standartlarında tanımlanmayan bu ara yüz üçüncü parti (3rd party) yazılımların sisteme bağlanabilmesi için üretici firmalar tarafından ilan edilmiştir. Bu ara yüz ile TETRA ağı üzerinden araç takip sistemi, bilgisayar üzerinden telsiz anonsu gibi yazılımların TETRA sistemi üzerinden çalışması mümkün hale gelmiştir.

2.1.6 Geçit Ara Yüzü (Gateway Interface, GW IF)

TETRA standartlarında DMO ve TMO çalışma grupları arasındaki iletişimin sağlanabilmesi için tanımlanan bu ara yüz daha sonraları üçüncü parti sistemlerin TETRA sistemine bağlanması ve sistemler arası iletişimin (bkz. Başlık 2.1.3) sağlanması amacı ile de kullanılmıştır. Bu ara yüz ile harici bir ekipman kullanılarak ISDN ve PSTN gibi telefon hatlarına bağlantı sağlanabilmektedir.



Şekil 2.2: Temel TETRA mimarisi ve bağlantı ara yüzlerinin şematik gösterimi

2.2 TEMEL ÇALIŞMA MANTIĞI

TETRA sisteminde ETSI tarafından tanımlanan 2 adet çalışma şekli vardır. Bunlardan ilki faz-1 olarak da bilinen V+D (Voice+Data) çalışma şekli günümüzde halen tercih edilen çalışma şeklidir. Faz-2 olarak bilinen PDO (Packet Data Optimised) çalışma şekli ise daha çok görüntü aktarımına olanak tanımak için geliştirilmiştir. LTE kavramının yayılmasıyla birlikte faz-2 çalışma şekli pek ilerleyememiştir.

Her iki çalışma şekli kendi içerisinde TMO ve DMO olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu tezde daha çok V+D çalışma şeklindeki TMO kısmı ele alınmıştır.

TETRA sistemi temelde TDMA teknolojisi üzerine kuruludur. Bu sayede tek bir frekans ile aynı anda 4 farklı görüşmeyi sağlayarak frekans kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmasına katkı sağlamaktadır. TDMA teknolojisi ile elde edilen bilgi işareti DQPSK ya da QAM modülasyonları ile bir uçtan diğer uca aktarılır. QAM modülasyon tekniği daha çok faz-2’ de kullanılmaktadır. Bu tezde faz-1’ de tercih edilen $\pi/4$ DQPSK modülasyon tekniğine ait sınırlamalar kullanılmıştır.

Aşağıdaki tabloda TETRA faz-1’ e ait teknik özellikler yer almaktadır. [3]

Tablo 2.1: TETRA faz-1 teknik özellikleri

Özellik Türü	Açıklama
Erişim Tekniği	TDMA
Modülasyon Türü	$\pi/4$ DQPSK
Frekans Bandı	380-400 MHz 410-430 MHz
Dupleks Aralığı	10 MHz
Kanal Aralığı	25 KHz
Çağrı Kurma Süresi	< 0,3 s
Veri Aktarım Hızı	36 kbps
Ses Kodlama	ACELP

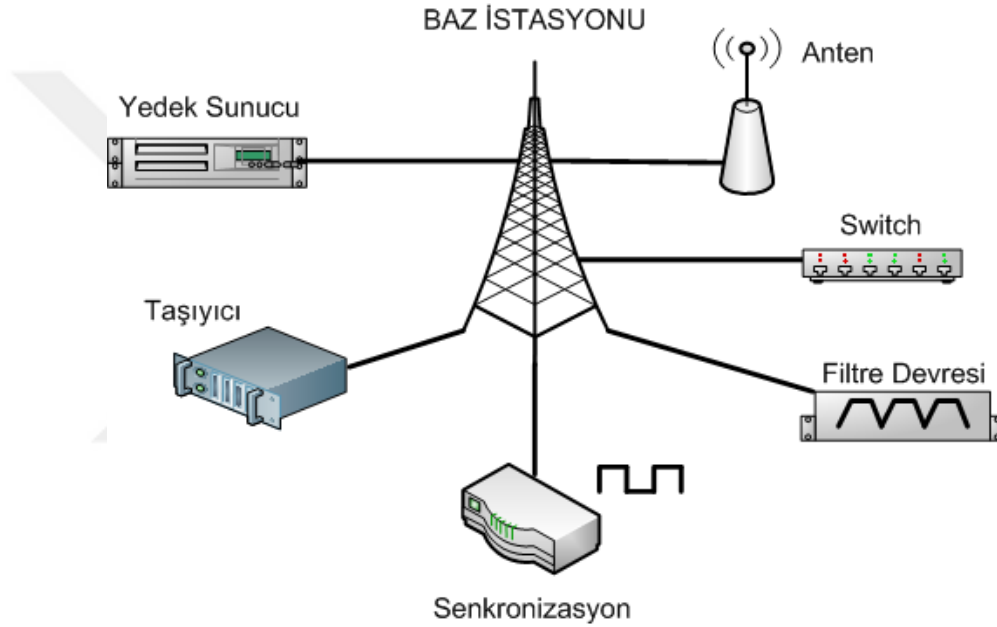
Tablo 2.1’ de bahsedilen 380-400 Mhz frekans bandı ETSI’ nin önerisi ile acil durum (ambulans, polis, itfaiye) hizmetlerinde kullanılması kabul edilmiştir. Sivil kullanım için 410 – 430 MHz bandı tahsis edilmiştir.

Temelde baz istasyonu ve telsizin çalışma mantığı aynı olsa da detaylı bakıldığında algoritmalarda bir takım farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu sebeple TETRA temel çalışma mantığı telsiz ve baz istasyonu olmak üzere 2 ana başlıkta incelenecektir.

2.2.1 Baz İstasyonu Çalışma Mantığı

2.2.1.1 Baz istasyonu temel yapısı

Bir baz istasyonu temelde modülasyon işleminin gerçekleştiği bir taşıyıcı ile gönderme ve alma frekanslarını ayırt etmek için kullanılan bir filtre devresinden ve frekansı gönderip alacak bir adet antenden oluşmaktadır. Bunların yanı sıra bir adet senkronizasyon birimi ve ihtiyaca göre yedek sunucu ve ağ anahtarı (switch) ekipmanları da bir baz istasyonu içinde bulunabilmektedir.



Şekil 2.3: Baz istasyonu bileşenlerinin şematik gösterimi

1. Yedek sunucu (FSC, Kontrolör)

Baz istasyonunun ana sunucu olarak tabir edilen Swmi ile bağlantısı kesildiği durumlarda devreye girerek baz istasyonunun çalışmasını sağlayan ekipmandır. Baz istasyonunun swmi ile bağlantısı olduğu müddetçe çalışmasına ihtiyaç duyulmayan bir ekipmandır. Yedek sunucu üzerinden çalışan baz istasyonu sadece kendi kapsama alanındaki telsizlerin haberleşmesini sağlayabilmektedir. Swmi' ye bağlı diğer baz istasyonları kapsamasında bulunan telsizler ile iletişim sağlanamaz. Bu çalışma şekli lokal mod olarak adlandırılır.

2. Ağ anahtarı (Switch)

Baz istasyonu ile swmi arasındaki bağlantıyı yapmak için tercih edilmektedir. Günümüzde çoğu baz istasyonu IP tabanlı haberleştiği için bu ekipman bir baz istasyonunda gerekli ekipmanlardan birisidir.

3. Senkronizasyon birimi

TDM çalışma mantığı için gerekli osilatör frekansını üreten ekipmandır. Bu ekipman vasıtası ile TDM kanalları oluşmaktadır. Bu ekipman ayrıca baz istasyonları arası geçiş olarak tabir edilen hand over olayı için de gerekmektedir. Bazı üretici firmalar bu ekipmanı harici olarak pazarlasa da bazı firmalar bu ekipmanın görevini Swmi' ye yüklemişlerdir.

4. Filtre Devresi (Combiner)

Filtre devresi temelde alışı yönündeki frekansları ayırt etmek için kullanılır. Diğer kablosuz iletişim türlerinde olduğu gibi TETRA baz istasyonunda da filtre devresi combiner olarak bilinmektedir. Combiner tek bir antende gönderme ve alma işlemlerinin aynı anda yapılmasını sağlamaktadır. Combiner aynı zamanda bir baz istasyonunda tahsisli iki farklı frekansın tek bir antenden yayın yapmasına da olanak tanımaktadır.

5. Anten

Baz istasyonu tarafından üretilen sinyallerin hava ortamına aktarılması ve havadaki sinyallerin de alınıp baz istasyonlarına aktarılmasını sağlayan pasif ekipmandır. Piyasada kullanım alanına göre en çok tercih edilen omni, yagi, panel, sektörel, dipol ve MIMO antenlerdir.

6. Taşıyıcı (Carrier, Röle)

Bir baz istasyonunun en temel ögesi olan taşıyıcı ekipmanı erişim tekniğinin uygulanmasını ve hava ara yüzündeki işlemlerin bir kısmının gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Ses ve veri ile ilgili transferlerin gerçekleştirildiği ekipman olarak da bilinmektedir.

TETRA sisteminde bir taşıyıcının aktif olarak çalışabilmesi için Swmi ekipmanı ile bağlantısının olması gerekmektedir. Taşıyıcı üzerinde herhangi bir depolama birimi olmadığı (ya da yetersiz) için bir taşıyıcı frekans, yayın gücü, abone kayıt durumu, erişim parametreleri gibi bilgileri Swmi ekipmanından temin etmektedir.

2.2.1.2 Baz istasyonu çalışma prensibi

Bir baz istasyonundaki taşıyıcı ekipmanı Swmi' den aldığı frekans bilgisine göre taşıyıcı sinyali üretir. Daha sonra iletilecek ses ve veri bilgisini üretilen bu taşıyıcı sinyal ile modülasyon işlemine tabi tutar. Diğer yandan kendisine gelen bilgiyi ise demodülasyon işlemine tabi tutar ve gönderme frekansında üretilen taşıyıcı işaret ile tekrar modülasyon işlemine tabi tutar. Ön bellekte bekleyen her bir bilgi için bu modülasyon/demodülasyon işlemi gerçekleştirir. TETRA sistemindeki bir taşıyıcı 4 farklı bilgiyi ön belleğinde tutabilme kapasitesine sahiptir. Bu sebeple TETRA taşıyıcılar 4 kanallı olarak ifade edilmektedir.

Bir taşıyıcı ön belleğindeki bilgilerin farklı olup olmadığını bilgi kaynağından anlamaktadır. Her bir bilgi kaynağının bir adet numarası (ISSI/GSSI) vardır. Farklı numaralı kaynaktan gelen bilgiler farklı ön belleklerde tutulur. Her bir numara için tahsis edilecek ön bellek zaman dilimi olarak adlandırılır ve bu zaman dilimleri senkronizasyon biriminin yardımı ile belirlenmektedir.

Bir baz istasyonundaki 3 zaman dilimi bilgi kaynağından gelen bilgileri iletmek için, bir zaman dilimi ise bilgi kaynağı ile baz istasyonu arasındaki kontrol işlemlerine ait verilerin iletilmesi için kullanılır. Bilgi kaynağından gelen verilerin iletildiği zaman dilimleri trafik kanalı (TCH), kontrol işlemleri için kullanılan zaman dilimi kontrol kanalı (CCH) olarak ifade edilir. Kontrol kanalı her baz istasyonu için genelde bir adet olarak belirlenir. Bu sebeple bir baz istasyonundaki kanal sayısı genelde trafik kanal sayısı+1 olarak ifade edilmektedir. Örneğin bir baz istasyonu 2 adet taşıyıcı ekipmanından oluşuyorsa bu baz istasyonunda 2 adet taşıyıcı frekansı ve $2 \times 4 = 8$ kanal vardır. Bu kanallardan biri kontrol kanalı diğerleri ise trafik kanalı olarak görev almaktadır. Bu sebeple bu baz istasyonu 7+1 olarak çalışmaktadır denir. Bu ifade bu baz istasyonunun aynı anda 7 adet farklı bilgi kaynağından bilgi aldığı anlamına gelmektedir. Diğer bir deyişle aynı anda 7 farklı abone telsiz görüşmesi yapabilir.

