T.C.

Radyo ve Televizyon Üst Kurulu

SAYISAL KARASAL TELEVİZYON YAYINCILIĞININ PLANLANMASINA İLİŞKİN KRİTERLER

UZMANLIK TEZİ

Yasin YİĞİT

ANKARA

OCAK 2012

T.C.

Radyo ve Televizyon Üst Kurulu

SAYISAL KARASAL TELEVİZYON YAYINCILIĞININ PLANLANMASINA İLİŞKİN KRİTERLER

UZMANLIK TEZİ

Yasin YİĞİT

DANIŞMAN

Üst Kurul Uzmanı

Cumhur BERİK

ANKARA

OCAK 2012

Radyo ve Televizyon Üst Kurulu Baıkanlığına

Bu çalıışma, Tez Değerlendirme Komisyonu tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Uzmanlık Tezi olarak kabul edilmiıtir.

	Adı Soyadı	İmza
Baıkan	:	
Üye	:	
Üye	:	
Üye	:	
Üye	:	
Üye	:	
Üye	:	

ONAY

é /é /20..

Üst Kurul Baıkanı

TEZ TESLİM TUTANAĞI VE DOĞRULUK BEYANI

Radyo ve Televizyon Üst Kurulunda görev yapan Uzman Yardımcısı olarak, Radyo ve Televizyon Üst Kurulu Uzman Yardımcılığına Giriş ve Yeterlilik Sınavları ile Uzmanlığa Atanma, Yetiştirilme, Görev, Yetki ve Çalışma Usul ve Esasları Hakkında Yönetmeliğe istinaden çıkartılan Radyo ve Televizyon Üst Kurulu Tez Hazırlama Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum uzmanlık tezi ilişikte sunulmuştur.

Bu uzmanlık tezindeki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak toplayıp sunduğumu; bu kural ve ilkelerin gereği olarak, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce ve sonuçları andığımı ve kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

Bilgilerinizi ve gereğini arz ederim.

é /01/2012

Yasin YİĞİT
Üst Kurul Uzman Yardımcısı

Uzmanlık Tezinin Adı:
Sayısal Karasal Televizyon Yayıncılığının Planlanmasına İlişkin Kriterler

Tezi Teslim Alan

Personel Dairesi Başkanı

ÖNSÖZ

Karasal televizyon yayınlarının sayısallaşmasıile ülkemizde kangrenleşmiş bir sorun olan frekans karmaşasıve yayıncıların birbirini enterfere etmeleri konusu çözüleceği öngörülmektedir. Daha az verici ile aynı kapsamalar sağlanacak ve sayısal teknoloji ile iletim yapan vericiler bugünkü analoglara kıyasla aynı kapsama alanıiçin 10 kata kadar daha az enerji harcayacaktır.[1] DVB-T ile bir kanaldan 4 adet servisin iletilebileceği düşünülürse 40 kat enerji tasarrufu sağlanmış olacaktır. DVB-T2 ile bu enerji tasarrufu, alış moduna ve yayın içeriğine göre değişken planlama parametreleri dikkate alındığında 150 kata kadar çıkabilecektir. Şehirlerimizde yüksek tepelere konuşlanmış onlarca antenin ortadan kalkarak bir-iki antenden yayınların yapılmasısuretiyle hem ulusal kaynaklarımız verimli kullanılmış olacak, hem de çirkin görüntüler ortadan kalkmış olacaktır.

Avrupa ve dünyada frekans kullanımı yönünden benzeri olmayan ülkemizde karasal ortamdan sayısala geçiş çok gerekli ve yararlı olacağından diğer ülkelerle birlikte hatta özel durumumuz nedeniyle çok daha önce DVB-T'ye geçilmesi gerekiyordu ancak bir takım nedenlerden dolayı DVB-T'ye geçiş sağlanamadı.

Ancak günümüze gelindiğinde artık dünya genelinde sayısal yayıncılığa geçişin getireceği avantajlardan çok sayısal yayıncılığa geçişte teknoloji olarak DVB-T ile DVB-T2 arasında yapılacak olan tercih tartışılmaktadır. Teknik olarak her açıdan daha üstün özelliklere sahip olan ve günümüzde en gelişmiş sayısal karasal televizyon yayıncılık teknolojisi olan DVB-T2, özellikle Avrupa'da hemen hemen bütün ülkeler tarafından kabul görmektedir. Ancak Avrupa'da birçok ülke halihazırda DVB-T'ye geçişi kısmen veya tamamen gerçekleştirmiştir ve bu ülkeler DVB-T2'ye geçiş aşamasında mevcut verici altyapısını ve alıcı sistemlerinin revize edilmesi için gerekli harcamaların yüksek olmasınedeniyle geçiş için tereddüt içinde kalmıştır. Günümüzde DVB-T'den DVB-T2'ye geçişi refah düzeyi yüksek olan İngiltere ve bazı İskandinav ülkeleri gerçekleştirmiştir.

[1] Burada analog yayın alıcısıile DVB-T'deki sabit alış karşılaştırılmıştır.

Bu başlamda ülkemizin DVB-T'ye geçiş yapamamasından dezavantajdan çok büyük bir avantaja dönüşmüştür. Bu nedenle DVB-T'de kaçırdığımız fırsatı, sağladığı olağanüstü kapsama ve kapasite artışlarını nedeniyle DVB-T2 ile yakalama imkanı doğmuştur.

Bu nedenle, Sayısal Karasal Yayıncılığın Planlanmasına İlişkin Kriterler adlı bu tez çalışmasında ayrıntılı olarak DVB-T2'nin DVB-T'ye nazaran sağladığı üstünlükler, birtakım uygulama örnekleri ve geçiş stratejileri üzerinde durulmuştur.

Birinci bölümde ülkemizde karasal televizyon yayıncılığının gelişimi ve bugüne kadar icra edilen düzenleme ve planlama çalışmaları detaylı olarak işlenmiş, 2006 yılında İsviçre'nin Cenevre şehrinde düzenlenen Bölgesel Radyokomunikasyon Konferansı (RRC06) ve konferans sonucu kabul edilen GE06 Planı ele alınmış ve 2011 yılı Haziran ayı itibariyle Radyo ve Televizyon Üst Kurulu tarafından yürütülmekte olan KARTEF – Karasal Radyo ve Televizyon Elektronik Frekans Düzenleme Sistemi detaylı bir şekilde incelenmiştir.

İkinci bölümde karasal sayısal yayıncılık ile ilgili genel teknik bilgilere yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde DVB-T – DVB-T2 karşılaştırması yapılmış, kapsama örnekleri ve DVB-T2 ile sağlanan kanal kapasite artışı ve kapsama parametreleri verilmiştir.

Dördüncü bölümde sadece DVB-T2 teknolojisiyle uygulanması mümkün olan MISO, TFS, çoklu PLP uygulamaları gibi yeni tekniklerden bahsedilmiştir.

Beşinci bölümde ise uygulamaya yönelik sekiz senaryo tanımlanmış, geçiş stratejilerinden bahsedilmiş ve son bölümde de sonuç değerlendirmesi yapılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada yaptıkları değerlendirmeler, faydalı öneriler, yorumlar, sağladıkları teknik dokümanlar ve çalışmalarının her aşamasında yararlandığım engin deneyiminlerinden dolayı, İçişleri ve Tahsisler Dairesi Başkan Yardımcısı Sayın Necmi KAPICIOğlu ve tez danışmanım İçişleri ve Tahsisler Dairesi Üst Kurul Uzmanı Sayın Cumhur BERKÖZ'e,

Konuyla ilgili doküman desteği içinde bulunan tüm amirlerime ve çalışma arkadaslarıma,

Ve bu yoğun çalışma temposu içinde maddi manevi desteği esirgemeyen ve her safhasında beni cesaretlendirip moral desteği veren sevgili eşim Gülay YİĞİT'e

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i

TEŞEKKÜR iii

İÇİNDEKİLER iv

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ vi

TABLOLAR LİSTESİ x

ŞEKİLLER LİSTESİ xi

GİRİŞ 1

BÖLÜM 1 4

ÜLKEMİZDE KARASAL TELEVİZYON YAYINCILIĞININ GELİŞİMİ VE

DÜZENLEME ÇALIŞMALARI 4

1.1 Dünyada ve Ülkemizde Karasal Ortamdan Televizyon Yayıncılığının Gelişimi 4
1.2 Düzenleme Çalışmaları 7
1.3 KARTEF Projesi 12
1.4 RRC 06 Konferansı ve GE06 Planı 15
BÖLÜM 2 21

SAYISAL KARASAL TELEVİZYON YAYINCILIĞI 21

2.1 Sayısal Görüntünün Üretilmesi ve İşletilmesi 21
2.2 COFDM Kipleme Tekniği 26
2.3 Tek Frekanslı Yayın Sistemi (Single Frequency Network - SFN) 30
2.5 Sayısal Yayında Görüntü Formatları ve HDTV Yayıncılığı 32
BÖLÜM 3 36

DVB-T2 STANDARDI VE ÜSTÜNLÜKLERİ 36

3.1 Giriş 36
3.2 Dağınık Pilot Paternleri (Scattered Pilot Patterns) 40
3.3 Zaman Girişimi (Time Interleaving) 41
3.4 Genişletilmiş Mod (Extended Mode) 43
3.5 Kapsama Kalitesi Açısından Karşılaştırmalı Simülasyon Örnekleri 44
BÖLÜM 4 54

DVB-T2'DE KULLANILABİLEN YENİ TEKNİKLERİ 54

4.1 Döndürülmüş Konstelasyon 54
4.1.1 Konstelasyon Diyagramı 54
4.1.2 Konstelasyon Diyagramının Döndürülmesi 55
4.2 MISO (Multiple Input Single Output) Tekniği 58
4.2.1 MISO Ağları İçin İşletim ve Planlama Parametreleri 60
4.2.2 MISO Kapsama Alanı Kazancının Örneklendirilmesi 62
4.3 TFS (Time Frequency Slicing - Zaman Frekans Dilimleme) Tekniği 64
4.3.1 TFS Kazançları 65

4.3.1.1 İstatistiksel Çoklama Kazancı 65
4.3.1.2 Ağ Planlama Kazancı 67
4.3.2 Potansiyel TFS Kapsama Kazancı Ölçümü 68
4.3.3 Tutarlı Kapsama Etkileri 70
4.4 Zaman Dilimleme 70
4.5 Fiziksel Katman Boruları (PLP) 71

BÖLÜM 5 74

UYGULAMA SENARYOLARI ve GEÇİŞ STRATEJİSİ 74

5.1 Uygulama Senaryoları 74
5.1.1 Senaryo 1: MFN Çatı Alıcı ve Geçiş Durumu 75
5.1.2 Senaryo 2: SFN Çatı Alıcı, Maksimum Kapsama 76
5.1.3 Senaryo 3: SFN Çatı Alıcı, Ortalama Kapsama 77
5.1.4 Senaryo 3a: Sınırlı Genişlikte SFN için Çatı Alıcı 78
5.1.5 Senaryo 3b: Geniş Alan SFN için Çatı Alıcı 79
5.1.6 Senaryo 4: Taşınabilir Alıcı Maksimum İşletim Hızı 79
5.1.7 Senaryo 5: Taşınabilir Alıcı Maksimum Kapsama Alanı 81
5.1.8 Senaryo 6: Taşınabilir Alıcı Optimum Spektrum Kullanımı 81
5.1.9 Senaryo 7: Mobil Alıcı Band III'te 1.7 MHz Band Genişliğinde 82
5.1.10 Senaryo 8: Taşınabilir ve Mobil Alıcı Farklı Servislerin Aynı Çoklayıcıyı Kullanması 83
5.2 Geçiş Stratejisi 85
5.2.1 GE06 Planında DVB-T2 85
5.2.1.1 GE06 Anlaşması Kapsamında Alternatif Yayıncılık İşletim Sistemlerinin Uygulanması 85
5.2.1.2 DVB-T2 Teknik Özelliklerinin Gereksinimleri 86
5.2.1.3 GE06 Planına DVB-T2'nin Uygulanması 87
5.2.2 Geçiş Senaryoları 90
5.2.2.1 Mevcut Altyapı 91
5.2.2.2 Frekans Planlaması Konusu 91
5.2.2.3 Analog TV'den DVB-T2'ye Geçiş 92
5.2.2.4 DVB-T'den DVB-T2'ye Geçiş 93
BÖLÜM 6 95