2.2.2 Telsiz Terminali Çalışma Mantığı

TETRA telsizlerin çalışma mantığı üretici firmalara göre değişiklik göstermektedir. Her bir firma standartların üzerinde ek özellikler ile telsizlerin çalışma şeklini düzenlemiştir. Bu tezde TETRA standartlarında belirtilen çalışma mantığı kabaca anlatılacaktır.

Bir telsizin baz istasyonuna bağlanabilmesi için bir takım bilgilerin telsizin hafızasına girilmesi gerekmektedir. Bunlar; telsiz kimlik numarası (ISSI), telsizin dahil olacağı konuşma guruplarına ait numaralar (GSSI), telsizin bağlanacağı sisteme ait ülke ve network kodu (MCC, MNC), telsizin bağlanabileceği frekans listesidir.

Bir telsiz ilk açıldığında listesine önceden tanımlanmış frekansları gezmeye başlar. Bulduğu ilk en yüksek sinyal seviyeli frekansa sahip baz istasyonuna bağlantı isteği gönderir. Bu noktadan sonra baz istasyonu ile telsiz arasında kontrol kanalı üzerinden iletişim kurulur. Baz istasyonu telsizin bağlantı isteğine karşı telsizin kimlik numarası isteyerek aldığı bu bilgi ile Swmi'ye telsizin kayıtlı olup olmadığını sorar. Kimlik numarası kayıtlı ise baz istasyonu telseze zaman dilimi bilgisini ileterek telsizin sisteme bağlanmasını sağlar. Telsiz baz istasyonundan gelen sinyal gücüne göre kendi çıkış gücünü ayarlar. Bağlantı kurulduktan sonra baz istasyonu telseze kendi kimlik bilgisini (Location area, LA), komşu baz istasyonları bilgisini, ve senkronizasyon bilgilerini iletir. Telsiz aldığı bu ek bilgiler ile hangi baz istasyonlarına hangi zaman diliminde geçiş yapabileceğini bilir. Buradaki en önemli nokta telsizin frekans ile LA numarasını ilişkilendirdiğidir. Telsiz farklı iki LA numarasında aynı frekansı görmesi durumunda kararsız kalmaktadır.

Telsizin aldığı sinyal seviyesi baz istasyonunda tanımlı erişim seviyesinden (RXA) daha düşük seviyede ise telsiz listesindeki tanımlı frekansları gezmeye devam eder.

Telsizde iki farklı konuşma türü vardır:

1. Gurup Çağrılar (Group Call)

Telsiz üzerine önceden tanımlanmış guruplar içinden istenilen bir gurup seçilerek telsiz bu guruba üye edilir ve bu şekilde telsizden anons yapılır. Bu anons baz istasyonu kapsamasında bulunan ve anons yapılan guruba üye tüm telsizlere iletilir. Anonsun bir kopyası ise Swmi'ye iletilir. Swmi kendisine bağlı baz istasyonlarına anons yapılan gurubun kimlik numarası ile (GSSI) ile sorgu yapar. Kapsama sahası içinde anons yapılan guruba üye bir telsiz var ise baz istasyonu kendi LA bilgisi ile birlikte Swmi'nin sorgusuna cevap verir. Swmi bu cevap doğrultusunda anonsu cevap veren baz istasyonuna iletir. Böylelikle farklı baz istasyonu kapsamasında bulunan telsizler bir birleri ile iletişim kurmuş olurlar.

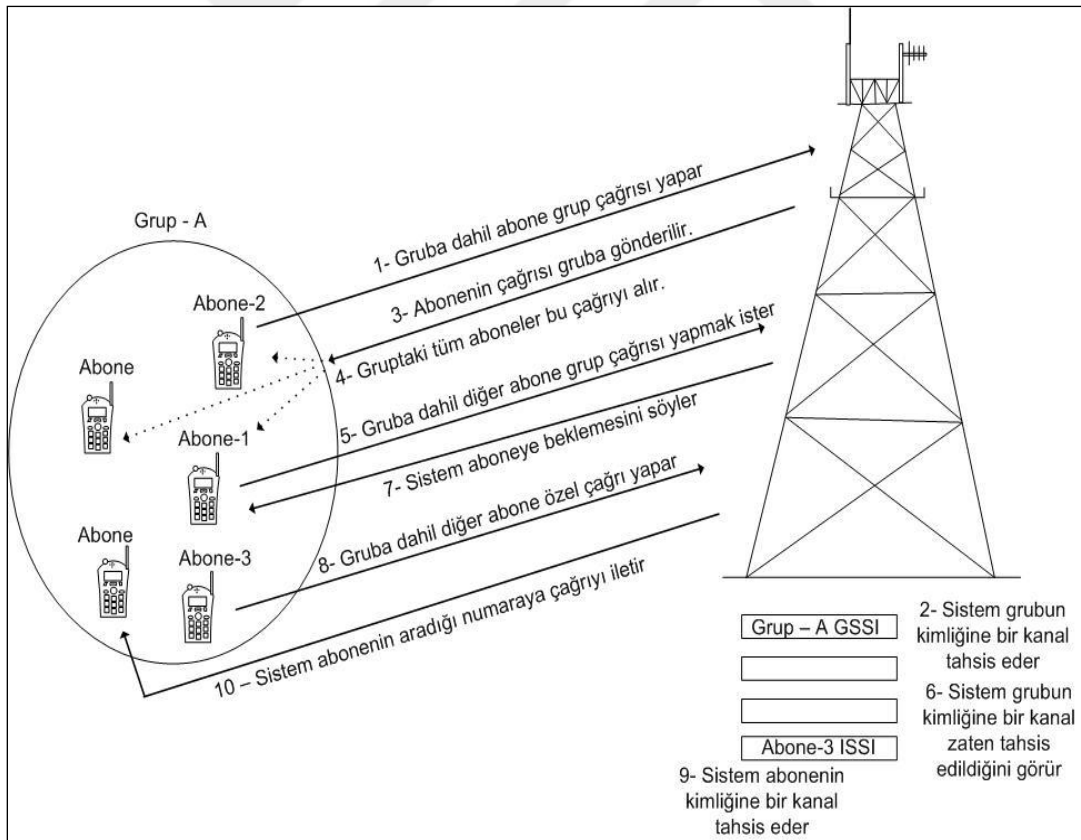
Birbirleri ile iletişim kuran telsizler, kapsamasında bulunduğu baz istasyonundan bir kanal meşgul eder. Bir baz istasyonu kapsamasında anons yapılan guruba üye bir telsiz bulunmadığı durumlarda

ilgili baz istasyonunda kanal tahsisı yapılmaz. Grup çağrıları genelde half-duplex çağrı olarak kullanılır ve aynı anda sadece bir üye guruba çağrı yapabilir.

2. Özel Çağrı (Private call)

Bir telsizde özel çağrı iki türlü yapılmaktadır. İlki telsize önceden tanımlanmış abonelere doğru yapılan çağrılar diğeri ise telsize önceden tanımlı olmayan abonelere doğru yapılan çağrılardır. Önceden tanımlanmış aboneler için telsiz rehberinden ilgili abone numarası seçilerek çağrı yapılır. Telsize tanımlı olmayan aboneler için çağrı yapılacak telsizin numarası tuşlanarak çağrı yapılır. Özel çağrılarda GSSI numarası yerine ISSI numarası kullanılır.

Özel çağrılar daha çok cep telefonu gibi full-duplex konuşma olarak kullanılmaktadır. Telsizin baz istasyonuna bağlanma şekli grup çağrılarında olduğu gibidir. Özel çağrı türünde telsizler birbiri ile iletişim kurarken baz istasyonunda iki kanal tahsis edilir.



Şekil 2.4: Grup çağrısı ve özel çağrı türlerinin şematik gösterimi

3. FREKANS PLANLAMA VE ÖN ÇALIŞMA VERİLERİ

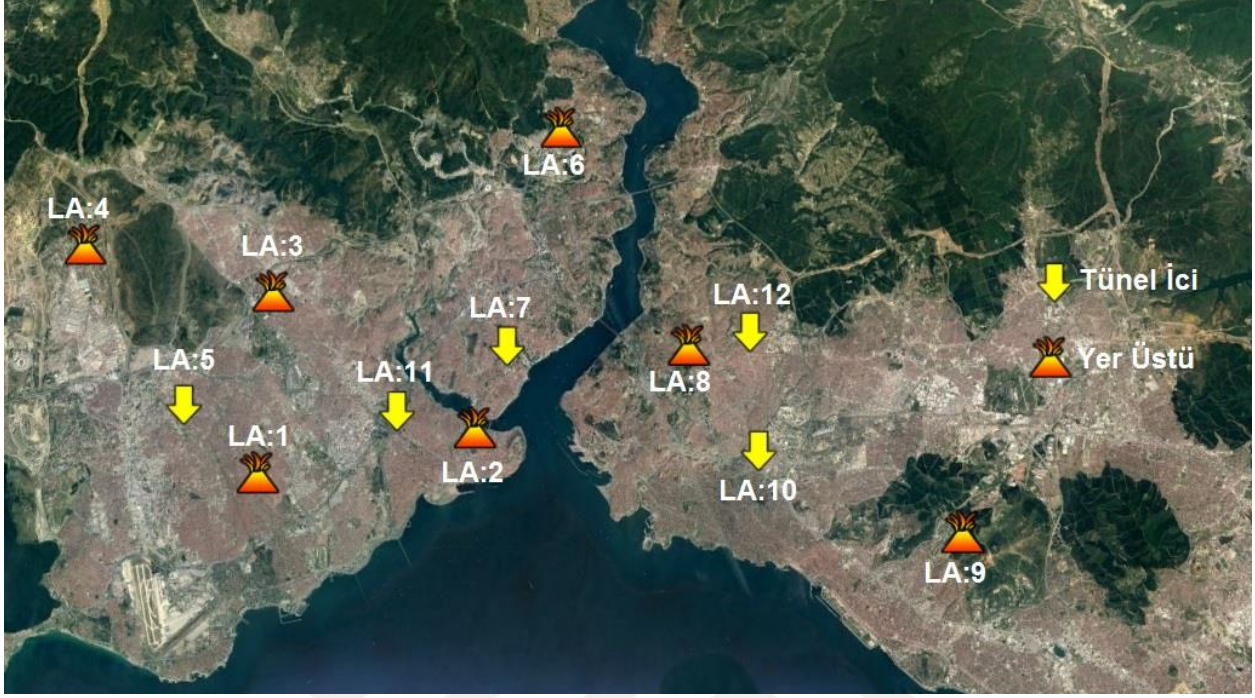
Günümüzde şehirleşmenin artması, kablosuz haberleşme istasyonlarının artmasına ve dolayısıyla frekanslar arası girişimin artmasına neden olmaktadır. Bu durum beraberinde dinamik frekans planlama kavramını gündeme getirmiştir. Bu konu ile ilgili özellikle GSM sektöründe akademik çalışmalar yapılarak farklı teoriler ortaya atılmıştır. Teoriler farklı olsa da aslında hepsinin ortak amacı sinyal girişimini (interferans) azaltmaktır.

Frekans planlama ilk bakışta basit gibi görünse de baz istasyonlarının konumu, baz istasyonu çıkış gücü, yayın yapan anten tipleri planlama işini karmaşık hale getirmektedir [4]. Bunların haricinde baz istasyonu erişim parametresi, sistem için kullanılmasına izin verilen frekanslar, sistemin kabul ettiği en yüksek girişim oranı değeri, baz istasyonları arasında komşuluk ilişkilerinin tanımlı olması, konuşma trafiği yoğunluğu, telsizin hangi baz istasyonlarından servis alabileceği gibi etkenler de frekans planlama işini zorlaştırmaktadır.

3.1 ÖN ÇALIŞMA VERİLERİ

Ülkedeki frekans kaynaklarının verimli kullanabilmesi için planlama, düzenleme ve tahsis işlerini yapan devlete bağlı kurumlar faaliyet göstermektedir. Ülkemizde bu faaliyeti yürüten devlet kurumu BTK' dır. BTK, 410-430 MHz bandında ve aralarında 25 KHz fark olan F1 – F28 arasındaki frekanslardan 20 tanesini uygulama yapılan sistem için tahsis etmiştir.

Uygulama yapılan sistemde toplam 12 tane baz istasyonu kullanmaktadır. Bu baz istasyonlarından 5 tanesi tünel için geri kalan 7 tanesi ise yer üstü kapsamı için kullanılmaktadır. Bu baz istasyonlarından bazıları arasında komşuluk ilişkisi tanımlanmıştır.



Şekil 3.1: Uygulama yapılan sistem'e ait baz istasyonları bölgeleri

Baz istasyonu kapsama alanlarını sınırlamak ve hand over sağlamak için her bir baz istasyonunda parametre ayarlamaları yapılmıştır. Bu sebeple baz istasyonlarına ait sayısal veriler farklılık göstermektedir.

Yer üstü kapsamayı sağlayan baz istasyonlarında omni ve yagi antenler tercih edilmiştir. Bu sebeple bazı bölgelerde birden fazla baz istasyonuna ait sinyaller görülmektedir. Tünel içi kapsama bölgeleri içinde özellikle Topkapı – Habipler hattına ait tünellere yer üstü kapsamasını sağlayan baz istasyonlarına ait sinyaller gelmektedir.

Baz istasyonları arasında anlık ihtiyaçları karşılamak için tanımlanan komşuluk ilişkileri frekans planlama işini daha da güçleştirmiştir.

Aşağıdaki tabloda Şekil 3.1' de gösterilen baz istasyonlarına ait detaylı bilgiler yer almaktadır.

Tablo 3.1: Baz istasyonlarına ait teknik detaylar

BTS no	Kanal sayısı	Mevcut frekanslar	Komşu BTS numarası	RXA (dBm)	Anten Tipi	Anten Yüksekliği (m)	BTS Marka Kodu	Yerüstü/ Tünel içi
1	7+1	F9 – F13	2, 3, 4	-95	Yagi - Omni	65	A	Yer üstü
2	7+1	F6 – F11	1, 3, 6, 7	-95	Omni	90	A	Yer üstü
3	7+1	F4 – F15	1, 2, 4, 11	-100	Omni	90	A	Yer üstü /Tünel içi
4	7+1	F5 – F10	1, 3, 5	-110	Omni	55	A	Yer üstü /Tünel içi
5	7+1	F1 – F17	4	-110	-	-	A	Tünel içi
6	7+1	F1 – F8	2, 7	-100	Omni	60	A	Yer üstü
7	7+1	F5 – F10	2, 6	-105	-	-	A	Tünel içi
8	7+1	F7 – F16	2, 9, 10	-100	Yagi	40	A	Yer üstü /Tünel içi
9	7+1	F14 – F17	8, 10	-100	Omni	60	A	Yer üstü /Tünel içi
10	7+1	F5 – F10	8, 9	-110	-	-	A	Tünel içi
11	3+1	F8	1, 2, 3, 5	-100	-	-	A	Yer üstü /Tünel içi
12	7+1	F1 – F9	-	-110	-	-	B	Tünel içi

Tablo 3.1’ de belirtilen 3 ve 4 nolu baz istasyonları tünel içi tekrarlayıcı sisteme direk bağlantı sağlarken 8 ve 9 nolu baz istasyonları off-air sistem ile tünel içine bağlantı sağlamaktadır. 11 nolu baz istasyonu ise tünel içi tekrarlayıcı sistem üzerinden yer üstüne kısmi sinyal göndermektedir. 12 nolu baz istasyonu diğer baz istasyonları markasından farklıdır ve iki farklı marka arasında ortak bir iletişim (ISI) bulunmamaktadır. Bu sebeple bu baz istasyonu ile diğer baz istasyonları arasında komşuluk ilişkisinin tanımlanması mümkün değildir.

3.2 FREKANS PLANLAMA KISITLARI

Frekans planlama yapılırken aynı zamanda RF optimizasyon çalışmasının da yapılması elzem bir durumdur. Zira frekans planlamadaki en önemli kısıt sinyal girişimi olarak tabir edilen interferans olayıdır. Bu tezde optimizasyon ile ilgili tavsiyeler verilecek olup optimizasyon çalışmalarına dair bir işlem yapılmayacaktır.

Frekans planlamadaki bir diğer önemli nokta ise frekans kaynağının verimli kullanılmasıdır. Bu hususta özellikle İstanbul’ da frekans kaynakları tükenmek üzere olduğu için baz istasyonları kapasitelerinin ihtiya a uygun belirlenmesi önem arz etmektedir.

3.2.1 Baz İstasyonu Kapasitelerinin İncelenmesi

Uygulama yapılan sisteme tahsis edilen 20 adet frekanstan 14 tanesi mevcut baz istasyonları için kullanılmaktadır. Geri kalan 6 tanesi ise yeni kurulacak 6 adet baz istasyonu için ayrılmıştır. Yeni kurulacak olan baz istasyonları da dikkate alındığında 20 adet frekans yetersiz kalmaktadır. Yeni frekans tahsisi yapılamadığı için mevcut frekansların en iyi şekilde kullanılması gerekmektedir. Bu sebeple öncelikli olarak baz istasyonu kapasitelerini optimize ederek gereksiz kullanılan frekansları ayırt etmek gerekmektedir. Bu iř için her bir baz istasyonunda konuşma trafiği analizi yapılarak baz istasyonları için gerekli kanal sayısı belirlenmelidir.

Günümüzde baz istasyonları kapasitelerini belirlemek için en çok tercih edilen yöntem Erlang hesaplarıdır. Literatürde Erlang formülleri, Erlang B ve Erlang C olmak üzere iki farklı kategoride incelenmektedir. Trafik kanallarının dolu olduğu durumda gelen çağrıları bloke etme mantığına dayalı formül Erlang B olarak ifade edilir ve daha çok GSM haberleşmesinde kullanılır. Gelen  ağrıları bloke etme yerine bekletme mantığını tercih eden yöntem ise Erlang C olarak bilinir. [5]

TETRA sistemi çağrı bekletme (call queuing) mantığına göre çalıştığı [6] için TETRA sisteminde trafik analizi yapılırken Erlang C formülü tercih edilmiştir.

Erlang C formülünde esas olan çağrı bekletme süresi ve bu süreye bağlı olarak çağrı bekletme olasılığıdır. Çağrı bekletme süresini belirleyen ise sistemde kullanılan trafik modelidir. Literatürde poisson ve binomal dağılımlı olmak üzere bilinen iki farklı trafik modeli vardır. [7] TETRA sistemi poisson dağılımlı trafik kullanmaktadır. [8] Poisson dağılımlı bir trafik için Erlang C bekletme olasılığı formülü Denklem 3.1’ de verilmiştir.

$$P_0 = \frac{A^N}{A^N + \left[N! * \left(\frac{N-A}{N} \right) * \sum_{X=0}^{N-1} \frac{A^X}{X!} \right]} \quad (3.1)$$

A: Trafik yoğunluğu (Erlang)

N: Kanal sayısı

$$A = U * \lambda * H * n \quad (3.2)$$

U: Baz istasyonu başına kullanıcı sayısı

λ : Hat meşgulde iken abone başına düşen çağrı talebi

H: Ortalama çağrı süresi

n: Bir grup çağrısı için kullanılan baz istasyonu sayısı

Erlang C hesabında P_0 normal bekleme süresi dâhilindeki bekleme olasılığını ifade etmektedir. Bekleme süresi normal süreyi aşması halinde çağrı bloke edilir. Bu bloke edilme olasılığı servis kalitesi (GoS, Grade of Service) olarak ifade edilir P_T ile gösterilir. P_T bağıntısı Denklem 3.3’ te verilmiştir.

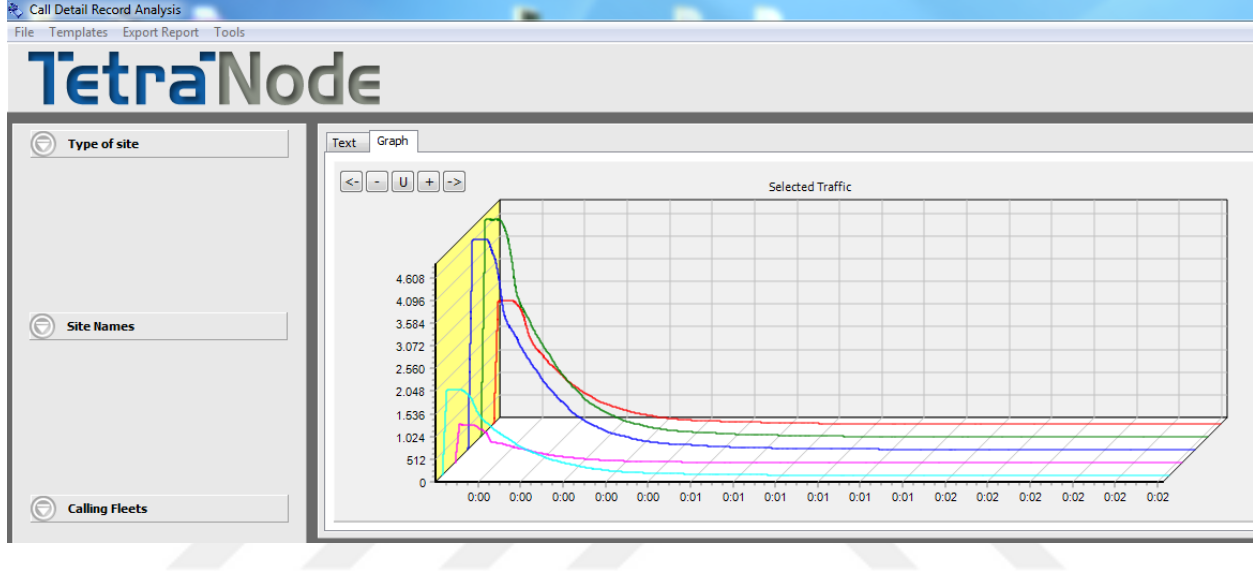
$$P(W > T) = P_T = P_0 * e^{\frac{(N-A)*T}{H}} \quad (3.3)$$

W: İlk giren ilk çıkar (FIFO) kuyruk modeline göre çağrı bekletme süresi

T: Kuyrukta bekleme süresi (saniye)

Standart bir telsiz haberleşme sisteminde GoS= %5 ve T= 5 sn olarak kabul görmektedir. [9]

Bu tezde telsiz üreticisi olan Rohill firmasına ait CDR Analysis yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım yukarıdaki formüllere göre uyarlanmış algoritma kullanmakta olup trafik yoğunluğunu (A) Erlang cinsinden gösteren bir grafik sunmaktadır.



Şekil 3.2: Rohill CDR Analysis yazılımının genel görünümü

Yazılım grafiğinde görülen trafik yoğunluğu değeri %5 GoS değeri altında Tablo 3.2' den tespit edilerek ihtiyaç duyulan kanal sayısı yaklaşık olarak bulunabilmektedir. Uygulama yapılan sistem 8 kanal yapısını kullanmaktadır. Tablo 3.2' de **[10]** %5 GoS değeri altında 8 kanallı bir sistem için önerilen en yüksek trafik değeri 3.87 olarak görülmektedir.