SONUÇ DEĞERLENDİRMESİ 95

ÖZET 100

ABSTRACT 101

ÖZGEÇMİŞ 102

KAYNAKÇA 103

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

dB	Desibel
Mbit/s	1 Saniyedeki Bit Hızı – Mega bit per second
µs	Mikrosaniye
3DTV	Üç Boyutlu Televizyon – 3 Dimensional Television
ATSC	Gelişmiş Televizyon Sistemleri Komitesi - Advanced Television Systems Committee
BER	Bit Hata Oranı - Bit Error Ratio
BTK	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
CEPT	Avrupa Posta ve Telekomünikasyon İdareleri Birliği - European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
COFDM	Kodlu Dikken Frekans Bölümlemeli Kipleme – Coded Orthogonal Frequency Division Modulation
C/N	Taşıyıcı Gürültü Oranı – Carrier to Noise Ratio
DAB	Sayısal Radyo Yayıncılığı - Digital Audio Broadcasting
DTT	Sayısal Karasal Televizyon – Digital Terrestrial Television
DVB	Sayısal Televizyon Yayıncılığı - Digital Video Broadcasting
DVB-C	Kablo Ortamından Sayısal Televizyon Yayıncılığı - Digital Video Broadcasting – Cable
DVB-H	Mobil Sayısal Video Yayıncılığı – Digital Video Broadcasting-Handheld
DVB-NGH	Yeni Nesil Mobil Sayısal Video Yayıncılığı – Digital Video Broadcasting-New Generation Handheld
DVB-S	Uydu Ortamından Sayısal Televizyon Yayıncılığı - Digital Video Broadcasting – Satellite
DVB-T	Sayısal Karasal Televizyon Yayıncılığı - Digital Video Broadcasting – Terrestrial
DVB-T2	İkinci Nesil Sayısal Karasal Televizyon Yayıncılığı – Second Generation Digital Video Broadcasting – Terrestrial
EBU	Avrupa Yayın Birliği – Europa Broadcasting Union

EPG	Elektronik Program Rehberi - Electronic Programme Guide
ERP	Etkin Yayılım Gücü – Effective Radiated Power
ETSI	Avrupa Telekomünikasyon Standartlar Komitesi - European Telecommunications Standards Institute
FDM	Frekans Bölmeli Kipleme - Frequency Division Modulation
FEC	İleri Hata Düzeltmesi – Forward Error Correction
FFT	Hızlı Fourier Dönüşümü – Fast Fourier Transform
FM	Frekans Modülasyonu – Frequency Modulation
GAKT	Güney Afrika Ülkeleri Kalkınma Topluluğu
GE06	Cenevre 2006 – Geneva 2006
GE89	Cenevre 1989 – Geneva 1989
GPS	Küresel Yer Bulum Sistemi – Global Positioning System
HD	Yüksek Çözünürlük – High Definition
HDTV	Yüksek Çözünürlüklü Televizyon – High Definition Television
HGM	Haberleşme Genel Müdürlüğü
HYK	Haberleşme Yüksek Kurulu
IFI	Çerçeveler Arası Karışım – Interframe Interference
IP	İnternet Protokolü – Internet Protocol
ISDB-T	Karasal Sayısal Yayıncılık Tümleşik Servisleri - Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial
ISI	Semboller Arası Karışım – Intersymbol Interference
ITU	Uluslararası Telekomunikasyon Birliği – International Telecommunication Union
ITU-R	Uluslararası Telekomünikasyon Birliği Tavsiye Sektörü – International Telecomunication Union Recommendation Sector
İLETAM	İletişim ve Spektrum Yönetimi Araştırma Merkezi
KARTEF	Karasal Radyo ve Televizyon Elektronik Frekans Düzenleme Sistemi
LCD	Sıvı Kristal Ekran - Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode – Işık Yayan Diyot
MEBS	Muhabere Elektronik Bilgi Sistemleri

MFN	Çok Frekanslı Ağ – Multi Frequency Network
MIFR	Uluslararası Temel Frekans Kayıt Sistemi – Master International Frequency Register
MISO	Çok Girişli Tek Çıkışlı – Multiple Input Single Output
MİT	Milli İstihbarat Teşkilatı
MPEG	Haraketli Görüntü Uzmanları Birliği – Motion Picture Experts Group
NTSC	Ulusal Televizyon Sistemleri Komitesi – National Television System Committee
OFDM	Dikken Frekans Bölümlemeli Kipleme – Orthogonal Frequency Division Modulation
PAL	Faz Değişimli Satır – Phase Alternating Line
PLP	Fiziksel Katman Borusu – Physical Layer Pipe
PTT	Türkiye Posta Telgraf Teşkilatı
QAM	Dikken Genlik Kiplemesi – Quadrature amplitude modulation
QPSK	Dikgen Faz Ötelemeli Anahtarlama - Quadrature Phase Shift Keying
RF	Radyo Frekans – Radio Frequency
RRC06	Bölgesel Radyokomünikasyon Konferansı 2006 - Regional Radiocommunication Conference 2006
RTÜK	Radyo ve Televizyon Üst Kurulu
SD	Standart Çözünürlük – Standard Definition
SDTV	Standart Çözünürlüklü Televizyon – Standard Definition Television
SFN	Tek Frekans Ağı - Single Frequency Network
SISO	Tek Girişli Tek Çıkışlı – Single Input Single Output
SNR	Sinyal Gürültü Oranı - Signal to Noise Ratio
ST61	Stockholm 1961
STB	Set Üstü Kutu – Set Top Box
T2-MI	DVB-T2 Modülatör Arayüzü – DVB-T2 Modulator Interface
T-DAB	Karasal Sayısal Ses yayıncılığı – Terrestrial-Digital Audio Broadcasting

TFS	Zaman Frekans Dilimleme ï Time Frequency Slicing
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TRT	Türkiye Radyo ve Televizyon Kurumu
TV	Televizyon ï Television
UHF	Ultra Yüksek Frekans ï Ultra High Frequency
VHF	Çok Yüksek Frekans ï Very High Frequency
VSB	Kuyruklu Yan Band Modülasyonu - Vestigial Side Band Modulation

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1 : 8k ve 2k modunda kanal bant genişliğine göre vericiler arasındaki en uzak mesafeler 31
Tablo 2: Sayısal Görüntü Formatları..... 33
Tablo 3: DVB-T2 koruma aralıkları (µs), 8MHz kanal..... 39
Tablo 4: DVB-T2 koruma aralıkları (µs), 7MHz kanal..... 39
Tablo 5: DVB-T2 koruma aralıkları (µs), 1.7MHz kanal..... 39
Tablo 6: DVB-T2'de kullanılan 8 farklı dağınık pilot paterni. 41
Tablo 7: Farklı FFT modlarında genişletilmiş taşıyıcı mod kazançları..... 44
Tablo 8: DVB-T, sabit E_{min} DVB-T2 ve sabit iletim hızı DVB-T2 için taşınabilir iç mekan alıcı parametreleri 45
Tablo 9: SFN modunda sabit alıcı için iletim hızındaki muhtemel %85 artış..... 47
Tablo 10: SFN modunda taşınabilir dış mekan alıcı için iletim hızındaki muhtemel %88 artış..... 48
Tablo 11: Geniş alan SFN planlaması için DVB-T parametreleri..... 49
Tablo 12: Geniş alan SFN planlaması için DVB-T2 parametreleri..... 51
Tablo 13: Uygun döndürme açıları dizileri..... 56
Tablo 14: MISO ayarında olası koruma aralığı ve dağınık pilot paterni kombinasyonları..... 62
Tablo 15: TFS kapsama kazancı ölçüm sonuçlarının özeti..... 70
Tablo 16: 7MHz kanal düzenlemesi için doğrudan uyumlu DVB-T2 değişkenleri.. 88
Tablo 17: 8MHz kanal düzenlemesi için doğrudan uyumlu DVB-T2 değişkenleri.. 88
Tablo 18: 1.7MHz kanal düzenlemesi için doğrudan uyumlu DVB-T2 değişkenleri. 89
Tablo 19: Mayıs 2011 itibariyle dünya genelinde DVB-T2 durumu..... 97

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil-1: Türkiye analog noktasal tahsis (assigment) haritası..... 18
Şekil 2: Türkiye DVB-T noktasal tahsis (assigment) haritası..... 19
Şekil 3: Türkiye DVB-T alansal tahsis (allotment) haritası..... 19
Şekil 4: Analog işaretin sayısala dönüştürülmesi (1)..... 21
Şekil 5: Analog işaretin sayısala dönüştürülmesi (2)..... 22
Şekil 6: OFDM Sembolleri 24
Şekil 7: Koruma aralığının ekleyişi 25
Şekil 8: Interleaving işlemi 1
Şekil 9: OFDM ve FDM kiplemelerinin frekans spektrumları..... 28
Şekil 10: COFDM Kiplemesinin Blok Şemasi..... 29
Şekil 11: Tek Frekanslı Yayın Sistemi 32
Şekil 12: DVB-T ve DVB-T2 için mobil alıcı maksimum hızları. 42
Şekil 13: 1/8 koruma aralığı oranı, 8MHz kanal ve genişletilmiş taşıyıcı modunda 8k, 16k ve 32k FFT modları için teorik DVB-T2 sinyal spektrumu..... 43
Şekil 14: Sabit E_{min} ve sabit iletim hızı için taşınabilir iç mekan alıcı..... 46
Şekil 15: Sabit alıcı için DVB-T SFN kapsamasi..... 49
Şekil 16: Taşınabilir dış mekan alıcı için DVB-T SFN kapsamasi..... 50
Şekil 17: Sabit alıcı için DVB-T2 SFN kapsamasi..... 51
Şekil 18: Taşınabilir dış mekan alıcı için DVB-T2 SFN kapsamasi..... 52
Şekil 19: 16-QAM modülasyon için konstelasyon diyagramı..... 54
Şekil 20: 16-QAM Modülasyon için döndürülmüş konstelasyon diyagramı..... 55
Şekil 21: Q- delay gösterimi..... 57
Şekil 22: DVB-T2 MISO genel ağ yapısı..... 58
Şekil 23 : MISO uygulanmasısonucu beklenen kapsama kazancı..... 63
Şekil 24: MPEG-4 ile istatistiksel çoklama kazancı..... 66
Şekil 25: Ölçülen TFS kazancının dağılımı..... 69
Şekil 26: Çoklu PLP modu..... 72

GİRİŞ

Günümüzde sayısal teknolojinin gelişmesiyle birlikte haberleşme endüstrisinde birçok alanda analog olan sistemlerin sayısallaşma süreci hızlanmaktır. Karasal sayısal yayıncılık da, bu sürecin karasal televizyon yayıncılığına uygulanmasıyla ortaya çıkan bir sistemdir. Yani sayısal yayınların uydu ve kablo ile alınmasına üçüncü bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Karasal sayısal yayınla birlikte, var olan basit antenlerimizle daha fazla sayıda televizyon yayınını, daha yüksek kalitede ses ve görüntü imkanıyla izlememiz mümkün olacaktır.

Sayısal yayının analog yayın sistemlerine göre ses ve resim kalitesinin üstünlüğünün yanında çeşitli bilgilerin de eş zamanlı iletilmesi ve daha ekonomik koşullarla program iletme olasılığı, ülkeleri bu konudaki araştırmalarını derinleştirmeye sevk etmiş ve sonuçlar 21. yüzyılın yeni yayın sisteminin sayısal yayın sistemleri olacağını göstermiştir.

1987'de Eureka 147 adıyla kurulan Sayısal Radyo oluşumu bir Avrupa projesidir. 1994 yılında Avrupa Yayın Birliği (EBU) Avrupa'da bir DAB (Digital Audio Broadcasting - Sayısal Radyo Yayıncılığı) platformu kurulmasını önermiş ve Ağustos 1995'te EuroDAB Forum olarak kurulmuştur. Üye ülkelere Avrupa'da olmayan ülkelerin de katılmasıyla oluşumun adı Ocak 1997'de WorlDAB olarak değiştirilmiştir. Sayısal televizyon yayıncılığı ile ilgili ilk resmi çalışmalar 1993'de Bonn'da gerçekleşen ve DVB (Digital Video Broadcasting - Sayısal Televizyon Yayıncılığı) projesi adı altında 20 ülkenin katılımı ile başlatılmış ve şu anda katılımcı sayısı 200'ü aşmıştır. Yayın bantlarını ve standartları bu kurumlar belirlemektedir. Stüdyoda üretilen sayısal görüntü ve ses sinyallerinin, tamamen sayısal olarak ileri modülasyon, bit hızı azaltma ve sıkıştırma tekniği ile ses ve görüntü kalitesini daha da arttırarak alıcılara kadar ulaşması sağlanmıştır. Sayısal televizyon yayınında DVB-T ile 4'ü 6, DVB-T2 ile 6'sı 24 programın, sayısal radyo yayınında ise 5'i 8 programın bir verici ile iletilebilmesi sağlanmaktadır. Analog

yayında kapsanan aynı alan, sayısal yayında daha düşük güçlü verici ile kapsanabilmekte ve böylece enerji tasarrufu sağlanmaktadır.[2]

Karasal sayısal yayıncılıkta birbirinden farklı standartlar mevcuttur. Sayısal karasal yayıncılık için Güney Kore ve Kuzey Amerikaôda ATSC, Japonya ve Güney Amerikaôde ISDB-T gibi standartlar kullanılmakta iken Avrupaôda ve ülkemizde DVB-T/T2 standardı seçilmiştir. Avrupaôda birçok ülkede deneme yayınlarının ardından safha safha uygulamaya geçilen sayısal yayıncılığın mevcut analog televizyon yayınlarına kıyasla getirecği yenilikler ve avantajlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Sayısal yayın yapılacağından, analog yayınlarda olan karlama, parazitlenme gibi bozuk görüntüler olmayacak, net bir sayısal yayın seyredilecektir.

2. Çatı antenine bağımlılık kalkacak, bina veya bahçe içinde televizyon üstü antenle istenilen yerde televizyon yayını seyredilebilecektir (taşınabilir yayın alıcı).