Tablo 3.2: Erlang C tablosu

Kanal sayısı	Çağrı bekletme olasılığı (%)							
	1	2	3	5	7	10	15	20
1	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.10	0.15	0.20
2	0.15	0.21	0.26	0.34	0.41	0.50	0.63	0.74
3	0.43	0.55	0.65	0.79	0.90	1.04	1.23	1.39
4	0.81	0.99	1.12	1.32	1.47	1.65	1.90	2.10
5	1.26	1.50	1.66	1.91	2.09	2.31	2.61	2.85
6	1.76	2.05	2.24	2.53	2.75	3.01	3.34	3.62
7	2.30	2.63	2.86	3.19	3.43	3.73	4.10	4.41
8	2.87	3.25	3.50	3.87	4.44	4.46	4.88	5.21
9	3.46	3.88	4.17	4.57	4.87	5.22	5.67	6.03
10	4.08	4.54	4.85	5.29	5.61	5.99	6.47	6.85
11	4.71	5.21	5.55	6.02	6.36	6.76	7.28	7.69
12	5.36	5.90	6.36	6.76	7.13	7.55	8.10	8.53
13	6.03	6.60	6.98	7.51	7.90	8.35	8.93	9.38

Uygulama yapılan sistemin kullanıcıları ile görüşülerek telsizlerin en yoğun kullanıldığı saatlerin genelde bayram günleri olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Bu sebeple 2019 yılı Ramazan Bayramına ait çağrı kayıtları alınarak analiz edilmiştir. Ayrıca bayram harici rastgele bir güne ait kayıtlar da karşılaştırma yapmak amacıyla alınarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre bulunan trafik değeri ve bu değere %5 GoS değeri altında karşılık gelen kanal sayısı Tablo 3.3’ te gösterilmiştir.

Tablo 3.3: Analiz sonucuna göre trafik değerleri ve % 5 GoS ile ortalama kanal sayısı

Tarih	04.06.2019		05.06.2019		06.06.2019		11.07.2019	
BTS no	Trafik Değeri	Kanal Sayısı	Trafik Değeri	Kanal Sayısı	Trafik Değeri	Kanal Sayısı	Trafik Değeri	Kanal Sayısı
1	3.33	8	4.10	9	3.58	8	1.66	4
2	5.38	11	6.14	12	5.38	11	2.75	7
3	6.02	11	7.04	13	6.14	12	3.20	7
4	4.99	10	5.89	11	5.12	10	2.56	7
5	1.28	4	1.41	5	1.15	4	0.83	4
6	2.30	6	2.69	7	2.18	6	1.41	5
7	3.46	8	3.97	9	3.33	8	1.98	6
8	2.18	6	2.30	6	2.43	6	1.15	4
9	1.28	4	0.77	3	0.77	3	0.77	3
10	1.41	5	1.53	5	1.38	5	0.85	4
11	2.43	6	2.56	7	2.94	7	1.34	5

Tablo 3.3’ teki 11 numaralı baz istasyonu 4 kanallı (3+1) olup geri kalan baz istasyonları ise 8 kanallı (7+1) olarak çalışmaktadır. Tablodaki verilere bakıldığında 5 ve 9 nolu baz istasyonlarının tek taşıyıcı ile trafiği kaldırabilecek yapıda olduğu görülmüştür. Özellikle 2, 3 ve 4 nolu baz istasyonlarının 8 kanallı yapısıyla % 20 GoS değeri üzerinde çalıştığı görülmüştür.

Metro hatlarının genişlemesi ile birlikte 5 nolu baz istasyonu üzerindeki trafiğin yakın zamanda artması beklenmektedir. Bu sebeple sadece 9 nolu baz istasyonunun 4 kanallı (tek taşıyıcılı) yapıda çalışabileceği uygun görülmüştür.

3.2.2 Sinyaller Arası Girişimin (interferans) İncelenmesi

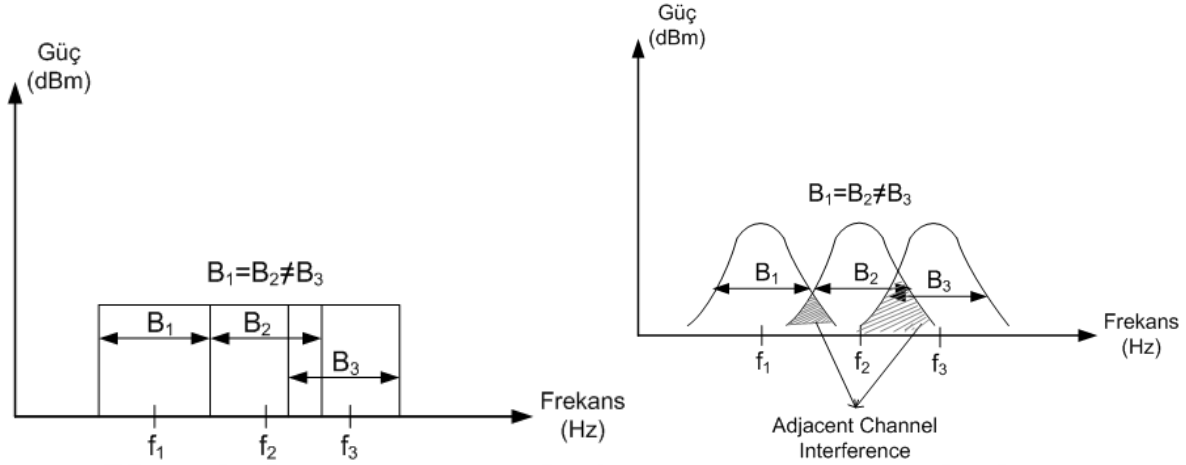
Girişim olayı kabaca istenmeyen sinyallerin istenen sinyali bozması olarak tarif edilebilir. Girişim olayı hem verici hem alıcı tarafta oluşabilmektedir. Baz istasyonundaki aktif ekipmanların ürettiği harmonikler verici tarafında sinyal girişimine neden olurken farklı baz istasyonlarından gelen sinyaller de alıcı tarafında girişime neden olmaktadır. Sinyal girişimi son kullanıcı tarafında gürültü, iki farklı gruptaki konuşmaların birbirine karışması ve baz istasyonu ile olan bağlantının kopması olarak görülebilmektedir. [11]

Sinyal girişimini en aza indirmenin yolu filtre devresinin iyi tasarlanmış olmasına ve frekans planının iyi yapılmış olmasına bağlıdır. Filtre seçimi yapılırken kalite faktörü ve sistemin band genişliği göz önüne alınmalıdır. Kritik ses haberleşmesinde genellikle kaviti tipi filtreler tercih edilmektedir.

Frekans planlama genelde alıcı taraftaki girişim olayını azaltmak için yapılmaktadır. Frekans planlama yapılırken ardışık kanala girişimi, ortak kanal girişimi ve komşu taşıyıcı girişimi olmak üzere 3 temel girişim göz önünde bulundurulmaktadır.

3.2.2.1 Ardışık kanal girişimi (Adjacent channel interference)

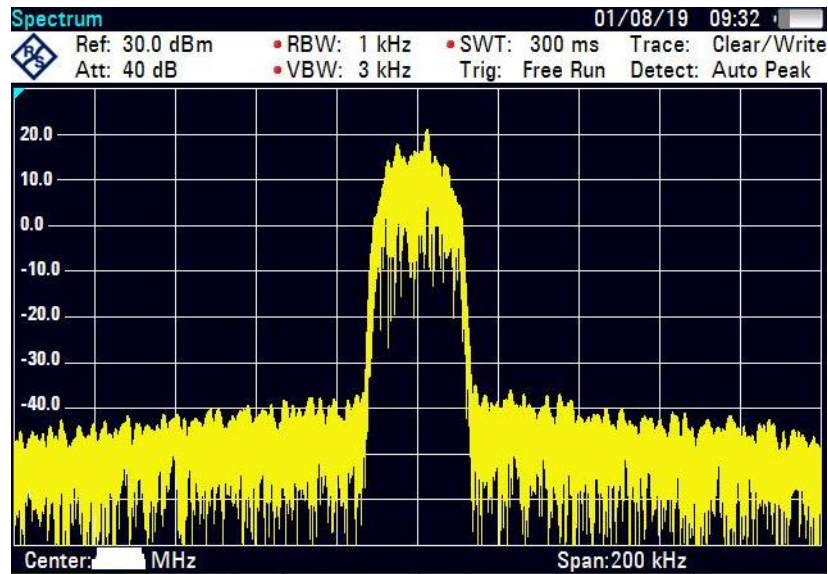
Temel olarak aynı sistem içerisinde aynı band genişliğine sahip ardışık iki frekansın girişimi olarak ifade edilmektedir. Bu durum kullanılan filtreleri ideal olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu durum haricinde farklı band genişliğine sahip farklı sistemlerin kullandığı frekanslar da ardışık kanal girişimine neden olmaktadır. Şekil 3.3' te B_1 ve B_2 aynı sistemi temsil ederken B_3 farklı bir sistemi temsil etmektedir.



Şekil 3.3: Ardışık kanal girişimi gösterimi (ideal filtre -uygulamadaki filtre)

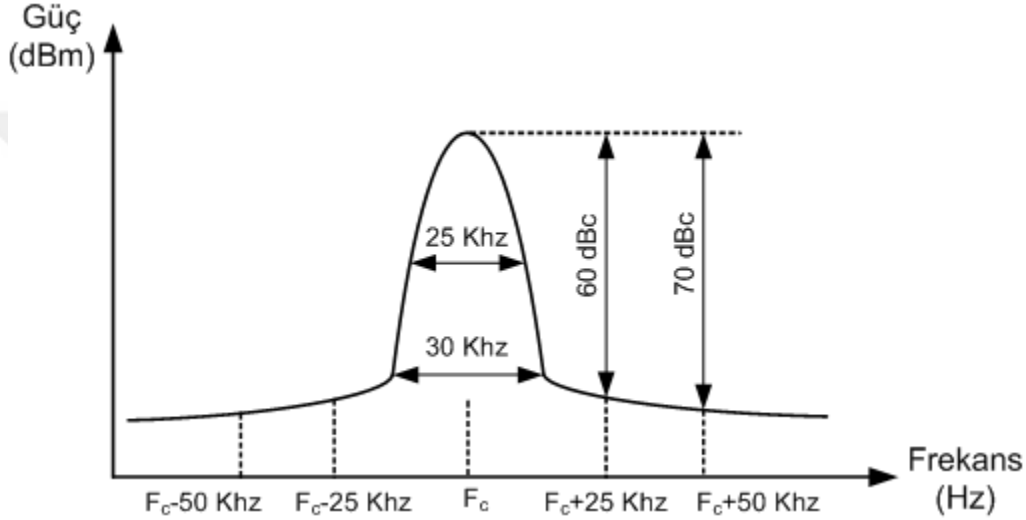
Ardışık kanal girişimi verici tarafında genelde kullanılan filtrenin kalite faktörü ve yükseltecin tam anlamıyla lineer olmamasından kaynaklanmaktadır. ETSI standartlarında verici tarafındaki bu girişimlerin kabul edilebilir sınır değerleri yakın band ve uzak band olmak üzere iki başlık altında tanımlanmaktadır.

Alıcı tarafındaki girişimi engellemek için koruma bandı atama yöntemi tercih edilmektedir. Koruma bandı atamak için kullanılan filtrenin kalite faktörünün bilinmesi gerekmektedir. Uygulama yapılan sisteme ait filtrenin spektrumu Şekil 3.4' te gösterilmiştir.



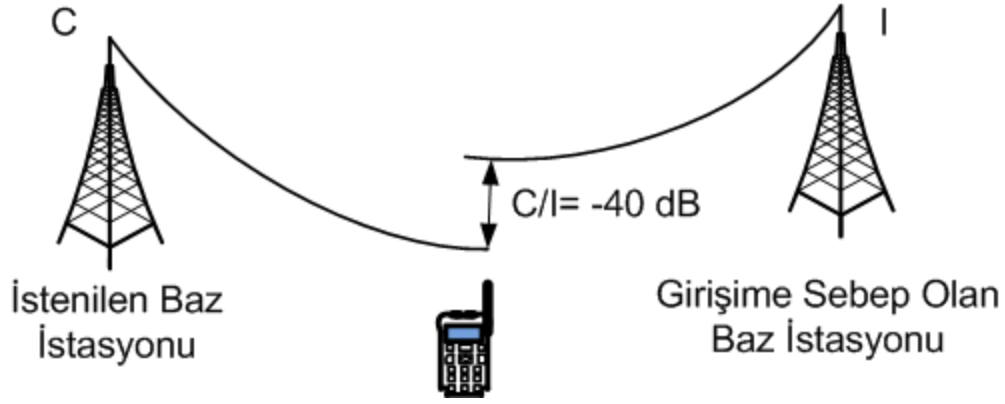
Şekil 3.4: Baz istasyonu filter çıkışı

ETSI, TETRA sisteminde verici tarafındaki ardışık kanal girişimi tanımlarında özellikle 25 KHz offset değeri üzerinde durmaktadır. 25 KHz offset değerindeki ardışık kanal gücünün -60 dBc olması tavsiye edilmektedir. Anlık olarak -45 dBc değerine kadar çıkması kabul edilebilir düzey olarak tanımlanırken -30 dBc değeri kabul edilemez seviye olarak tanımlanmaktadır. [6] Uygulama yapılan sisteme ait filtrenin 25 KHz ve 50 KHz offset değerlerindeki kanal gücü Şekil 3.5' te gösterilmiştir.



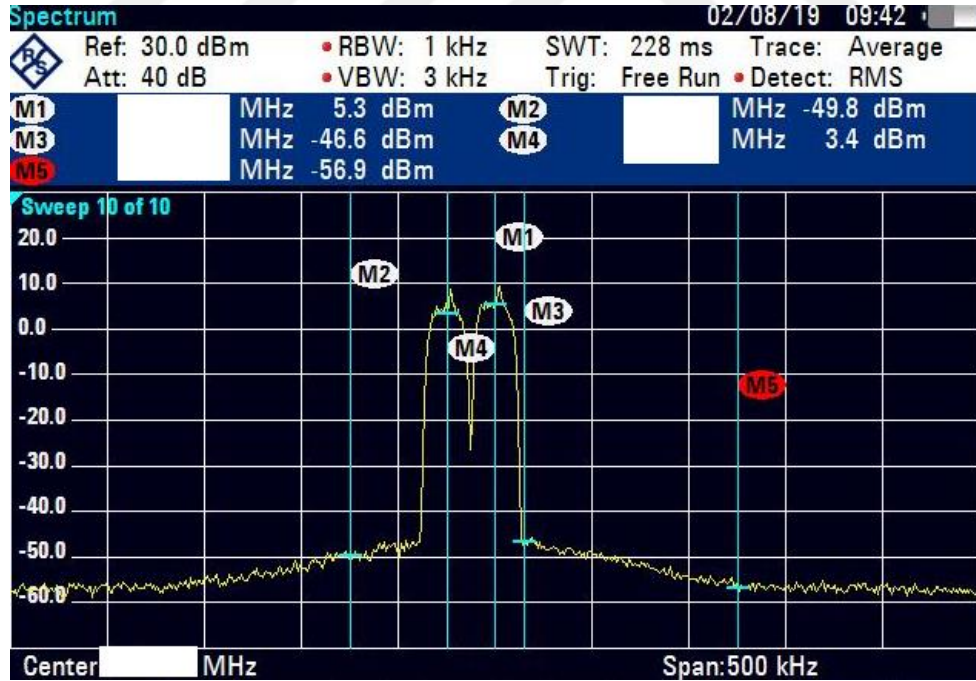
Şekil 3.5: Baz İstasyonu ardışık kanal güçleri

Alıcı tarafındaki girişim daha çok yakın-uzak etkisinden dolayı (near-far effect) oluşmaktadır. [12] Yakın-uzak etkisi kısaca alıcı cihazın istenmeyen baz istasyonuna yakın olmasından dolayı istenilen baz istasyonu sinyalinin daha düşük gelmesi olayı olarak tanımlanmaktadır. Bu etki daha çok farklı şebekelere ait baz istasyonu sinyallerinin olduğu bölgelerde ve komşu olmayan iki baz istasyonu arasında görünmektedir. Komşu olmayan iki baz istasyonu arasında yaşanan bu ardışık kanal girişimi için ETSI standartlarında sınır değeri $C/I_A = -40$ dB olarak kabul edilmektedir. [6] Diğer bir ifade ile girişime neden olan baz istasyonu sinyalinin gücü istenilen baz istasyonu sinyalinden en fazla 40 dB daha güçlü olabilir. (bkz. Şekil 3.6) Aynı şebekeye ait baz istasyonu sinyalleri arasında bir girişim yaşanması durumunda alıcının güçlü sinyale sahip baz istasyonuna geçiş yapması sağlanır (handover).



Şekil 3.6: TETRA ardışık kanal girişimi sınır değerinin gösterimi

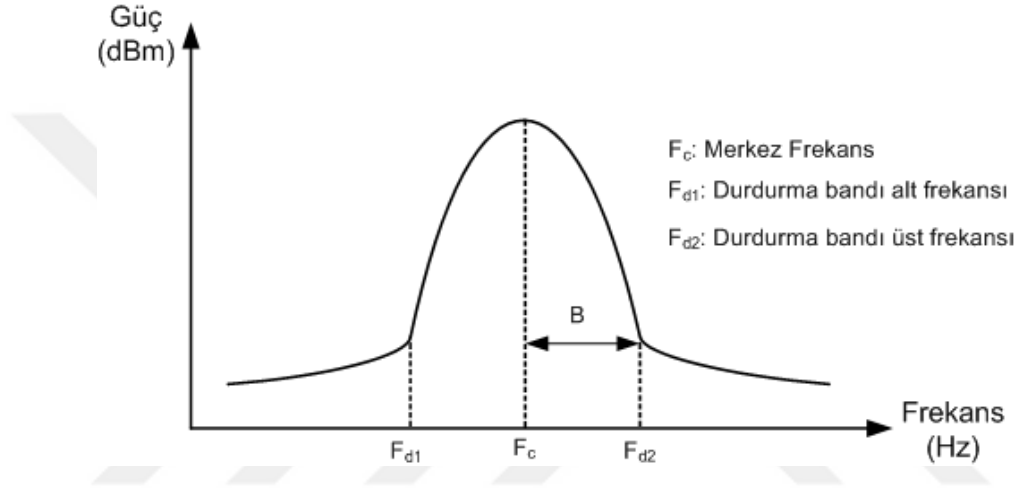
Standartlarda ardışık kanal girişimi için sınır değeri belirlenmiş olsa da 25 KHz offset için bu değerler bir anlam ifade etmemektedir. Şekil 3.7’ te de görüleceği üzere 25 KHz offset değerinde oluşan girişimin etkisi büyük olacaktır. Bu sebeple frekans planlama yapılırken ardışık iki kanal arasına 25 KHz koruma bandı atanması tavsiye edilmektedir. [13]



Şekil 3.7: 25 KHz offset değerinde oluşan sinyal girişimi

Yukarıdaki veriler ışığında alıcıya ulaşan frekanslar arasında en az 50 KHz frekans farkının olması ve girişime neden olan frekansın istenilen frekanstan en fazla 40 dB güçlü olması gerekmektedir.

Filtre kalite faktörünün düşük olması filtrenin geçiş bölgesindeki band genişliğini arttırmaktadır. Bu durum filtrenin durdurma bandının başladığı frekansın ötelenmesine neden olmaktadır (bkz. Şekil 3.8). Bu sebeple durma bandının başladığı frekans ile merkez frekans arasındaki band genişliği 25 KHz ve üzerinde olan durumlar için 25 KHz koruma bandı yetmeyecektir. Bu durumda frekans planı yapılırken Denklem 3.4’ teki bağıntı yardımı ile hesaplanan koruma bandı ataması yapılır.



Şekil 3.8: Durdurma bandı frekanslarının gösterimi

$$\text{Koruma Bandı} = 2 * (F_{d2} - F_c) ; B \geq 25\text{Khz} \quad (3.4)$$

Bu çalışmada kullanılan sistemin filtre devresinde $B < 25 \text{ KHz}$ olduğu için 25 KHz koruma bandı ataması yeterli olmuştur.

Mobil haberleşmede koruma bandı ataması yaparken doppler olayının etkisi de incelenmelidir. Doppler olayından dolayı frekans kayma miktarı Denklem 3.5’ te verilen bağıntı yardımı ile hesap edilmektedir.