3. Araçla seyahat ederken rahatlıkla televizyon yayını seyredilebilecektir (Mobil / hareketli yayın alıcı).

4. Analog yayınlardan bildiğimiz bina, duvar, araç gibi ortamlara çarparak gelen ve ana yayın üzerinde gölgelenmelere sebep olan yansıma ortadan kalkacak hatta bu yansıma seyrettiğimiz yayını kuvvetlendirici etki yapacak, yayın yine sayısal görüntü kalitesinde olacaktır.

5. 16:9 formatında ve HD yayın yapılabilecektir.

6. Herbiri CD kalitesinde farklı ses kanalları dinlenebilecektir.

7. Aynı anda farklı dillerde program sunma imkanı olacak. Yani bir program farklı dillerde seslendirme ile seyredilebilecektir.

8. EPG (Electronic Programme Guide) Elektronik Program Rehberi özelliği ile video klip, resimler, çok hacimli metin indirme gibi özellikleri de bulunduran gelişmiş teletekst imkanı olacaktır.

---

[2] Birgör, Ulaş ve Karaca, Ümit (Mart 2007) ñKarasal Sayısal Yayın (Dijital TV)ò S.202, Makale, *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi*, http://www.emo.org.tr/ekler/1b3cc561955829a_ek.pdf?dergi=4 (02/10/2011)

9. İnteraktif TV ve internet erişimi olacaktır. Bu hizmet üç kategoride ifade edilebilir:

i) İzleyicilerin bilgileri alıcıda kaydedip depolayarak daha sonra kullanmasına imkan verecektir.

ii) Elektronik ticaret ve alışveriş yapmaya imkan verecektir.

iii) Pay tv ya da pay per view gibi ücret karşılığı program seyretmeye, yani kredi kartı ya da banka hesabı ile ücretin ödenebileceği şifreli bir kanalın programının seyredilmesine imkan verecektir.

10. Bir TV kanalından, program içeriğine göre 24 adeti akıllı (DVB-T2 ile) sayısal TV yayını yapılabilecektir.

11. SFN (Single Frequency Network) uygulama tipi ile 1'den fazla emisyon noktası kullanılan yerleşim bölgelerinde, bir yayıncı frekans spektrumunda sadece 1 kanal (frekans) kullanarak yayınını seyirciye ulaştırabilecektir. Bu husus İstanbul, Ankara ve İzmir gibi birden fazla emisyon noktası (verici/kanal) kullanımının olduğu yerlerde frekans karmaşasını önleyecek ve sınırlı bir kamu kaynağı olan frekans spektrumunun daha verimli kullanılmasını sağlayacaktır.

12. Yayıncılar açısından bakıldığında ise;

i) Analog vericilere göre daha düşük güçte verici kullanılacağından dolayı verici ve enerji maliyetlerinin,

ii) Bir vericiden en az 4 TV yayını yapılabileceğinden dolayı verici, anten sistemi, bina, kule masraflarının düşeceğinden toplam iletme giderlerinin,

iii) (i) ve (ii) deki sebeplerden dolayı ülke genelinde havaya yayılan toplam elektromanyetik alan şiddetinin azalmasını sağlanacaktır.

13. Ülkemizde maalesef plansız bakılan özel analog TV yayınlarının aksine planlı bir sayısal karasal yayıncılığın bakılmasına vesile olacaktır.

BÖLÜM 1:

ÜLKEMİZDE KARASAL TELEVİZYON YAYINCILIĞININ GELİŞİMİ VE DÜZENLEME ÇALIŞMALARI

1.1 Dünyada ve Ülkemizde Karasal Ortamdan Televizyon Yayıncılığının Gelişimi

Ülkemizde ilk TV yayını 31 Ocak 1968 tarihinde TRT tarafından Ankara'da başlatılmıştır. Yayınlar önce paket programlar şeklinde, sonra da Ankara-Merkezden radyolink sistemleri ile iletilmiştir. Bu analog yayın sisteminde TV vericileri kullanılmakta, genlik modülasyonu ile sinyal kuvvetlendirilmektedir. Yayın sistemi olarak da yine Avrupa ile paralel olarak VHF (174–230 MHz aralığı) ve UHF (470–862 MHz aralığı) bantlarında VHF için 7 MHz'lik kanallar, UHF bandı için de 8'er MHz'lik kanallar kullanılmıştır.[3]

Yayınların ilk yıllarında az sayıda verici ile çok geniş alanları kapsamak ve vericilerle aktarıcılara program iletmek amacıyla vericiler yüksek dağ tepelerine kurulmuştur. Böylece birbirlerine doğrudan sinyal ulaştırabilen vericiler sayesinde ayrıca iletim sistemleri kurulmadan geniş kitlelere ve alanlara yayın ulaştırılabilmiştir. Daha sonraları iletim sistemi olarak radyolinklerin kurulması ile farklı mekanlardan yayın hazırlamak ve iletmek imkanı doğmuştur.

Ülkemiz çok dağınık nüfus yapısına sahip olması (38.000'den fazla yerleşim birimi) yanında her yıl milyonlarca nüfusun hareket etmesi ve çok dağlık yapısı nedeniyle yayıncılık açısından zor bir yapıya sahiptir. Bütün bu durumlar karşısında yüksek dağ tepelerinden şemsiye gibi yayın ulaştırma geçmişte tek seçenek iken günümüzde uydu teknolojilerinin gelişimi ile yüksek emisyon noktalarındaki televizyon vericileri yerleşim yerlerine yakın ve düşük rakımlı mevkiilere taşınmış

[3] T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı (Haziran 2006), "Dokuzuncu Kalkınma Planı - Bilgi ve İletişim Teknolojileri Özel İhtisas Komisyonu Yayıncılık Alt Komisyonu Raporu", DPT, Ankara.

ancak FM radyo vericileri daha geniş alana radyo yayını ulaştırmak amacıyla yüksek rakımlı mevkilerde bırakılmıştır.[4]

1980'li yılların sonlarından itibaren vericilere program iletimi uydular (Intelsat) üzerinden yapılmaya başlanmış, 1994 ve 1996 yıllarında yerleştirilen Türksat uydularımız ile de bu imkan çok gelişmiş, ayrıca izleyicilere uydularımızdan doğrudan program iletme imkanı da doğmuştur.

Uyduların çoğalması ile birlikte kapasite kiraları da azalmış ve sınırı tanımayan yapısının ve kalitesinin getirdiği üstünlük sayesinde uyduda yayıncılık hızla gelişmiş ve özellikle de 1990'lı yıllardan sonra Ülkemizde de kanal sayısı çok artmıştır.

Frekans kapasitesini farklı hizmetlere kaptırmamak ve maliyetleri düşürerek cazibeyi artırmak için karasal vericilerden sayısal yayın yapılması fikri 1990'lı yıllarda tartışılmaya başlanmıştır. Avrupa Yayın Birliği (EBU), Avrupa Posta ve Telekomünikasyon İşletmeleri Birliği (CEPT) ve Uluslararası Telekomünikasyon İşletmeleri Birliği (ITU) bünyesinde yürütülen çalışmalar neticesinde sayısal TV yayın standardı (DVB) oluşturulmuş ve Avrupa için bu yayınların uydu (DVB-S), kablo (DVB-C) ve karasal vericilerden (DVB-T) yapılan bölümleri için tavsiye kararları alınmıştır. 1997 yılında Chester-İngiltere'de yapılan toplantıda, Avrupa yayın alanında karasal vericilerden sayısal TV yayını (DVB-T) için VHF bandı (174–230 MHz) ile UHF (470–862 MHz) bandlarının tamamının kullanılabileceği kararlaştırılmıştır.[5]

2004 yılında ITU tarafından, Avrupa ve Afrika Yayın Alanlarında tüm VHF ve UHF bandlarında Sayısal Karasal TV ve Radyo Frekans Planlarının yapılacağı Bölgesel Radyokomünikasyon Konferansı (RRC–04/06) çalışmaları başlatılmıştır

[4] Bu durum daha çok TRT tarafından uygulanmakta olup bilgi TRT Bakımühendisi Hayati Gündüz'den temin edilmiştir.

[5] T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı (Haziran 2006), "Dokuzuncu Kalkınma Planı - Bilgi ve İletişim Teknolojileri Özel İhtisas Komisyonu Yayıncılık Alt Komisyonu Raporu", DPT, Ankara.

ve 2006 yılında da sonuçlandırılmıştır. Bu konferans sonunda Avrupa ve Afrika'da karasal vericilerden sayısal yayın için ihtiyaç duyulacak frekanslar uluslararası anlamda paylaşılmış ve aynı zamanda bu sistem ve frekans paylaşımı için teknik parametreler ve kurallar da ortaya konulmuştur.

Ülkemizde bu çalışmalar takip edilirken, Haberleşme Yüksek Kurulu tarafından 27/09/2006 tarihinde yapılmış olan 2006 yılı 2. Olağan toplantısında alınan karar çerçevesinde analog yayınla paralel olarak sayısal yayına (DVB-T) geçmek üzere Sayısal Yayın Konsepti, RTÜK Koordinatörlüğünde, Ulaştırma Bakanlığı Haberleşme Genel Müdürlüğü, Bilgi ve Teknolojileri ve İletişim Kurumu (Eski adı Telekomünikasyon Kurumu), Türkiye Radyo Televizyon Kurumu Genel Müdürlüğü, ilgili Kurum ve Kuruluşların katılımıyla DVB-T çalışmalarına başlanmış ve Ankara, İstanbul ve İzmir illerinde şubat 2006'da ilk sayısal karasal televizyon deneme yayınları yapılmaya başlanmıştır. 2010 yılının Kasım ayında TRT tarafından DVB-T test yayınları sonlandırılmış ve Ankara iline yönelik DVB-T2 test yayınlarına başlanmıştır. DVB-T2 teknolojisinin getirdiği kanal kapasitesi avantajı kullanılarak test yayınlarında bir kanaldan 7 SD ve 1 HD televizyon yayını ile 3 adet radyo yayını yapılmaktadır. Mayıs 2011 tarihi itibariyle TRT Kurumu Ankara iline yönelik "TRT HD" program adlı HD yayını ile birlikte karasal ortamdan DVB-T2 test yayınlarına devam etmektedir. [6]

[6] Bilgi TRT Başmühendisi Hayati Gündüz'den temin edilmiştir.

1.2 Düzenleme Çalışmaları

Ülkemiz için radyo ve televizyon yayınlarına ayrılmış olan frekans ve kanallar sınırlı bir ulusal kaynaktır. Bu kaynak kullanılmadığı veya kötü kullanıldığı zaman ziyan olmakta ve ülke ekonomisine bir katkı sağlamamaktadır. Bu frekans ve kanallar düzenli bir şekilde kullanıldığında ekonomik getirisi yüksek ve hiçbir zaman tükenmeyen sonsuz bir kaynak halini alır ki bu noktada devreye frekans planlaması girmektedir. Kelime anlamı olarak frekans planlaması, aynı frekansı kullanan vericilerin birbirine en az ne kadar uzaklıkta olması gerektiği ini, bunların hangi özelliklerle (verici yeri, gücü, frekansı, anten yüksekliği, v.b.) yayın yapması gerektiği ini belirleme işlemine denir. Frekans planlaması belirlenen hedefler doğrultusunda, bu kaynağı en iyi şekilde kullanmayı sağlar. Bu sınırlı kaynağın uluslararası anlaşmaları ve tahsisleri de dikkate alarak planlanması ve yapılan planın uygulanması gerekmektedir.

Bilindiği üzere Mülga 3984 sayılı Radyo ve Televizyonların Kuruluş ve Yayınları Hakkında Kanunûn 1994 yılında yasalaşması ile Radyo ve Televizyon Üst Kurulu oluşturulmuş ve RTÜK, yasanın 8/a maddesi hükmü çerçevesinde frekans planlarını hazırlama ve bu plana göre frekans tahsis işini gerçekleştirmek üzere çalışmalara başlamıştır. Bu çerçevede, frekans planlarını hazırlamak üzere Bilkent Üniversitesi ile anlaşma imzalanarak Analog TV Ulusal Frekans Planı ile FM Radyo Frekans Planı çalışmalarına başlanmıştır. Yaklaşık bir yıllık bir süreçte planlar tamamlanmış ve 1995 yılı Temmuz ayında Üst Kurula teslim edilmiştir. Bu aşamadan sonra bu planlara göre ihale yapılmak üzere hazırlıklara başlanmış, ancak Telsiz Genel Müdürlüğü, PTT Genel Müdürlüğü, TRT Kurumu, Milli Güvenlik Kurulu Genel Sekreterliği başta olmak üzere pek çok kurumun katıldığı toplantılarda frekans planları ve uygulama yöntemi tartışılmış ve uzun müzakerelerden sonra 1997 yılında TRT tahsisleri tamamlanarak ihaleye başlanabilmiştir.

Yerel TV kuruluşlarına kanal ve frekans teminine yönelik ihalelere başlanmış, bu ihaleler TRT 3 kanalından canlı olarak yayınlanmış ve şeffaf bir

şekilde yerel TV kuruluşlarına kanal tahsisini sağlayacak olan sıralama ihaleleri tamamlanmıştır. Daha sonra ulusal TV kuruluşlarına yönelik sıralama ihalesinin yapılmasıamacıyla hazırlıklar tamamlanmış, ihale tarihi 15 Aralık 1997 olarak ilan edilmiş, ihale şartnamesi ihaleye katılabilecek 16 ulusal TV kuruluşunca satın alınmış, ancak ihaleye çok kısa bir süre kala o zamanki Hükümet tarafından ihaleler durdurulmuş ve daha sonra da iptal edilmiştir.