$$f_d = v * \frac{f_c}{c} * \cos \theta_n \quad (3.5)$$

f_d : Doppler Frekansı

c : Işık Hızı

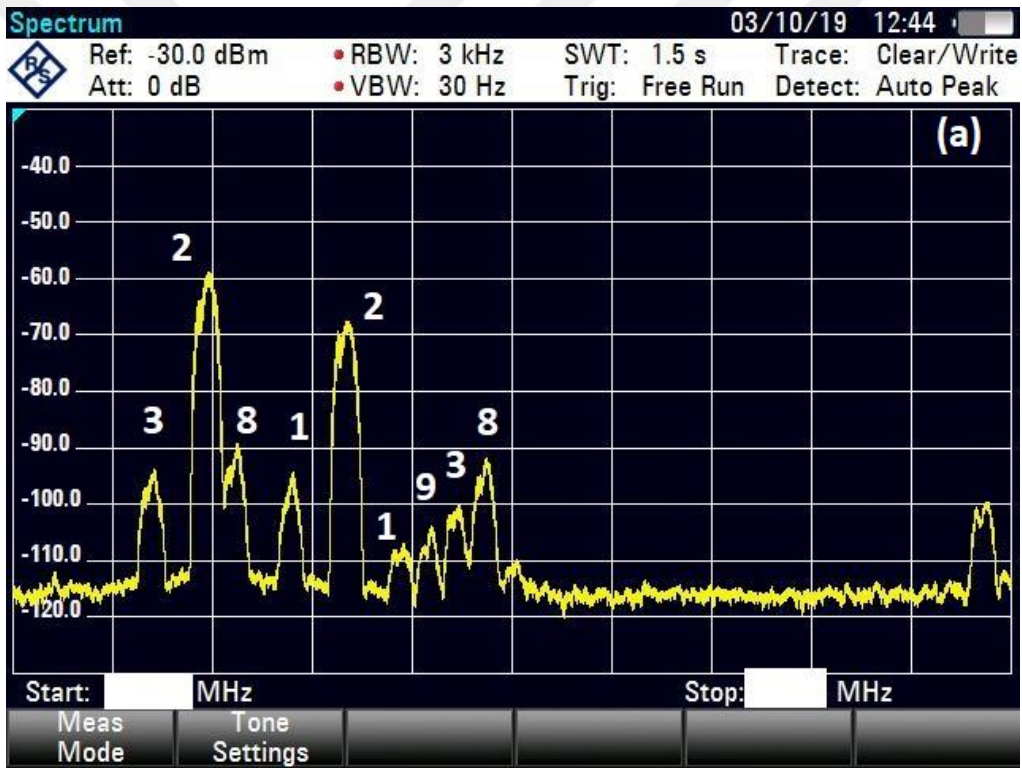
v : Mobil alıcı/verici hızı

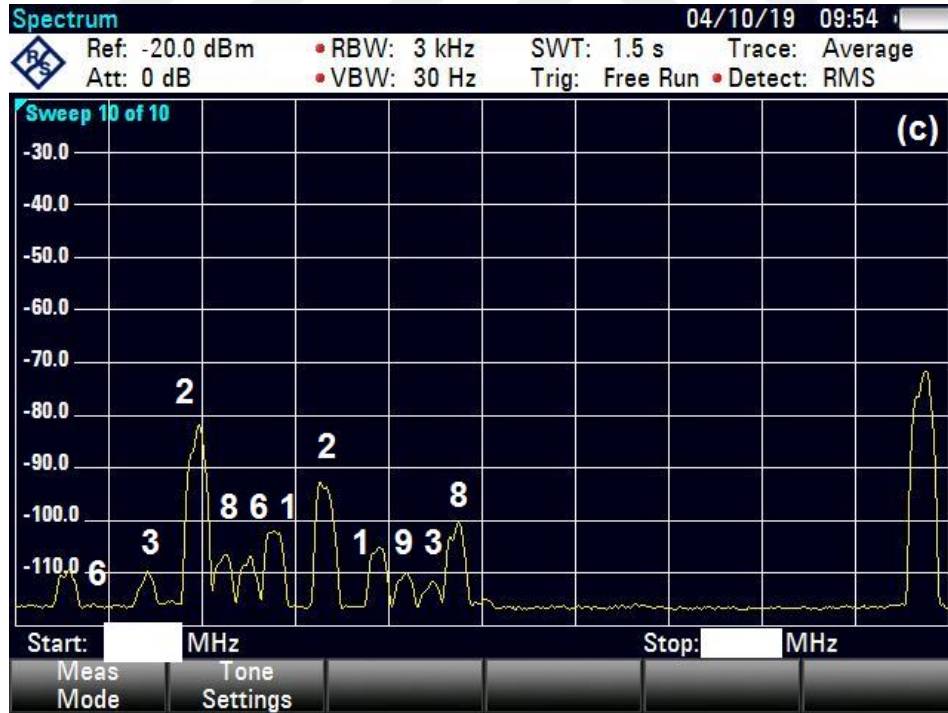
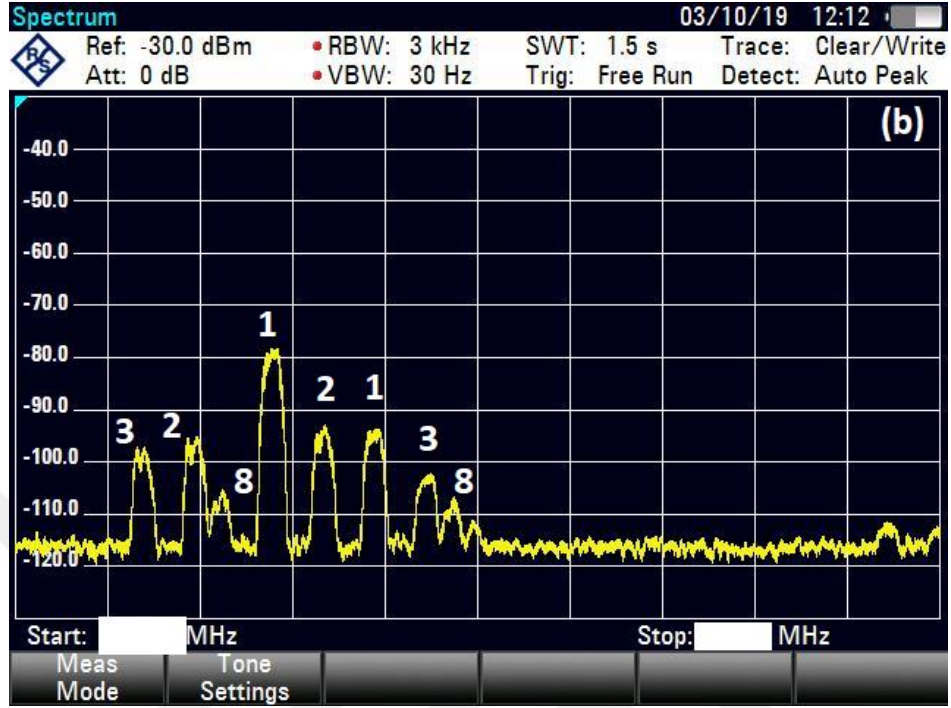
θ_n : Sinyalin geliş açısı

f_c : Verici merkez frekansı

Doppler frekansı en büyük değerini $\cos\theta_n = 1$ olduğu zaman alacaktır. Uygulama yapılan sistemde mobil alıcıların 90 km/sa hızla gittiği varsayılarak 410-430 Mhz frekans bandı için doppler frekansı denklem 3.5' ten yaklaşık 35 Hz olarak hesap edilmektedir. Bu değer koruma bandı için belirlenen 25 Khz değerinden çok küçük olduğu için bu çalışmada doppler etkisi ihmal edilmiştir.

Uygulama yapılan sistem telsiz sistemi kapsamındaki girişim analizini yapabilmek için görüş açısında (LoS) haberleşme yapılan bölgeler ile yansıyan dalgalarla haberleşmenin yapıldığı bölgelerde sinyal ölçümü alınmıştır. Şekil 3.9' da gösterilen resimler üzerindeki rakamlar LA numarasını ifade etmektedir.





Şekil 3.9: Girişim bölgelerinde alınan sinyal ölçümleri

3.2.2.2 Ortak kanal girişimi (Co - channel interference)

Aynı frekansın farklı baz istasyonlarında kullanılmasından kaynaklı bu girişim türü frekans tekrarı konusunda oldukça büyük öneme sahiptir. Sınırlı sayıdaki frekansları farklı baz istasyonlarında kullanabilmek için cluster size olarak tabir edilen frekans yeniden kullanım sabitini (re-use factor) hesaplamak gerekmektedir. Her sisteme göre farklılık gösteren bu sabit omni anten ve TDMA tekniği kullanan sistemler için Denklem 3.6' daki bağıntıya göre hesap edilmektedir. [14]

$$N_R = \frac{1}{3} \cdot \left[M \cdot K \cdot A \cdot \left(\frac{C}{I} \right)_T \right]^{\frac{2}{\alpha}} \quad (3.6)$$

N_R : Frekans yeniden kullanım sabiti

M : Slow fading için koruma marjini (dB)

K : Hücre şekli ve girişim oluşturan baz istasyonu sayısına bağlı değişken

A : Aktivite etkeni

α : Yayılım sabiti

$(C/I)_T$: Ortak kanal girişimi sınır değeri

TETRA standartlarında;

$\alpha = 3,5$; TU50 şartlarına göre

$K = 7$; TU50 ve $\alpha = 3,5$ şartlarına göre

$M = 6-12$ dB ; %90 kapsama olasılığı koşuluna göre 8 dB alınabilir

$(C/I)_T = 19$ dB

$A = 1$

Yeniden kullanım sabiti aynı zamanda baz istasyonu kapsama alanı yarıçapı ile ilişkilidir. Yeniden kullanım sabiti ve baz istasyonu kapsama alanı yarıçapı arasındaki bağıntı Denklem 3.7' de gösterilmiştir.

$$\frac{d}{r} = \sqrt{3 \cdot N_R} \quad (3.7)$$

d: Frekans tekrarı için gerekli en kısa mesafe

r: Baz istasyonu kapsama alanı yarı çapı

Baz istasyonu kapsama alanı yarıçapı link bütçesi ve alıcı hassasiyetine göre hesap edilmektedir. Link bütçesi baz istasyonu çıkışı gücü, anten kazancı, serbest uzay kaybı, anten yüksekliği ve anten tipi gibi değişkenlere bağlıdır. Bu sebeple her bir baz istasyonu farklı kapsama alanı sınırlarına sahip olabileceği için frekans tekrarı için gerekli en kısa mesafe baz istasyonlarına göre değişiklik gösterecektir.

Link bütçesi hesabı Denklem 3.8' deki bağıntıya göre yapılmaktadır.

$$R_x = T_x + G - (IL + L) \quad (3.8)$$

R_x: Alıcıya ulaşan güç

T_x: Baz istasyonu çıkış gücü

G: Anten Kazancı

IL: Insertion Loss (girişim kaybı), toplam kablo ve konektör kayıplarını ifade eder

L: Yol Kaybı

Bir baz istasyonunun kapsayabileceği alanın üst sınırını bulmak için R_x değeri alıcı hassasiyeti olarak seçilmektedir. Alıcı hassasiyeti TETRA standartlarında dinamik koşullarda -103 dBm olarak belirtilmiştir. [15]

Uygulama yapılan sistemde erişim parametresi (R_xA) değiştirilerek kapsama alanı her bir baz istasyonu için sınırlandırılmıştır (bkz. Tablo 3.1). Alıcıya ulaşan güç bu değer altında ise alıcı sistemden atılarak farklı baz istasyonuna bağlanması sağlanır.

Uygulama yapılan sistemde yerüstü kapsaması için 8 adet baz istasyonu kullanılmaktadır. Her bir baz istasyonu için R_xA değerleri farklı olduğundan kapsama alanı yarıçapı da farklı olmaktadır. Bu çalışmada her bir baz istasyonu için ayrı ayrı çalışma yapmak yerine referans olarak seçilen bir

baz istasyonunda bu hesaplama yapılmıştır. Referans olarak seçilen 2 nolu baz istasyonu diğer baz istasyonlarıyla en fazla etkileşime giren ve link bütçesi en yüksek olan baz istasyonudur.

2 nolu baz istasyonu için;

$$R_{xA} = -95 \text{ dB}$$

$$T_x + G - IL = 17 \text{ dB}$$

Denklem 3.7' deki bağıntıdan $L = 112 \text{ dB}$ olarak hesap edilmiştir.

Yol kaybı hesabı için geliştirilen formüller teorik ve deneysel olmak üzere iki farklı bölümde incelenmektedir. [16] Teorik formüller içinde en fazla tercih edilen serbest uzay kaybı formülüdür. Deneysel formüller içinde en fazla tercih edilen yöntem Hata – Okumura modelidir. Bu deneysel model Tokyo şehrinde üretildiği için formülün genel ifadesinde Tokyo şehrine göre belirlenmiş bir sabit kullanılmaktadır. Fakat bu sabit genelde ülkelere ve şehirlere göre değişik düzeltme faktörü gerektirebilmektedir. [17] Serbest uzay kaybı modeli, izotropik bir antenden çıkan dalgaların fizik kuralları gereği alıcıya ulaşırken boşlukta kaybettiği enerjiyi ifade etmektedir. Bu model alıcı ile verici arasında herhangi bir engel olmadığını ve bu sebeple yansımaların olmadığını varsayarak bir formül çıkartmıştır.

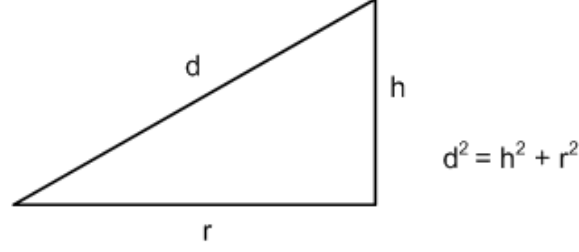
Referans olarak alınan 2 nolu baz istasyonu izotropik anten modelinin uygulamadaki şekli olan omni anten kullanılmaktadır. Bir antenden çıkan sinyalin alabileceği en uzun yol alıcı ile verici arasında hiçbir engelin olmadığı görüş ufku yoludur (Line of Sight, LoS). Bu bilgiler ışığında bu çalışmada yol kaybı olarak Denklem 3.8' de verilen serbest uzay kaybı formülü kullanılmıştır.

$$L = 32,4 + 20 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(d) \quad (3.9)$$

f: Mhz cinsinden verici frekansı

d: Km cinsinden alıcı ile verici arasındaki mesafe

Bu formülde verici ile alıcı arasında yükseklik farkının olduğu unutulmamalıdır. Bu sebeple alıcı ile verici arasındaki mesafe hesaplanırken Şekil 3.10' da açıklaması gösterilen Pisagor bağıntısı kullanılmalıdır.



Şekil 3.10: Pisagor bağıntısının gösterimi

Şekil 3.8’ deki bağıntıda $r \gg h$ olduğu durumlarda d mesafesi r mesafesine yakınsar. Bu sebeple bu çalışmada d yerine r mesafesi kullanılmıştır.

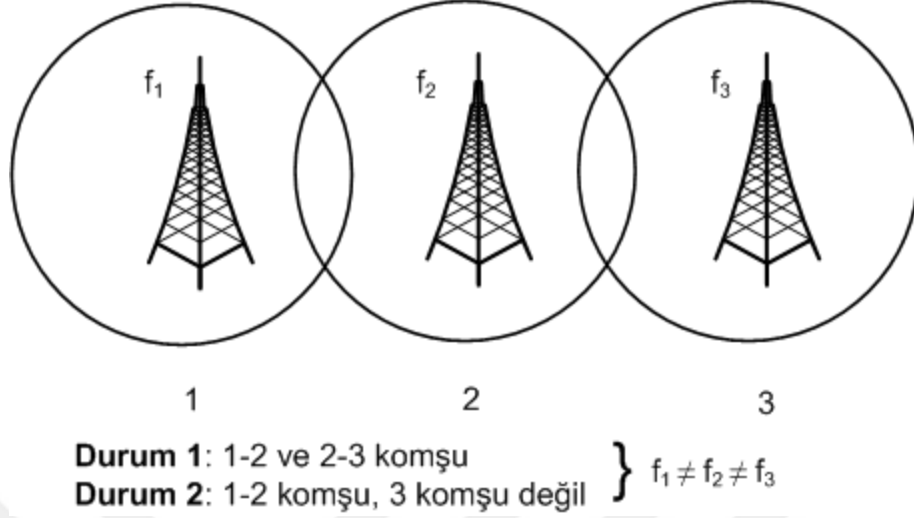
$f = 420$ Mhz ve $L = 112$ dB için Denklem 3.9’ dan $d = 22,9$ km olarak hesaplanmaktadır. Bu değer Denklem 3.7’ deki “ r ” değişkeninde denk gelmektedir.

Denklem 3.6’ daki yeniden kullanım sabiti TETRA standartları verilerine göre $N_R = 17,88$ olarak hesaplanmaktadır.

N_R değeri ve denklem 3.9’ dan hesap edilen baz istasyonu yarıçap değeri (r) değeri Denklem 3.7’ de yerine konulursa $d = 167,72$ km olarak hesap edilmektedir.

Yukarıdaki veriler ışığında 2 nolu baz istasyonuna atanan frekansın LoS haberleşmenin sağlandığı bölgelerde tekrar edilemeyeceği görülmektedir. Diğer baz istasyonlarına ait yol kaybı değeri 2 nolu baz istasyonuna göre en fazla 10 dB farklılık göstermektedir. Bu değer yeniden kullanım için gerekli mesafeyi 20 km civarına düşüremeyeceği için LoS olan bölgelerdeki baz istasyonu frekans değerleri tekrar edilemeyecektir. Aynı şekilde C/I_C değerinin 19 dB’ den daha az olduğu bölgelerde de frekans tekrarı yapılamayacaktır. Uygulama yapılan sistemde 1, 2, 3, 6, 8 ve 9 nolu baz istasyonları LoS bölgelerinde olduğu için ya da bu baz istasyonları arasında C/I_C değeri 19 dB altında olduğu için bu baz istasyonlarına tahsis edilen frekanslar bir birinden farklı olmalıdır.

Frekans tekrarıda diğer önemli husus ise komşuluk ilişkileridir. Komşu olmayan iki baz istasyonu aynı baz istasyonuna komşu ise komşu olmayan bu iki baz istasyonuna aynı frekans verilemez. Aynı şekilde aralarında komşuluk ilişkisi olan iki baz istasyonu kapsama sahasına komşu olmayan farklı bir baz istasyonu sinyali geliyorsa bu farklı baz istasyonuna ait frekans komşuluk ilişkisi olan baz istasyonları frekansından farklı olmalıdır (bkz. Şekil 3.11).



Şekil 3.11: Komşuluk ilişkilerine göre frekans atama

3.3 FREKANS PLANLANI YAPIMI

Günümüzde frekans kaynaklarının tükenmekte olduğu göz önüne alınarak frekans planlama yapılırken baz istasyonunda ihtiyaç duyulan frekans sayısının belirlenmesinin yanı sıra sinyaller arası girişim olayı da hesaba katılmalıdır. Başlık 3.1 ve 3.2’ de elde edilen bilgiler ışığında Uygulama yapılan sistemde ortak kanal girişimini engellemek için Tablo 3.4’ teki plana göre baz istasyonlarına frekans tahsisi yapılmalıdır. Bu tablodaki rakamlar rastgele bir frekans değerine tekabül etmektedir. Bu tabloda 1 – 14 arası kodlanan frekanslar $F_1 - F_{28}$ arası frekanslar arasından seçilerek frekans planlaması yapılacaktır. Her bir baz istasyonunda 2 adet frekansa ihtiyaç duyulduğu ve özellikle LoS bölgelerinde olan baz istasyonları için frekans ayrımının en az 50 Khz olması gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır.

Tablo 3.4: Frekans planlama referans tablosu

Frekanslar	Baz İstasyonu Numarası										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	X										
2	X										
3		X									
4		X									
5			X								
6			X								
7				X							
8				X							
9					X	X					
10					X	X					
11								X			
12								X			
13									X		
14											X
15							X			X	
16							X			X	

Tablo 3.5’ teki bilgiler yorumlanacak olursa;

- 1, 2, 3, 6, 8 ve 9 nolu baz istasyonları LoS bölgesinde olduğu için bu baz istasyonlarına ait frekanslar birbirinden farklı olmalıdır (bkz. Başlık 3.2.2.2)
- 4 nolu baz istasyonunun 1, 3 ve 5 nolu baz istasyonları ile komşuluk ilişkisi mevcuttur. Bu baz istasyonu ayrıca Şekil 3.11’ de gösterilen durum 2’ deki koşulları sağladığından bu baz istasyonuna ait frekans 2, 6, 8, 9 nolu baz istasyonlarına ait frekanslardan farklı olmalıdır. Ayrıca bu baz istasyonu arada komşuluk ilişkisi olmamasına rağmen 11 nolu baz istasyonu ile type-1 handover yapmaktadır. Dolayısıyla 4 ve 11 nolu baz istasyonları frekansları da birbirinden farklı olmalıdır.
- 5 nolu baz istasyonu 4 nolu baz istasyonu ile benzer koşulları sağlamaktadır.
- 6 nolu baz istasyonunun 2 ve 7 nolu baz istasyonları ile komşuluk ilişkisi mevcuttur. Bu baz istasyonu ayrıca 11 nolu baz istasyonu ile type-1 handover yapmaktadır. Bu sebeple bu baz istasyonu Los bölgelerindeki baz istasyonları, 7 nolu baz istasyonu ve 11 nolu baz istasyonu ile farklı frekanslara sahip olmalıdır. Diğer yandan 4 ile 6 numaralı baz istasyonu birbiri ile etkileşim içinde olduğu Şekil 3.11’ de gösterilen durum-2 gereği 5 ve 6 nolu baz istasyonlarına ait frekanslar normalde birbirinden farklı olmalıdır. Fakat bu etkileşim sadece bir bölgede olduğu ve bu sorun telsizlerde yapılan konfigürasyonla aşıldığı için bu iki baz istasyonuna aynı frekans verilebileceği öngörülmüştür.
- 7 nolu baz istasyonunun 2 ve 6 nolu baz istasyonları ile komşuluk ilişkisi mevcuttur. 6 nolu baz istasyonu ile olan komşuluk ilişkisinden dolayı Şekil 3.11’ de gösterilen durum-2’ deki koşulları yaşamaktadır. Ayrıca bu baz istasyonu sadece bir bölgede LoS bölgesine de girdiği için bu baz istasyonuna atanacak frekans LoS bölgesindeki frekanslarından farklı olmalıdır.
- 10 nolu baz istasyonu 7 nolu baz istasyonu ile benzer koşulları sağlamaktadır.
- 9 nolu baz istasyonu için yapılan trafik analizinde tek taşıyıcı ile hizmet verebileceği tespit edilmiştir (bkz. Tablo 3.3). Bu sebeple bu baz istasyonuna tek frekans ataması yapılmıştır.

- 11 nolu baz istasyonu 1, 2, 3 ve 5 nolu baz istasyonları ile komşuluk ilişkisi mevcuttur. Bu baz istasyonu ayrıca Şekil 3.11' deki durum-2' de belirtilen koşulları da sağlamaktadır. Bu sebeple bu baz istasyonuna ait frekans diğer baz istasyonlarına ait frekanslardan farklı olmalıdır.

Girişim olayı daha çok alıcıda algılanan frekanslar arasında yaşanmaktadır. Bu sebeple telsiz hangi frekanslardan alış yapabileceği bilgisi girilirse girişim olayı için yapılan frekans planı daha verimli olacaktır.

Tablo 3.4' teki frekans kodlarına frekans tahsis edilirken Başlık 3.2.2.1' deki ardışık kanal girişimi bilgileri göz önünde bulundurulmalıdır. Aralarında komşuluk ilişkisi olan baz istasyonlarına ait sinyaller girişim sınır değerine ulaşmadan önce telsizler hand over yapmaya zorlanmalıdır. Arada bir komşuluk ilişkisi yok ise baz istasyonlarında çıkış gücü ayarlaması yapılmalıdır.

Frekans planlama yapılırken unutulmaması gereken bir diğer önemli nokta ise Şekil 3.9' dan de görüleceği üzere yüksek frekansların daha fazla zayıfladığıdır. Ayrıca LoS bölgesinde 25 Khz offset değerinde girişim yaşanmaması için LoS bölgesindeki baz istasyonlarına ait frekanslar arasında 50 Khz frekans farkının olması gerekmektedir.

Yukarıdaki bilgiler ışığında Tablo 3.4' teki frekans kodlarına tablo 3.5' te belirtilen şekilde frekans tahsis yapılmıştır.

Tablo 3.5: Komşu kanal girişimine göre frekans tahsisi

Baz İstasyonu Numarası										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X										
X										
	F ₁₁									
	F ₉									
		X								
		X								
			F ₁₄							
			F ₁₆							
				F ₅	F ₅					
				F ₇	F ₇					
							F ₁₃			
							F ₁₅			
								F ₁₇		
										F ₁
						F ₄			F ₄	
						F ₆			F ₆	

Tablo 3.5 yorumlanacak olursa;

- 9 nolu baz istasyonu sinyalinin Avrupa yakasına daha düşük değerde ulaşması girişim olan bölge sayısını azaltacaktır. Bu sebeple 9 nolu baz istasyonuna F_{17} frekansı tahsis edilmesi önerilmektedir.
- 11 nolu baz istasyonu sinyalinin kapsadığı hattın özelliğinden dolayı daha az zayıflaması istenilmektedir. Bu sebeple 11 nolu baz istasyonuna F_1 frekansının tahsis edilmesi önerilmektedir.
- 8 nolu baz istasyonu sinyalinin Avrupa yakasına daha düşük değerde ulaşması için bu baz istasyonunda yönlü anten kullanılmıştır. Fakat yönlü anten ışıma diagramından dolayı bu baz istasyonu sinyali Anadolu yakasına ulaşmaktadır. Bunun etkisini azaltmak için 9 nolu baz istasyonu için tahsis edilen frekansa en az 50 Khz uzaklıktaki ve 9 nolu baz istasyonuna ait frekanstan sonraki en yüksek frekans olan $F_{13} - F_{15}$ frekanslarının tahsis edilmesi önerilmektedir.
- 2 nolu baz istasyonu hem Anadolu hem Avrupa yakasında en fazla etkileşim içinde olan baz istasyonudur. Bu sebeple bu baz istasyonuna yüksek frekans tahsisi gerekmektedir. LoS bölgesindeki diğer baz istasyonlarına tahsis edilen frekanslardan 50 Khz uzaklıktaki ilk frekans çifti olan $F_9 - F_{11}$ frekansları bu baz istasyonuna tahsis edilmesi önerilmektedir.
- 6 nolu baz istasyonu LoS bölgesinde olduğu için etkileşim içinde olduğu 2, 8, ve 9 nolu baz istasyonlarına ait frekanslardan en az 50 Khz uzaklıkta olmalıdır. Bu sebeple 6 nolu baz istasyonu için $F_5 - F_7$ frekans çiftinin tahsis edilmesi önerilmiştir.
- 4 nolu baz istasyonu 2 ve 5 nolu baz istasyonları ile etkileşim içerisindedir. Bu sebeple 4 nolu baz istasyonuna F_4 , F_6 ve F_{10} frekanslarının tahsis edilmesi tavsiye edilmemektedir. Bu sebeple 4 nolu baz istasyonuna $F_{14} - F_{16}$ frekans çiftinin tahsis edilmesi önerilmektedir.