Radyo ve Televizyon Üst Kurulu, Avrupa ülkeleri ile eş zamanlı denilebilecek bir zamanda sayısal yayıncılıkla ilgili çalışmalarıbaşlatmış, sayısal yayıncılık konusunda Avrupa`da düzenlenen Wiesbadenï 95, Chesterï 97 gibi konferans ve toplantılarıtakip etmiş ve 1998 yılında Bilkent Üniversitesi bünyesinde bulunan İletişim ve Spektrum Yönetimi Araştırma Merkezi (İSYAM) ile Protokol yapılarak sayısal yayıncılığın öncelikle yapılmasıplanlanan UHF bandı 61.-69. TV kanallarının DVB-T yayıncılığı için, VHF bandı 12. Kanalının T-DAB için frekans planlarınıhazırlama çalışmalarınıbaşlatmıştır. Söz konusu planlamada UHF bandı 61-69 kanalların sayısal televizyon yayıncılığında kullanılmasının nedeni ise, başta Doğu Avrupa ülkeleri olmak üzere pek çok Avrupa ülkesinde bu kanalların analog TV yayınlarında az kullanılmasınedeniyle sayısal yayıncılığa geçiş bandı olarak planlanmasıve bu yönde toplantılar yapılarak karar alınmış olmasıdır. Bu toplantıların çoğuna Radyo ve Televizyon Üst Kurulu ile birlikte Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (Eski adı Telekomünikasyon Kurumu) da katılmıştır.

Radyo ve Televizyon Üst Kurulu tarafından 1998ï 2000 yılları arasında yapılan planlama çalışmasında, Üst Kuruldan da personel görevlendirilmiş ve bu personel İSYAM akademik personeli ile birlikte 61ï 69. Kanallar arası için Karasal Sayısal Televizyon Yayıncılığı, DVB-T ve 12. kanalda Karasal Sayısal Radyo Yayıncılığı, T-DAB frekans planlarınıyaklaşık 2 yıllık bir süreçte hazırlamıştır. Burada yapılan planlama çalışmasında tüm televizyon bandı için planlama yapılmamış sadece bandın bir kısmı olan UHF bandı 61ï 69. kanallar ile VHF 12. kanal için planlama yapılmıştır. Bu planlamada kullanılan yazılım İSYAM

tarafından geliştirilmiş, ayrıca sayısal yükseklik haritaları, nüfus bilgileri, raster harita bilgilerinin planlama yazılımına entegrasyonu İŞYAM tarafından yapılmıştır.

Üst Kurul 2001 yılında, Başbakanlık tarafından kuruluşlara verilen Ulusal Güvenlik Belgesi verilme sürecinin tamamlanması üzerine, ihale çalışmalarını tekrar başlatmış, öncelikle TV tahsisleri TRT Kurumundan çalışmalara katılan personel ile birlikte yeniden gözden geçirilmiş ve TRT taleplerini tamamen karşılayacak şekilde TRT Kurumuna TV kanalları tahsis edilmiştir.

Aynı zamanda ihale hazırlıklarını yürütmek üzere bir Komisyon oluşturulmuş ve bu defa ulusal analog TV ihalesinden başlamak üzere ihale şartnamesi yeniden hazırlanmıştır. 26 Nisan 2001 tarihinde sıralama ihalesi yapılmak üzere ilana çıkılmış, şartnameler 16 ulusal TV kuruluşu tarafından satın alınmış ancak ihaleye 2 gün kala ise Danıştay 10. Dairesi ihaleyi durdurmuştur. İhalenin durdurulma gerekçesi ise ihaleye sadece yayında olan kuruluşların katılacak olması, yeni yayıncı olmak isteyen kuruluşlara ihaleye katılma imkanının sağlanmamış olmasıdır olarak belirtilmiştir. Bu ihale gerçekleşmiş olsa idi, TV frekans bandında UHF 61'i 69 kanalları sayısal yayıncılık için ayrılmış olduğundan, sıralamada ilk 11 kuruluşa ulusal yayıncı olacak şekilde kanal tahsisi yapılmış olacaktır. Bu çalışmada iki kanal yerel TV yayınları için, 2 kanal da bölgesel TV yayınları için ayrılmıştır.

2002 yılında, Mülga 3984 Sayılı Kanun'da değişiklik öngören 4756 sayılı Kanun yasalaşmış ve bu yasa ile frekans planlarını hazırlama görevi Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu-BTK'ya verilmiştir. Diğer yandan, 3984 sayılı yasanın 24. Maddesi yeniden düzenlenmiş ve frekans planları ve tahsisler konusunda Haberleşme Yüksek Kuruluna geniş yetkiler verilmiştir. Böylece, frekans planlarını hazırlama görevi BTK`ya, planın onaylanması ve bu plana göre ne kadar kanalın ihale edileceğine karar verme yetkisi HYK (Haberleşme Yüksek

Kurulu)ôya, ihale yapma yetkisi ise Radyo Televizyon Üst Kuruluôna verilmiıtir. Bundan sonra;[7]

- BTK, daha önce RTÜK tarafēndan hazērlanan ve 4756 sayēlē yasanēn yürürlüâe girdiâi 15 Mayēs 2002 tarihinden 15 gün sonra BTK`ya gönderilen analog TV ve FM frekans planlarēnē yeniden hazērlama çalēımalarēna baılamak,
- BTK hazērlamak olduâu analog ve sayēsal frekans planlarēnē HYK sekretaryasēnē yürüten Haberleıme Genel Müdürlüâüne (HGM) göndermik,
- HYK, 30 Eylül 2002 tarihinde olaâan olarak toplanmak, BTK tarafēndan hazērlanan frekans planlarēnē görüımük ve bu planlarēn hukuki ve teknik yönüyle yeniden irdelenmesi amacēyla Ulaıtērma Bakanlēâē Haberleıme Genel Müdürlüâü koordinatörlüâünde, Içiıleri Bakanlēâē, Milli Güvenlik Kurulu Genel Sekreterliâi, Genelkurmay MEBS Baıkanlēâē, MIT Müsteıarlēâē, Türkiye Radyo Televizyon Kurumu temsilcilerinden bir çalēıma grubu oluıturulmasē ve bu çalēıma grubunun çalēımalarēnē 14/10/2002 tarihine kadar sonuçlandērēlmasēnē ve neticenin HYK`ya sunulmasēna oy birliâi ile karar vermik,
- HYK toplantēsēnda alēnan söz konusu karar gereâince HGM koordinatörlüâünde, ilgili kurum ve kuruluılarēn temsilcilerinden oluıturulan Çalēıma Grubu, frekans planlarēnē hukukî ve teknik yönden incelemik ve bazē tespitlerde bulunmuk,
- Bu tespitler çerçevesinde, hazērlanan planlar 21 Ekim 2002 tarihinde yapēlan olaâanüstü HYK Toplantēsēnda tekrar ele alēnmak ve BTKônēn söz konusu planlarē RTÜK, TRT ve ilgili kurum ve kuruluılarēn görüıleri doârultusunda yeniden gözden geçirerek 10 Iubat 2003

[7] Burada aktarēlan süreç, Radyo ve Televizyon Üst Kurulu, Içiıleri ve Tahsisler Dairesi Baıkanlēâēnēn 21/05/2010 Tarih ve 4506 Sayēlē Yazēsē 2 nolu Ekinde yer alan Komisyon Raporuônden temin edilmiıtir.

tarihine kadar sonuçlandırılması ve tekrar HYK'ya sunulması kararlaştırılmak,

- Bu çerçevede, BTK tarafından hazırlanan analog ve sayısal radyo ve televizyon olmak üzere 4 adet Ulusal Frekans Planı, ilgili kurum ve kuruluşların görüşleri çerçevesinde BTK tarafından yeniden gözden geçirilmiş ve 07 şubat 2003 tarihinde HYK`ya sunulmak üzere HGM`ye gönderilmiştir. HYK`nın 30 Eylül 2004 tarihinde yapmak olduğu toplantıda, Frekans Planlaması ile ilgili olarak ülkemizdeki mevcut fiili ve hukuki durumun incelenerek değerlendirilmesi, bu konuda dünyada ve Avrupa ülkelerindeki gelişmelerin incelenmesi, mevcut hukuki ve fiili alt yapının incelenerek geçiş sürecinde karşılaşılabilecek sorunların çözümüne yönelik tedbirlerin alınması, HGM`nin koordinatörlüğünde konuyla ilgili kurum ve kuruluş temsilcilerinden oluşacak bir komisyonun çalışmalarını 06/12/2004 tarihine kadar tamamlaması hususunda karar alınmış,
- 29/03/2005 tarihinde yapılan HYK toplantısında alınan karar ile sayısal yayıncılığa geçiş için uygulama takvimi belirlenmiş, ancak frekans planları onaylanmamış ve çalışmaların devam etmesi uygun görülmüş,
- 29/07/2005 tarihinde Olağanüstü HYK toplantısı yapılmasi planlanmış ancak bu HYK toplantısı yapılmamış,
- 07/10/2005 tarihinde yapılan HYK toplantısında ITU bünyesinde 2006 yılında yapılacak RRC 06 Konferansı ile 2006 yılında Ankara, İstanbul ve İzmir illerinde başlamasi planlanan DVB-T deneme yayınlarında elde edilen sonuçların değerlendirilerek, DVB-T frekans planlama çalışmalarına son şeklinin verilmesi kararlaştırılmış,
- En son HYK toplantısı 29 Eylül 2007 tarihinde yapılmış ve bu toplantıda da BTK tarafından RRC 06 Konferansına göre yapılan frekans planları onaylanmamıştır.

Bu süreçte, BTK tarafından yapılan frekans planları HYK tarafından frekans planlarının hazırlandığı ve gündemde olduğu 2002-2007 dönemini kapsayan 5

yıllık süreçte onaylanmamak ve ihale yapılmamak ve 2008 yılında 5809 sayılı Elektronik Haberleşme Kanunu yasalaşmak ve bu yasa ile HYK kaldırılmaktır.

1.3 KARTEF Projesi

2008 yılında yürürlüğe giren 5809 sayılı Elektronik Haberleşme Kanunu ile karasal ortamdan yapılan radyo ve televizyon yayınları için frekans planlama yetkisi Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu'ndan alınarak, Radyo ve Televizyon Üst Kuruluna verilmiştir. 03/03/2011 tarihinde yürürlüğe giren 6112 sayılı Radyo ve Televizyonların Kuruluş ve Yayın Hizmetleri Hakkında Kanun'un Geçici 4üncü Maddesinin 2nci fıkrasında yer alan, "...Bu Kanunun yayımı tarihinden itibaren en geç iki yıl içinde Üst Kurulca karasal yayın lisanslarının verilmesi amacıyla sayısal televizyon multipleks kapasitesi sıralama ihalesi yapılır. Sıralama ihalesinde karasal sayısal televizyon multipleks kapasitesi tahsisine hak kazanan kuruluşlardan bir bölümüne, ihaledeki sıraları ve analog kanal kapasitesi dikkate alınarak en fazla iki yıl süreyle sayısal yayının yanı sıra analog televizyon yayını yapmalarına da imkân tanınır. Tahsisi müteakip en geç iki yıllık süre sonunda analog karasal televizyon yayınları ülke genelinde tümüyle sonlandırılır ve analog karasal televizyon yayınları durdurulur..." ve yine söz konusu maddenin 5inci fıkrasında yer alan "Frekans planları ve uygulama takvimi bu Kanunun yayımı tarihinden itibaren bir yıl içinde hazırlanır." hükümleri çerçevesinde Radyo ve Televizyon Üst Kurulu bünyesinde karasal ortamdan sayısal televizyon yayınları için frekans planlama çalışmalarına ivedilikle başlanmak ve RTÜK ile GATE Elektronik San. Ve Tic. A.Ş. arasında 02/06/2011 tarihinde sözleşme imzalanmak ve Karasal Radyo ve Televizyon Elektronik Frekans Düzenleme Sistemi (KARTEF) Projesi başlatılmaktır. Proje çalışmaları, Bilkent Üniversitesi bünyesinde faaliyetlerini sürdüren İŞSYAM ile Fransız ATDI firması çalışanları ve RTÜK tarafından görevlendirilen 5 personel ile 2011 yılının Haziran ayından itibaren İŞSYAM binasında sürdürülmektedir.

Karasal Radyo ve Televizyon Elektronik Frekans Düzenleme Sistemi Projesi ile; RRC 06 Konferans sonuçlarının incelenmesi ve karasal sayısal TV

yayın teknolojilerinin incelenmesi ve ülkemiz için en uygun teknolojinin belirlenmesi çalışmaları sonlandırılmış ve ülkemizde karasal ortamdan sayısal televizyon yayıncılığına geçişte teknoloji olarak DVB-T2 standardı ve sıkıştırma tekniği olarak MPEG-4 AVC standardı belirlenmiştir.[8] Harita Genel Komutanlığından temin edilen 1/25.000 ölçekli sayısal yükseklik ve rastır haritaları planlama yazılım programına (ICS Telecom) yüklenmiş olup böylece daha doğru sonuç verecek şekilde planlama yapılması sağlanmış olacaktır. İl ve ilçe bazında nüfus verileri TÜİK `ten temin edilmiş ve planlama yazılım programına yüklenmiştir. Ülkemiz sınırlarında yerleşik televizyon ve set üstü kutu üretici firmaları temsilcileri ile müşterek yapılan çalışmalar neticesinde, "DVB-T2 Alıcı Cihazı Minimum Gereksinimleri Kitapçığı" taslak olarak hazırlanmış ve Üst Kurulun onayına sunulmak üzere son düzeltmeler yapılmaktadır. Özel yayıncı kuruluş ve TRT temsilcileri ile etkileşimli olarak sürdürdüğümüz emisyon noktası belirleme işlemleri sona erdirilmiş ve belirlenen emisyon noktaları baz alınarak kapsama simülasyonları ve SFN ağları belirleme çalışmaları halen devam etmektedir.[9]

Karasal Radyo ve Televizyon Elektronik Frekans Düzenleme Sistemi (KARTEF) Projesi kapsamında, Türkiye genelinde televizyon yayıncılığında sayısal teknolojiye geçişin gerçekleştirilmesine yönelik teknik analizler ve planlama faaliyetlerinin yanı sıra, FM radyo yayıncılığının daha etkin şekilde kullanılmasına yönelik frekans planlaması faaliyeti de gerçekleştirilecektir.

Projeye ait faaliyetler 4 (dört) ana iş paketinden oluşmaktadır:[10]

1. İşP1: Proje Yönetimi
2. İşP2: Teknik Analiz, Planlama ve Raporlama

[8] Söz konusu standartlar, Radyo ve Televizyon Üst Kurulunun 22/12/2011 tarih ve 2011/69 nolu toplantısında alınan 2 nolu Üst Kurul kararı ile belirlenmiştir.

[9] KARTEF projesi kapsamında yapılan ve yapılmakta olan çalışmalar 15/01/2012 tarihi itibariyle özetlenmiştir.

[10] Burada verilen bilgiler KARTEF Projesi Teknik Şartnamesinden temin edilmiştir.

3. İP3: Test ve Doğrulama
4. İP4: Eğitim

Ana iş paketlerinin alt iş paketlerine dağılımı aşağıdaki gibidir:

İP1: Proje Yönetimi

1.1. Proje Yönetimi ve Koordinasyon

1.2. Kalite Yönetimi

1.3. Konfigürasyon Yönetimi

İP2: Teknik Analiz, Planlama ve Raporlama

1.4. ITU RRC-06 Planının ve Sonuç Raporunun İşlenmesi

1.5. Karasal Sayısal Televizyon Yayın Teknolojilerinin İşlenmesi

1.6. Karasal Sayısal Televizyon Ulusal Frekans Planının Hazırlanması

1.7. Ulusal, Bölgesel ve Yerel Televizyon Yayın Ağlarının Belirlenmesi

1.8. Karasal yayın lisans taban ücretleri ile planda yer alan her bir emisyon noktası veya yayın ağları için yayın lisans ücretlerinin hesaplanması

1.9. Kanal/Frekans Tahsis Takip Yazılımının hazırlanması

1.10. Karasal Sayısal TV Frekans Planının ITU nezdinde bildirim formlarının elektronik ortamda hazırlanması

1.11. Karasal Sayısal Televizyon Yayıncılığına Geçiş Dönemi için Uygulama Planının Hazırlanması

1.12. Karasal FM Radyo Ulusal Frekans Planının Hazırlanması

İP3: Test ve Doğrulama

1.13. Karasal Sayısal Televizyon Ulusal Frekans Planı Test ve Doğrulaması

1.14. Karasal FM Radyo Ulusal Frekans Planı Test ve Doğrulaması

İP4: Eğitim

Planlamada görevlendirilen 5 (beş) RTÜK personelinin, Projenin tüm aşamalarında bulunması, yapılan tüm iş paketlerine katkı sağlaması ve bu iş paketlerinin geliştirilmesinde görev alması sağlanmaktadır.

RTÜK tarafından planlamada görevlendirilen bu personelin işin tamamlanması sonrasında RTÜK merkezinde planlama ile ilgili olarak, ihtiyaç

duyulacak çalışmaların yapabilmeleri yönünde gerekli deneyim ve yetkinliğin kazandırılması sağlanacaktır.

1.4 RRC 06 Konferansı ve GE06 Planı

ITU tarafından, Analog yayınlar için Avrupa Yayın Bölgesini kapsayan 1961 yılında Stockholm (ST61) ve Afrika Yayın Bölgesini kapsayan 1989 yılında Cenevre (GE89) bölgesel anlaşmaları ve frekans planlamaları yapılmıştır. Günümüze kadar Analog yayıncılığın ülkeler arasında teknik ve idari sorunlara yol açılmadan yapılması bu anlaşmalar ile mümkün olmuştur.

Bölgesel anlaşmalar olmadığı takdirde, ülkelerin sınır bölgelerinde karşılıklı bazı teknik çalışmaları ikmal etmek suretiyle belli anlaşmaları yapması gerekmekte, bunlarda hem başarı oranı düşük olmakta ve hem de sonuçlandırılması uzun zaman almaktadır. Anlaşma olmadan da yayın faaliyeti başlatılamadığından bölgesel anlaşmalar önemli bir fonksiyon görmektedir.

15 Mayıs - 16 Haziran 2006 tarihleri arasında Cenevre'de karasal sayısal radyo ve TV yayıncılığı için Avrupa Yayın Bölgesi, Afrika Yayın Bölgesi ve Kişkan İslam Cumhuriyeti'ni kapsayan çok daha geniş bir coğrafi alanı ve ITU bünyesindeki toplam 190 üye ülkeden 118'ini bir araya getiren RRC'ı 06 Konferansının sonunda Cenevre'i 06 (GE06) Anlaşması imzalanmış ve bu suretle ülkelerin sayısal yayıncılığa hızla geçebilmesine imkan sağlayacak teknik ortam sağlanmış bulunmaktadır. GE06 Anlaşmasında Sayısal Karasal TV Yayıncılığı (DVB-T) için VHF ve UHF, Sayısal Karasal Radyo Yayıncılığı (T-DAB) için ise VHF bantları içinde ülkelerin taleplerine göre ayrı ayrı frekans planları yer almaktadır. Konferans öncesi sürdürülen bir dizi uluslararası faaliyet sonucu belirlenen yönteme göre, kurulu ve halen faaliyetini sürdüren VHF ve UHF'deki tüm analog TV yayınları ile UHF Bant V içinde kalan "Diğer Öncelikli Servisler" in mevcudiyeti korunmaktadır.

Ülkeler yerleşimlerin konumu ve arazi yapısı gibi faktörleri kullanmak suretiyle kendi coğrafi alanlarını yayın bölgeleri oluşturarak bunu ITU'ya daha önceki çalışmalar sırasında bildirmişlerdir. Konferans faaliyetleri sırasında korunan servisler dikkate alınarak kullanılabilecek frekans ve kanalların; arazi engebesi dikkate alınmaksızın yapılan teknik etkileşme ve uyumluluk analizleri sonucu ülkelerin oluşturduğu frekans bölgelerine dağıtılması yöntemi kullanılmıştır. Bu anlamda ITU tarafından oluşturulan veritabanı, yazılım ve donanım imkanları kullanılarak ülkelerin oluşturduğu çok yüksek hacimli verilerin çok kısa sürede ve hatasız olarak işlenmesi sağlanmıştır.

Tahsis edilebilecek frekans sayısının bu yöntemde çok az olması ve böylesi bir genel analizin gerçek durumu yeterince yansıtamaması nedeniyle; ilaveten ülkeler arasında idari deklarasyon imzalanması şeklinde bir işlem tanımlanmıştır. İdari Deklarasyon işleminde birbirinden etkileneceği belirlenen ülkeler karşılıklı olarak arazi ve diğer teknik özellikler ile frekans tahsis edilecek bölgelerini değerlendirmek suretiyle; enterferans yaratmayacağı belirlenen bölgeler ve frekanslar için konferans ortamında bir anlaşma metni imzalamakta ve plana daha fazla frekansın dahil edilmesi, dolayısıyla da atıl kalacak frekansların da kullanılabilmesi imkanı sağlanmaktadır.

Tarif edilen bu sürecin Konferans sırasında dört tur halinde tekrarlanması öngörülmüş ve bu yolla hata ve eksiklerin giderilmesi yanında ayrıca daha fazla sayıda frekans tahsisi yapılmak suretiyle planın bakarısının arttırılması imkanı sağlanmıştır. Dördüncü turda alınamayacağı öngörülen taleplerin ülkeler tarafından geri çekilmesi sonucu, pek çok ülke; daha önceki turlara göre bakarı oranlarını yükseltmiş ve çoğunluğu %100 bakarılı duruma gelmiştir.[11]

RRC 06 Konferansına ülkemizden BTK, RTÜK ve TRT Kurumu birlikte katılmış, bu üç kurum konferans öncesi hazırlıklarını birlikte yapmış, konferansa her üç kurumdan da geniş katılım sağlanmış ve ülke menfaati için gerekli tüm çalışmalar özveri ile yapılmaya çalışılmıştır. GE 06 Anlaşmasına göre ülkeler

[11] ITU, RRC 06 Konferansı, Türk Heyeti Raporu, 2006.

sayısal yayıncılığın sabit alıcı, taşınabilir alıcı ve mobil alıcıya göre planlayabilmekte ve buna göre uygulamaya geçebilmektedir. Ülkemizde sayısal yayıncılığın taşınabilir veya mobil olması gerektiği yönünde kurumlar arasında görüş birliği sağlanarak, RRC 06 Konferansında buna göre hazırlıklar yapılması, Konferansta bu yönde kanal talebinde bulunulması ve tahsislerin bu doğrultuda yapılması sağlanmıştır.[12]

RRC 06 Konferansında ülkemize tahsis edilen kanallar nokta bazında tahsis olmayıp, alan bazında tahsis yapılmıştır. Bu nedenle planlama aşamasında her bir alanda kullanılacak kanalların ve bu alanlarda kurulacak vericilerin noktasal olarak koordinatı, etkin yayın gücü, anten yüksekliği, anten yönü gibi pek çok teknik kriterin hassas bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

RRC 06 Konferansında, 2015 yılında Avrupa ile birlikte tüm komşu ülkelerde sayısal yayıncılığa geçilmesi kararı alınmış olup, bu tarihten sonra analog yayınlar sayısal yayınları enterfere edemeyecek ve sayısal yayınlar tarafından enterfere edilebilecek analog yayınlar herhangi bir koruma talep edemeyecektir.

Konferansta, T-DAB Band III için %98,4, DVB-T Band III için %96,9, UHF Band IV ve V için de %96,6 ile önemli bir başarı sağlanmıştır.[13] Bu başarı BTK, RTÜK ve TRT temsilcilerinin oluşturduğu Türk Heyetinin özverili çabaları ve tam bir koordinasyon içinde hareket etmeleri, kendilerine Başkanları Bakanlığının Cenevre'de bulunan Daimi Temsilciliğinin sağladığı destek sonucunda elde edilmiştir.

Konferans'ta Ülkemizin 22 ülke ile frekans kullanımını müzakere etmesi ihtiyacı olmuş, talep ve müzakere edilen 1085 frekanstan 1052'sinin tahsisi sağlanmış, 33'ünün ise tahsisi sağlanamamıştır. Konferans sonunda ülkemizin başarı oranı % 97'dir.[14]

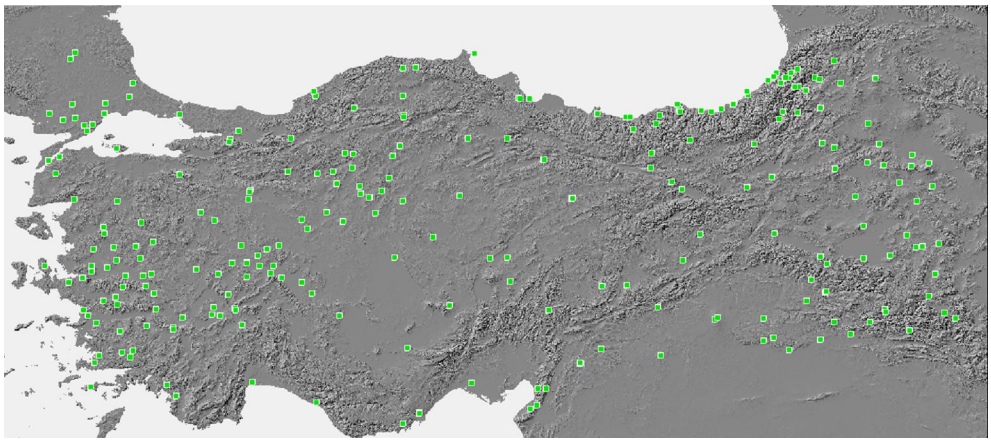
---

[12] ITU, RRC 06 Konferansı, Türk Heyeti Raporu, 2006.

[13] A.g.e.

[14] A.g.e.

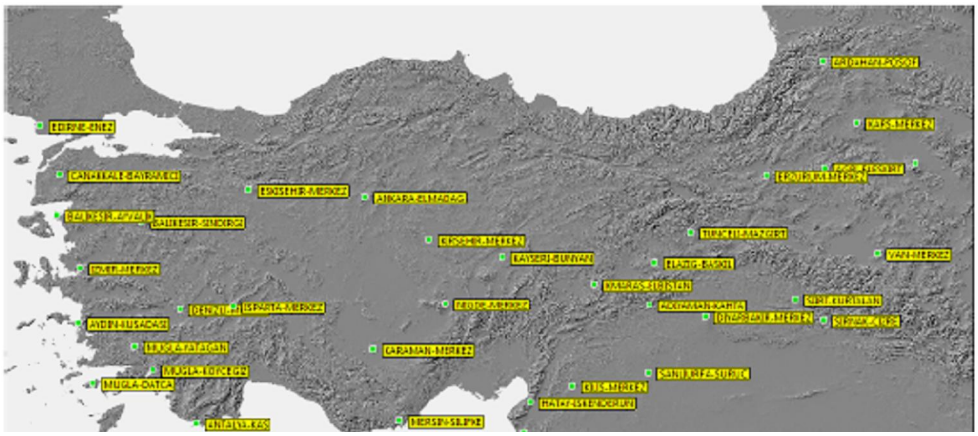
Konferans sonucunda Türkiyeôye toplam 539 analog noktasal tahsis (assigment) yapēlmēktēr. Bunlardan 143 tanesi Bant III, 178 tanesi Bant IV ve 218 tanesi ise Bant V ôte yer almaktadēr. ķekil 1ôde Türkiye analog noktasal tahsisleri (assigment) gösterilmiķtir.



ķekil-1: Türkiye analog noktasal tahsis (assigment) haritasē.[15]

GE06 Planē çerçevesinde Türkiyeôye tahsis edilen sayēsal noktasal tahsis (assigment) sayēsē 36, sayēsal alansal tahsis (allotment) sayēsē da 1015 olmuķtur. Noktasal tahsislerin 14 ü Bant IVôte ve 22 si Band Vôtedir. Alansal tahsislerin 826 adeti DVB-T için, 189 tanesi de T-DAB için ayrēlmēktēr. DVB-T alansal tahsislerinin 93 ü Bant IIIôte, 236 sē Bant IV óte ve 497 si Bant V óte yer almaktadēr. 36 noktasal tahsisinin tamamē DVB-T óye ayrēlmēktēr. ķekil 2 óde DVB-T noktasal tahsisleri verilmiķtir.

[15] ITU, Final Acts of RRC-06, 2006



Şekil 2: Türkiye DVB-T noktasal tahsis (assignment) haritası[16]

Ayrıca DVB-T için tahsis edilen 826 alansal tahsisine başlı olarak 96 alansal tahsis konturu oluşturulmuştur. Bahsedilen 96 kontur şekil 3 üte gösterilmektedir.



Şekil 3: Türkiye DVB-T alansal tahsis (allotment) haritası[17]

Konferans kapsamında belirtilen coğrafi bölge ve buradaki ülkeleri kapsayacak şekilde geçiş döneminde analog ve sayısal yayınların birlikte varlığını

[16] ITU, Final Acts of RRC-06, 2006

[17] A.g.e.

sürdürmesinden sonra, UHF'de 2015 yılında ve VHF'de de 2020 yılında analog yayınlara tamamen son verilerek sayısal yayıncılığın devam etmesine karar verilmiştir. Daha çok ekonomik yeterliği düşük olan ülkelerin talep ve onların korunmasına yönelik bir değerlendirmeyle belirlenen bu tarihler için, bazı ülkeler sırasıyla 2020 ve 2025 olarak uygulamasıı hususunda deklarasyonlar da vermişlerdir. Bununla birlikte gelişmiş Avrupa ülkelerinin mevcut sayısal yayıncılık konusundaki politika ve faaliyetleri dikkate alınarak; bundan sonraki süreçte Ülkemizde de paralel hızlı bir geçiş olacağı ve fiili gerçekleşmeler itibariyle bu tarihlerin beklenmeyeceği öngörülmektedir.

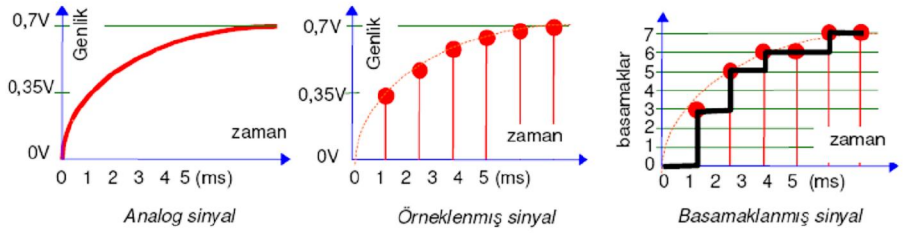
BÖLÜM 2:

SAYISAL KARASAL TELEVİZYON YAYINCILIĞI

2.1 Sayısal Görüntünün Üretilmesi ve İletilmesi

Analog işaretlerin sayısala dönüştürülmesi, örnekleme, basamaklama ve kodlama olmak üzere üç aşamada yapılır. Analog sinyaller zaman ve genlik olarak sürekli sinyallerdir. Bunların sayısallaştırabilmek için önce belli aralıklarda örnekler alınması gerekir. Örnekleme sıklığı sayısallaştırılmak istenen sinyalde bulunan en yüksek frekans bileşeninin iki katından fazla olmalıdır. Aksi halde spektrum örtüşmesi yüzünden bozulmalar meydana gelir ve orijinal sinyal tekrar elde edilemez.

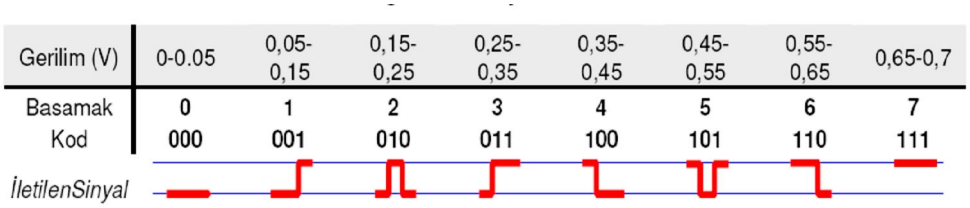
Alınan örneklerin genlikleri herhangi bir değerde olabilir. Buna karşılık işaretin sayısala çevrilebilmesi için kullanılacak seviye sayısının sınırlı olması gerekir. Bu sayı, her bir örnek için kullanılacak kod uzunluğu ya da bit sayısı tarafından belirlenir. Örnek olarak 8-bitlik bir kodlama yapılacaksa 256 (2^8) seviye, 3-bitlik bir kodlama yapılacaksa sadece 8 (2^3) seviye kullanılabilir. Seviye veya basamak sayısının artması alıcı tarafta sayısal/analog dönüştürücü çıkışında elde edilecek sinyalin kalitesini belirler. Daha iyi kalite için daha çok bit ve daha çok basamak kullanmak gerekir.



Şekil 4: Analog işaretin sayısala dönüştürülmesi (1).[18]

[18] Morgül, Avni, *Sayısal Televizyon Tekniği*, Papatya yayınları, İstanbul, 2011, s.137.

Örnek olarak 0ï 0,7V arasē deđiken bir sinyali 3-bitlik bir kodlama ile sayēsallaktērmak istiyorsak basamak sayēsē 8, aralēk sayēsē ise 8ï 1=7 dir. 0,7 volt 7 aralēđa bölünürse iki basamak arasē 0,1V olur. Basamak sayēsē belli olduktan sonra her basamađa karkē düken bir kod oluktturulur. Bu, genelde, basamak numarasēnēn ikili sayē sistemindeki karkēlđēdēr.



Şekil 5: Analog ikaretin sayēsala dönüktürülmesi (2).[19]

Kodlama iklemini gerçeklektirmek için alēnan örneđin genliđine bakēlēr. Bu genliđe en yakēn basamak hangisi ise o basamađēn kodu gönderilir. Örneđin sinyal genliđi 0,62 volt olsun. Bu đere en yakēn basamak 0,6V seviyesine karkē düken 6. basamak olduđundan onun kodu olan 110 kodu çēkēka iletilir.

Alēcēda ters iklem yapēlēr. Önce, seri olarak gelen bit dizileri ikili sayēya dönüktürülür. Bu sayē bir sayēsal/analog dönüktürücü yardēmē ile gerilime çevrilir. Elde edilen basamaklē gerilim süzülerek analog ikaret tekrar elde edilir.

Standart TV yayēn kalitesinde bir görüntü için 13MHz civarēnda örnekleme hēzlarē ve renkli resim için örnek bakēna 24 bitlik kodlama gerekir. Bu durumda sayēsal olarak kodlanan bir görüntünün iletilmesi için gerekli veri hēzē basit bir hesapla bulunabilir;

$r_n = 13x24=312Mb/s$

[19] Morgül, Avni, *Sayēsal Televizyon Tekniđi*, Papatya yayēnlarē, Đstanbul, 2011, s.138.

Görüldüğü gibi standart bir resim için bile veri hızı saniyede 300Mb (300 milyon bit)'in üzerine çıkmaktadır. Yüksek çözünürlüklü televizyon sistemlerinde (HDTV) ise veri hızı 1Gb/s'den fazla olacaktır. Bu kadar yüksek bir veri hızında TV işaretlerinin iletilmesi ve saklanması pratik olarak uygulanabilir değildir. Bu durumda yapılacak tek iş sayısallaştırılmış işaretin özel tekniklerle sıkıştırılarak veri hızının makul seviyelere çekilmesidir. Standart TV için 3-8Mb/s, HDTV için 10-12Mb/s gibi makul hızlara inebilmek için 100:1, 50:1 gibi oranlarda bir sıkıştırmaya gerek vardır.

Elde edilen kodlanmış sayısal işaretin kablo veya uzaydan iletilmesi için bir sayısal kipleme (modülasyon) işlemine tabi tutulması gerekir. Bu iş için her tür sayısal kipleme kullanılabilirse de sayısal TV yayını için belirli kiplemeler standart olarak kabul edilmiştir.

Standartlarda görüntü sıkıştırma yöntemi olarak MPEG-2 veya MPEG-4 kullanılmaktadır. Avrupa'daki sayısal TV yayınlarında DVB standardının üç değişik kipleme biçimi kullanılmaktadır.[20]

- DVB-T: Karasal yayınlar için COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Modulation: Kodlu Dikgen Frekans Bölümlemeli Kipleme)
- DVB-S: Uydu yayınları için QPSK (Quadrature Phase Shift Keying: Dikgen Faz Ötelemeli Anahtarlama)
- DVB-C: Kablo yayınları için QAM (Quadrature Amplitude Modulation: Dikgen Genlik Kiplemesi)

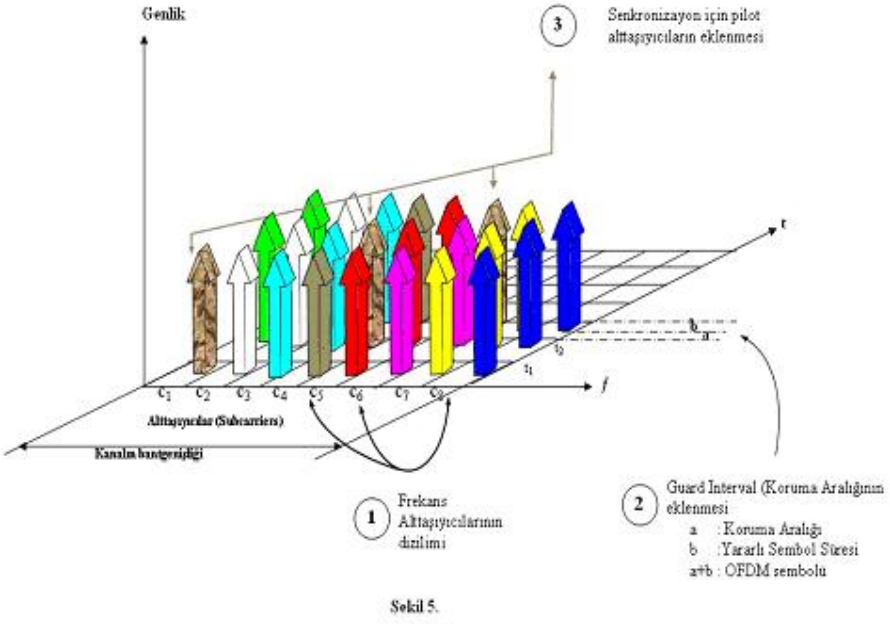
A.B.D.de yerel yayınlar için COFDM yerine, bugün analog yayınlar için kullanılan tek yan bandı kısmen bastırılmış bir genlik kiplemesinin sayısala uyarlanmış şekli olan 8-seviyeli VSB (Vestigial Side Band: Kuyruklu Yan Band) kiplemesi tercih edilmiştir.

[20] ISO/IEC1318 ve ITU-R601Tavsiye Dokümanları

Sayısal karasal televizyon yayıncılığında, kullanılacak kanal bant genişliği, frekans domeninde birden çok fazla alt taşıyıcıya bölünür. Bununla birlikte zaman domeninde de bölme işlemi yapılarak zaman dilimleri de oluşturulur.

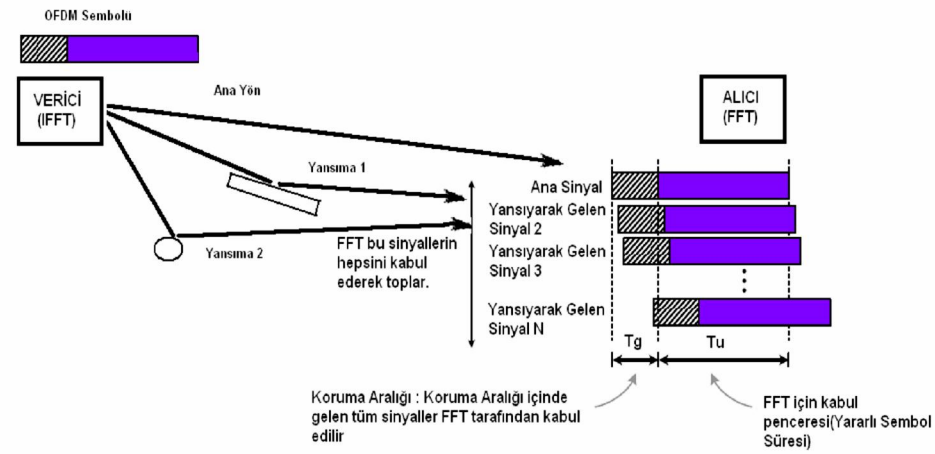
Daha sonra alt taşıyıcılar, zaman ve frekans dilimlerine ayrılan iletim kanalına ortogonalliği sağlayacak şekilde yani alt taşıyıcılar arası sembol süresinin tersine eşit olacak şekilde dizilirler.

Çeşitli yüzeylere çarparak gelen yansımaların sembolü etkilememesi için her sembolden önce koruma aralığı denen bir boşluk eklenir. Koruma aralığının iki önemli özelliği vardır. Birincisi semboller arası enterferansı engeller. İkincisi ise yansıyan yönlerden gelen sinyallerin eğer gecikmeleri koruma aralığından küçükse, bu sinyalleri ana yön sinyali ile toplayarak sinyale kuvvetlendirici etki yapmasını sağlar ve bu aralıkta taşıyıcılar arası enterferansa müsaade etmez. (Şekil 6 ve 7).



Şekil 6: OFDM Sembolleri.[21]

[21] Cücioğlu, İbrahim, "DVB-T", *Ders Notu, Samanyolu TV Vericiler Müdürü* http://www.satturkey.com/DVB-T.pdf (02/10/2011)



Şekil 7: Koruma aralığının ikleyişi.[22]

Sinyalin doğru demodüle edilebilmesi için yani OFDM sembolünün koruma aralığından sonraki yararlı sembol süresinin nerede başladığını bildirmek için senkronizasyonu sağlamak amacıyla pilot taşıyıcılar kanalın içine düzgünce dağıtılır.

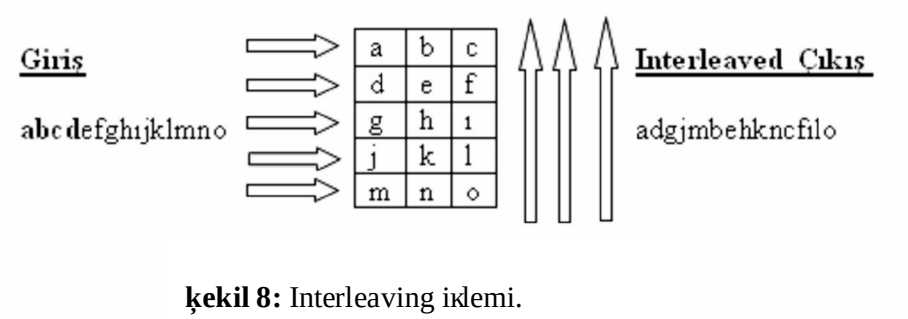
Her tür sayısal haberleşme sisteminde hata kodlama yapmak gerekir. FDM yapıdan iletim kanalının frekans cevabı her alt taşıyıcı için aynı olmadığından dolayı hata kodlaması gerekir. Burada amaç, olabilecek düşük SNR (Signal to Noise Ratio / Sinyal Gürültü Oranı) için alıcı tarafında kabul edilebilir bir BER (Bit Error Ratio / Bit Hata Oranı) değeri sağlamaktır. Yani alıcı tarafına, iletim sırasında gönderilen veride oluşabilecek hatalı bit sayısını en aza indirerek ulaştırmak için kodlama yapmaktır.

RF kanallarının içinde frekansa bağlı çöküntüler oluştuğundan, OFDM alt taşıyıcıları genellikle farklı genliklere sahip olurlar. Eğer RF kanalı içindeki çöküntüler derin ise bu da iletilen bilginin hatalı olarak gönderilmesine sebep olacaktır. Bu nedenle bitişik bitleri birbirinden ayırarak kanal içindeki çöküntülerden dolayı bilgi demetinin tümünün bozulmasını engellemek ve bilgiyi

[22] Cücioğlu, İbrahim, "DVB-T", *Ders Notu, Samanyolu TV Vericiler Müdürü* http://www.satturkey.com/DVB-T.pdf (02/10/2011)

alıcı tarafında en az hata ile oluşturmak için interleaving-girişim denilen işlem yapılır.

Kısaca, iletilecek bilgiyi bir matrise satır satır yazıp sütun sütun okuyarak yeni bir bilgi demeti oluşturmaktır (şekil 8). Burada aynı veriye ait bitişik bitler birbirinden ayrılmakta, iletim sırasında herhangi bir bozulma olsa da alıcı tarafında de-interleaving yapıldığında aynı bilgiye ait bitlerin önemli kısmı başka frekans diliminden bozulmayarak geldiğinden ana bilgi aynen tekrar oluşturulabilmektedir.



Şekil 8: Interleaving işlemi.

2.2 COFDM Kipleme Tekniği

Avrupa ülkeleri sayısal TV yer yayınları (DVB-T) için VSB sistemine göre daha karmaşık olan fakat özellikle yansımalı olarak yayılan sinyallerde daha hatasız çalışan Kodlu Dikgen Frekans Uzayı Çoğullamalı (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex, COFDM) kipleme sistemini kabul etmişlerdir. Bu tür yayınlar ilk olarak 1999 yılında İngiltere'de başlamıştır.

OFDM kiplemesi sayısal kelimelerin her birine ayrı bir taşıyıcının tahsis edilmesi esasına dayanır. Bu kiplemenin avantajları şöylece özetlenebilir:

- Örtüşmeye izin verdiğinden frekans spektrumunu daha etkin olarak kullanır.
- Frekans bölgesini dar bantlı ve düzgün pek çok alt kanallara böldüğünden frekansa bağlı bayılmaya (frequency selective fading) tek taşıyıcılı sistemlere oranla çok daha fazla dayanıklıdır.

- Çerçeveler arasına fazladan bitler konularak semboller arası (ISI) ve çerçeveler arası (IFI) karışma önlenebilir.
- Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) teknikleri sayesinde kipleme ve kip çözme işlemleri kolaylıkla uygulanabilir.
- Kanal frekans düzeltmesi (Equalization) adaptif teknikler kullanılmasına gerek kalmadan kolaylıkla yapılabilir.
- Örnekleme zamanı kaymalarına karşı daha az duyarlıdır.
- Yan kanal karışmalarına ve parazitik gürültülerden daha az etkilenir.
- Portatif ve mobil alışa imkan verir.
- Çevre yükseltilere çarparak gelen sinyaller (yansımalar) bozucu değil kuvvetlendirici etki yaparlar.

Bunlara karşılık OFDM kiplemesinin kötü yanları da vardır. Bunlar:

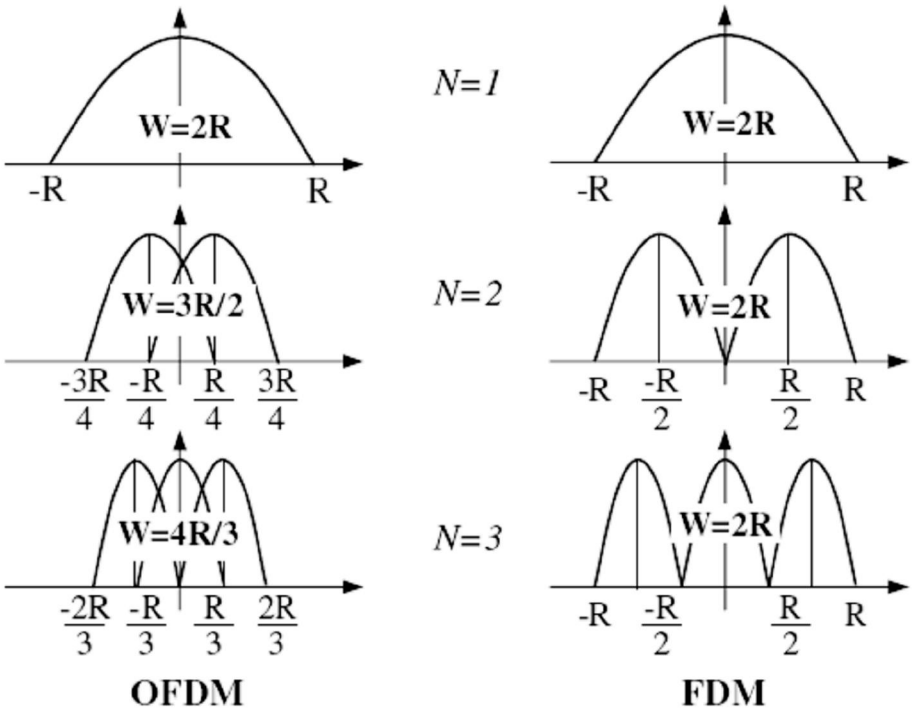
- OFDM işaretinin genlik değişimi gürültü sinyali gibi ani yükselmeler ve düşmeler gösterir. Yani işaretin tepe değeri ile ortalama değeri arasında 6/1 hatta bazen 8/1 gibi büyük oranda farklar vardır. Bu da kullanılacak RF güç kuvvetlendiricilerinin büyük dinamik seviyeye sahip olmalarını ve düşük verimli olmalarını gerekli kılar.
- Taşıyıcı frekans kaymalarına çok duyarlıdır.

Frekans bandını etkin bir şekilde kullanan Dikgen Frekans Uzayı Çoğullamalı (Orthogonal Frequency Division Multiplex, OFDM) kiplemesi aslında 1970'li yıllarda bulunmuştu. Ancak o yılların teknolojisi ile uygulanması zor olduğundan 25 yıl kadar kullanım alanı bulamadı. Son yıllarda sayısal sinyal işleme tekniklerinin ve çok geniş çaplı tüm-devrelerin gelişmesi ile Sayısal Radyo-TV yayınları ile Telsiz Yerel Veri iletişimi sistemlerinde başarı ile kullanılmaya başlanmıştır.

Dikgen Frekans Uzayı Çoğullamalı (OFDM) sistemin temeli, gelen veri dizisini çok sayıda paralel küçük dizilere ayırarak her bir küçük diziyi ayrı taşıyıcılarla, paralel bir şekilde, iletmek esasına dayanır. Bu taşıyıcıların frekanslarının

ve fazları uygun seçilerek bunların birbirine dikgen (orthogonal) olması sağlanır. Bu durumda yan yana gelen taşıyıcıların tayflarının örtüşmesi (spectral overlapping) işaret bir zarar vermez. Bu da taşıyıcıların birbirine daha yakın seçilebilmesini sağlar ki sonuçta frekans bandı daha etkin bir şekilde kullanılmış olur. Yani aynı frekans bandına daha fazla taşıyıcı yerleştirilebilir. Bilinen ve sayısal iletişimde yaygın olarak kullanılan Frekans Çoğullamalı Sistemler (FDM) ile OFDM arasındaki en önemli fark budur. Şekil 10'da bu iki sistemin karşılaştırılması verilmiştir. Açıkça görüldüğü gibi FDM kiplemede frekans bant genişliği, $W_{FDM}=2R=2(N/Ts)$, taşıyıcı sayısından bağımsızdır. Buna karşılık OFDM'de taşıyıcı sayısı arttıkça bant genişliği azalarak çok sayıda ($N>100$) taşıyıcı için FDM'in yarısına düşer.

$W_{OFDM} = R = N/T_s$ ($N > 100$ için)



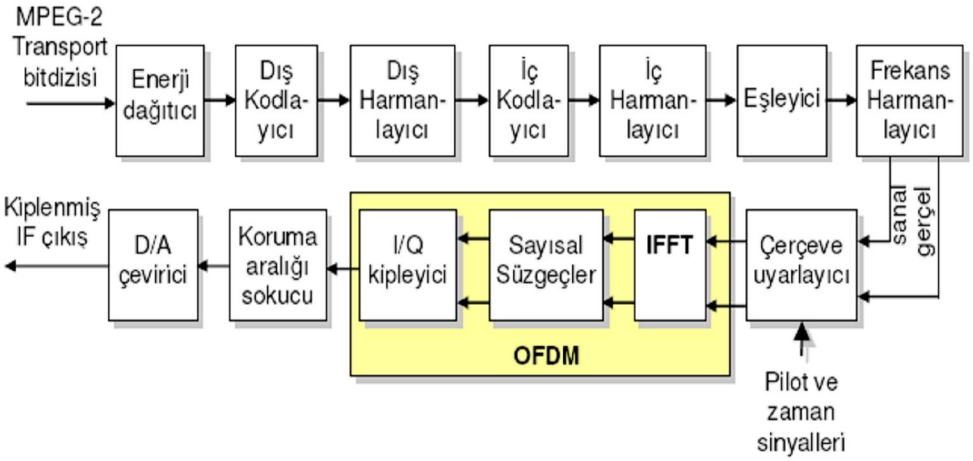
Şekil 9: OFDM ve FDM kiplemelerinin frekans spektrumları[23]

[23] Morgül, Avni, *Sayısal Televizyon Tekniği*, Papatya yayınları, İstanbul, 2011, s.213.

Sayısal karasal TV yayınlarında kullanılan OFDM kodlamasında DVB-T de 2048 (2k) ve 8192 (8k) taşıyıcı olmak üzere iki farklı yayın modu kullanılır. Sonraki bölümde bahsedileceği üzere DVB-T2'de bunlara 1k, 4k, 16k ve 32k taşıyıcı modları da eklenmiştir.

Bu taşıyıcıların hepsi veri iletiminde kullanılmaz. Bunlardan bir kısmı sinyal gücünü ve iletim ortamının özelliklerini belirlemek için ve kanaldaki yansımaların yok edilmesi için kullanılır. Bir kısmı hiç kullanılmaz. Bir kısmı da pilot olarak kullanılır.

Gönderilecek sinyalin önemine göre taşıyıcılar 4QAM (QPSK), 16QAM, 64QAM veya DVB-T2'de kullanılması mümkün olan 256QAM olarak kiplenir. MPEG kodlama parametreleri, yayın başlıkları gibi önemli parametreler QPSK olarak kiplenir. Buna karşılık bozulması halinde hayati bir kayıp olmayan görüntü bilgileri ise gürültüye karşı daha dayanıksız olan fakat daha çok veri taşıma kapasitesi bulunan 64QAM yöntemiyle kiplenir.



Şekil 10: COFDM Kiplemesinin Blok Şeması[24]

Şekil 10'da COFDM kiplemesinin blok şeması verilmiştir. MPEG Transport dizisi OFDM kipleyiciye verilmeden önce bit dizileri üzerinde "Enerji Dağıtıcı"

[24] Morgül, Avni, *Sayısal Televizyon Tekniği*, Papatya yayınları, İstanbul, 2011, s.217.

blok yardımı ile değişiklikler yapılarak elde edilecek sinyalin her frekanstaki enerjilerinin mümkün olduğu kadar eşit yapılmasına çalışılır. Daha sonra dış ve iç hata kodlayıcı ve harmanlayıcı devreler yardımı ile sayısal işaretler iletim hatalarına karşı korunur. En sonunda veri bitleri çerçeveler halinde OFDM kipleyiciye uygulanır.

Kipleyici çıkışında çerçeveler arasına çerçeve uzunluğunun ¼, 1/32'si gibi oranlarda koruma aralıkları bırakılır ve bu aralıklar çerçevenin son kısmındaki sinyalin aynısı ile doldurulur. Böylece alıcıda bu sinyalin kendisi ile evrişimi kullanılarak sembol eşzamanlaması kolayca yapılır.

Karasal OFDM TV sinyali 6, 7 ve 8Mhz band genişliklerinde yayınlanabilir. Kullanılacak band genişliğine göre sembol süreleri ve taşıyıcı frekans aralıkları ayarlanır.

2.3 Tek Frekanslı Yayın Sistemi (Single Frequency Network - SFN)

Sayısal karasal yayının diğer bir avantajı da belli bir bölgede kullanılabilecek verici sayısını arttırmaktır. Analog TV yayınlarında bir verici belli bir kanalda, örnek olarak UHF 60. kanalda, yayın yapıyorsa bu vericinin kapsama alanı içinde aynı kanalda ve komşu 59. ve 61. kanallarda ve bu kanaldan 39MHz ötedeki 66'ıncı 67. kanallarda başka bir verici yayın yapamaz. Aksi takdirde bu vericiler birbirinin işaretini karıştırıp bozar. Bu yüzden özellikle İstanbul, Ankara gibi büyük şehirlerde aynı yayınlar başka bölgelerde farklı kanallardan yayın yaparlar. Bu da bir bölgede yayın yapabilecek program sayısını büyük ölçüde sınırlar.

Sayısal karasal yayın sisteminde aynı bölgedeki vericiler aynı frekanstan eşzamanlı yayın yapabilirler. Bu sisteme "tek frekanslı yayın sistemi (single frequency network)" adı verilir. Bu sistemde değişik vericilerden gelen sinyaller alıcı tarafından tıpkı yansımış işaretler gibi algılanır. Yansımış sinyaller yansıma

süresi belli bir değerden az olduğu zaman OFDM kiplemede bir sorun yaratmaz ve temiz bir görüntü elde edilebilir.

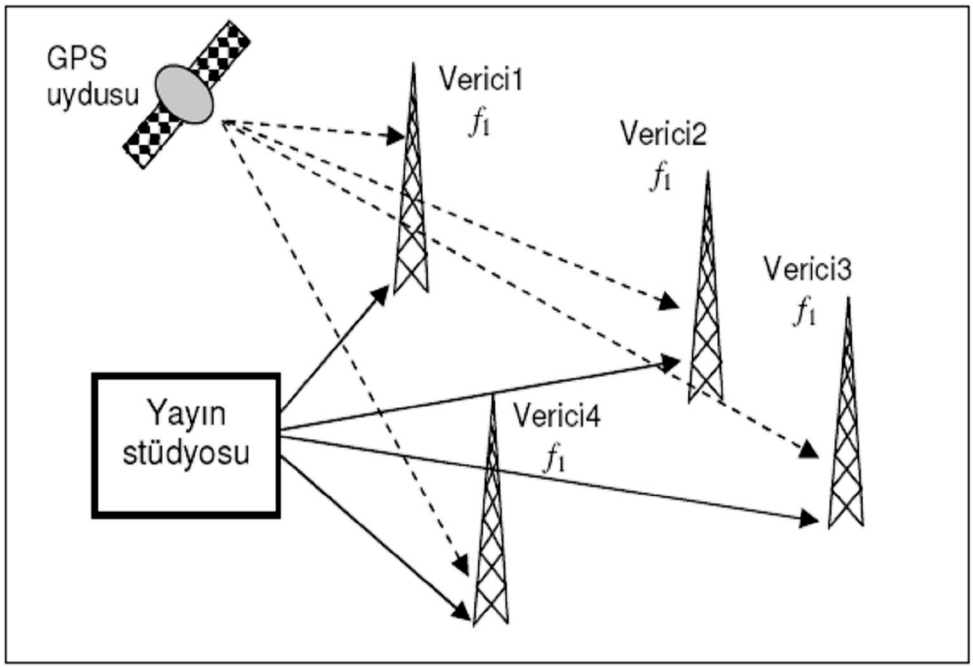
Yansımaların ve aynı frekanstaki diğer vericilerden gelen sinyallerin bozucu etki yapmaması için en uzun gecikme süresinin OFDM paketleri arasındaki koruma aralığı (guard) süresinden kısa olması gereklidir. Bu da aynı frekanstaki vericiler arasındaki en uzak mesafeyi sınırlar. Elektro-manyetik dalgalar ışık hızında yayıldığına göre bu mesafe kolayca hesaplanabilir. Tablo 1'de çeşitli yayın modları için bu mesafeler verilmiştir.

Mod	8/7MHz kanal			
	Koruma aralığı oranı	Sembol süresi µs	Koruma aralığı µs	Verici uzaklığı km
2k	¼	224/256	56/64	16,8/19,2
2k	1/32	224/256	7/8	2,1/2,4
8k	¼	896/1024	224/256	67,1/76,7
8k	1/32	896/1024	28/32	8,4/9,6

Tablo 1: 8k ve 2k modunda kanal bant genişliğine göre vericiler arasındaki en uzak mesafeler.[25]

Görüldüğü gibi 8k modunda 2k moduna göre daha geniş bir kapsama alanı elde edilmektedir. Ayrıca kanal band genişliği azaldıkça da mesafe artmaktadır. Bu tür yayının en zor tarafı vericiler arasında eşzamanlılığı sağlamaktır. Bunun için Küresel Yerbulum (GPS) Sisteminden yararlanılır. Bu uydulardan bir saniye aralıklı eşzamanlama sinyalleri yayınlanır. Profesyonel GPS alıcıları bu sinyalleri kullanarak 10MHz'lik bir referans frekansı üretir. Vericiler de bu referans frekansı kullanarak birbirine kenetli, fazı ve frekansı aynı olan, takıyıcı frekansları üretirler. Ayrıca 1 saniyelik referanslar kullanılarak mega paketlerin aynı anda yayınlanması sağlanır.

[25] Morgül, Avni, *Sayısal Televizyon Tekniği*, Papatya yayınları, İstanbul, 2011, s.242.



Şekil 11: Tek Frekanslı Yayın Sistemi[26]

2.5 Sayısal Yayında Görüntü Formatları ve HDTV Yayıncılığı

DVB-T için görüntü sıkıştırma yöntemi olarak MPEG2 standardı kabul edilmiş olsa da elde edilmek istenen resim kalitesi ve kullanılacak ülkelere göre değişik resim formatları söz konusudur. Bu standartlaşmalar resim kalitesine göre "Yüksek Çözünürlü (HDTV)" ve "Standart Çözünürlü (SDTV)" olmak üzere ve ülkelere göre de 50 ve 60 Hz olmak üzere dört ayrı kategoride düşünülebilir.

[26] Morgül, Avni, *Sayısal Televizyon Tekniği*, Papatya yayınları, İstanbul, 2011, s.241.

	50Hz		60Hz	
	HDTV	SDTV	HDTV	SDTV
Benek×Satır	1920x1080	720x576	1920x1080	704x480
	1280x720	544,480,352x576	1280x720	640x480
En:Boy	16:9	16:9,4:3	16:9	16:9,4:3
Tarama	Sürekli (P)	Sürekli (P)	Sürekli (P)	Sürekli (P)
	Geçmeli (I)	Geçmeli (I)	Geçmeli (I)	Geçmeli (I)
Çerçeve/s	50I, 25P	50I, 50P, 25P	60I,30P, 24P	60I, 60P, 30P, 24P
	50P, 25P	50I, 25P	60P, 30P, 24P	60I, 60P, 30P, 24P

Tablo 2: Sayısal Görüntü Formatları[27]

Son zamanlarda EBU Teknik komite tarafından sürdürülen bir çalışmada izleyici kitle için çekicilik sağlamak adına gelecekte bütün Tv programlarının HD kalitesinde olacağı ve karasal ortamdan en az 20'si 25 HDTV programın sunulacağı öngörülmektedir.[28]

Sıkıştırılmış HDTV video sinyalinin iletimi için kullanılan veri iletim hızı, HDTV yayıncılığında önemli bir etkendir. Bu etken, hem izleyici tarafından alınan görüntü kalitesini hem de iletim masraflarını etkileyen kritik bir faktördür.

HDTV iletimi sağlayacak olan sayısal iletim ağı kapasitesi aşağıdaki faktörlerden etkilenmektedir;

- Kullanılan sıkıştırma tekniği (MPEG-2 veya MPEG-4)
- Kullanılan HDTV tarama formatı
- Kabul edilebilir görüntü bozulma derecesi

[27] Morgül, Avni, *Sayısal Televizyon Tekniği*, Papatya yayınları, İstanbul, 2011, s.159.

[28] EBU – Tech 3334 (şubat 2009), "Accommodation of HDTV in the GE06 Plan", *EBU Cenevre*, http://tech.ebu.ch/webdav/site/tech/shared/tech/tech3334.pdf (03/10/2011)

- Kodlayıcıdan geçişte her resmi kalite iyileştirmesinden geçirmek için zaman kalmayabilir. En azından bazı canlı iletilen yayıncılık materyali sürekli gerçek zamanlı kodlamaya ihtiyaç duymaktadır.

- HDTV sinyalin istatistiksel çoklamanın bir parçası olup olmayacağı
- Üreticinin kodlama ekipmanının performansı
- Evde izleme mesafesi ve ekran tipi ve boyutu
- Ağır basan içerik çeşitleri

Avrupa'daki karasal ortamdan HDTV yayını yapacağını ilan eden bütün yayıncı kuruluşlar MPEG‐4 sıkıştırma tekniğini kullanacaktır.[29]

EBU, 4 adet HDTV üretim formatı tanımlamıştır, bunlar; 720p/50, 1080p/25, 1080i/25 ve 1080p/50 dir. Bunlardan 1080i/25 ve 720p/50 formatları yayıncılık için veya diğer ikincil dağıtım formları şeklinde de kullanılabilecekken 1080p/25 formatı şu anda sadece üretim formatı olarak kullanılabilmektedir. 1080p/50 formatı ise gelecekte üretim ve dağıtım için kullanılabilecek olan üçüncü nesil HDTV formatı olarak tanımlanmıştır.[30]

EBU tarafından farklı sağlayıcılar tarafından sunulan MPEG-4 kodlayıcılarla yapılan testler sonucunda, iyi kalitede SDTV ile kıyasla önemli derecede daha kaliteli alık sağlayan HDTV resim kalitesinin elde edilmesi için aşağıdaki minimum sabit bit oranları tavsiye edilmiştir;[31]

- 1440 örneğe kadar yatay alt-örneklemeli 1080i/25 HDTV formatı için 12 Mbit/s

---

[29] EBU ï Tech 3334 (şubat 2009), ñAccommodation of HDTV in