- 7 nolu baz istasyonu 2, 3, 8 ve 9 nolu baz istasyonları ile etkileşim halindedir. Bu sebeple 7 nolu baz istasyonuna etkileşim halinde olduğu baz istasyonları frekansına en az 50 Khz uzaklıkta olan bir frekans tahsis yapmak gerekmektedir. Bu baz istasyonu için $F_4 - F_6$ frekans çiftinin kullanılması tavsiye edilmektedir.
- LoS bölgesindeki baz istasyonu sinyalleri ile etkileşim içinde olan 1 ve 3 nolu baz istasyonlarına ardışık kanal girişimini engelleyebilecek bir frekans tahsisi yapılamamıştır.



4. ANALİZ VE YORUMLAR

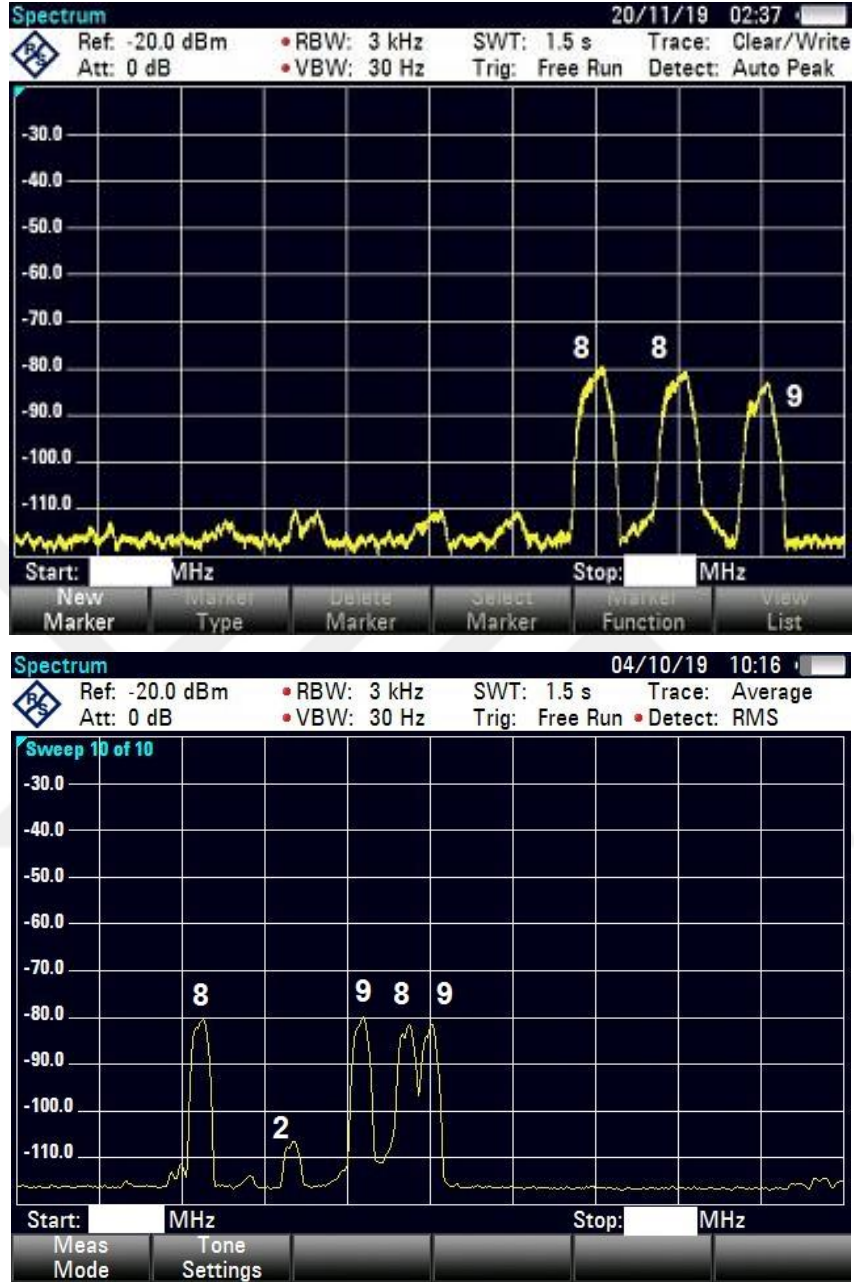
TETRA sisteminin genel çalışma mantığı ve ETSI kurumunun bu konu hakkında yazmış olduğu standart dokümanlar çerçevesinde uygulama yapılan sistem incelenerek analiz edilmiştir. Elde edilen bilgiler çerçevesinde mevcut sistemde ortak kanal girişiminin yaşanmadığı fakat ardışık kanal girişiminin yoğun olarak yaşandığı gözlemlenmiştir.

Yeni yapılacak frekans planında ortak kanal girişiminin yaşanmaması için yer üstü kapsamasını sağlayan baz istasyonlarına farklı frekans tahsis edilmesi gerektiği tespit edilmiştir (bkz. Tablo 3.4).

BTK tarafından uygulama yapılan sisteme tahsis edilen frekanslar Tablo 3.1’ de gösterilmiştir. Ardışık kanal girişimi yaşanmaması için bu frekansların Tablo 3.5’ teki gibi tahsis edilmesi gerektiği tespit edilmiştir. BTK tarafından tahsis edilen ve henüz kullanımda olmayan F_{21} , F_{23} , F_{24} , F_{25} , F_{26} ve F_{27} frekansları yeni kurulacak yer üstü baz istasyonlarına tahsis edileceği için bu tezdeki çalışmada plana dahil edilmemiştir. Yeni kurulacak bu baz istasyonları diğer baz istasyonları ile aynı LoS bölgesinde olacağı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada frekans planı yapılırken girişim olaylarının yanı sıra kapsama alanları kesişim bölge sayısını azaltarak aşırı handover kaynaklı sorunların önüne geçilmesi de hedeflenmiştir.

Frekans planlama çalışmasının simülasyon sonucu Şekil 4.1’ de gösterilen ölçüm spektrum grafiği elde edilmiştir. Grafikte 8 ve 9 nolu baz istasyonları arasında belirgin bir şekilde yaşanan ardışık kanal girişiminin planlama sonrasında yaşanmadığı görülmektedir.



Şekil 4.1: Frekans planlama öncesi (üstte) ve frekans planlama sonrası (altta) aynı noktadan alınan sinyal ölçüm sonuçları

Sonuç olarak uygulama yapılan sistemde kapsamlı frekans analizi yapılarak RF optimizasyon çalışmasının ve BTK üzerinden yeni frekans talebi yapılmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır.

5. SONUÇ

Girişim olayları için gerekli sınır koşulları ve Tablo 3.1’ deki bilgiler dikkate alınarak elde edilen Tablo 3.4 ve Tablo 3.5’ teki veriler neticesinde analiz edilen sistemde frekans planı yapılamayacağı tespit edilmiştir. Frekans planı için LoS bölgelerinin azaltılması ve BTK kurumu üzerinden yeni frekans başvurusu yapılması gerektiği tespit edilmiştir. Mevcut frekans planı üzerinden devam edilmesi durumunda girişim yaşanan bölgelerde telsiz çekme sorunu ve aşırı handover probleminin devam edeceği bilgisine ulaşılmıştır.



6. REFERANSLAR

- [1] K. I. Aardal, S. P. van Hoesel, A. M. Koster, C. Mannino ve A. Sassano, «Models and solution techniques for frequency assignment problems,» *Springer*, cilt 153, no. 1, pp. 79-129, 2007.
- [2] T. Jarvinen, *Location System solution in TERrestrial Trunked RADio (TETRA) Professional Mobile Radio*, Espoo: Finland, 2010.
- [3] J. Dunlop, D. Girma ve J. Invine, «The Physical Layer,» *Digital Mobile Communications and the TETRA System*, West Sussex, John Wiley&Sons, 1999, pp. 206-220.
- [4] R. C. Santiago, A. Raymond ve V. Lyanders, «Enhanced Efficiency and Frequency Assignment by Optimizing the Base Station Location in a Mobile Radio Network,» *Springer*, cilt 14, no. 4, pp. 531-541, 2008.
- [5] W. Webb, «The Basics of Mobile Radio,» *The Complete Wireless Communications Professional: A Guide for Engineers and Managers*, Norwood, Artech House, 1999, pp. 34-37.
- [6] EN 300 392-2 V2.3.2, «Voice plus Data (V+D) Part 2: Air Interface (AI),» ETSI, Sophia Antipolis, 2001.
- [7] V. Garg, «Teletraffic Engineering,» *Wireless Communications & Networking*, San Francisco, Morgan Kaufmann Publishers, 2007, pp. 38-43.
- [8] TR 102 300-2 V1.2.1, «Voice plus Data (V+D) Designer Guide Part 2: Radio channels, network protocols and service,» ETSI, Sophia Antipolis, 2013.
- [9] P. Stavroulakis, «TETRA Providing an Acceptable Security,» *Terrestrial Trunked Radio - TETRA A Global Security Tool*, Berlin, Springer, 2007, pp. 52-55.

- [10] J. Dunlop, D. Girma ve J. Irvine, «Erlang C Table (For Blocked Calls Queued),» *Digital Mobile Communications and the TETRA System*, West Sussex, John Wiley&Sons, 1999, p. 425.
- [11] I. Stojmenovic, «Interference in Cellular System,» *Handbook of Wireless Networks and Mobile Computing*, Newyork, John Wiley&Sons, 2002, pp. 52-53.
- [12] J. Nachtigall, A. Zubow ve J. P. Redlich, «The Impact of Adjacent Channel Interference in Multi-Radio Systems using IEEE 802.11,» *International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, Crete Island, Greece, 2008.
- [13] J. Dunlop, D. Girma ve J. Irvine, «Interference to Other System,» *Digital Mobile Communications and the TETRA System*, West Sussex, John Wiley&Sons, 1999, p. 249.
- [14] Electronic Communications Committee, «Spectrum Efficiency of CDMA-PAMR and Other Wideband Systems for PMR/PAMR,» Electronic Communications Committee, Granada, 2004.
- [15] ETR 300-1, «Voice plus Data (V+D); Designer's guide; Part1: Overview,technical description and radio aspects,» ETSI, France, 1997.
- [16] A. Oyubu, «A Comparative Study of Free Space and Okumura-Hata Models in GSM Signal Path Loss Prediction in South-South Nigeria,» *International Journal of Advancements in Research & Technology*, cilt 5, no. 5, pp. 34-44, 2016.
- [17] M. Farhoud, A. El-Keyi ve A. Sultan, «Empirical correction of the Okumura-Hata model for the 900 MHz band in Egypt,» *The 3rd International Conference on Communications and Information Technology*, Beirut, 2013.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :

E-posta :

ÖĞRENİM DURUMU:

MESLEKİ DENEYİM:

YAYINLAR: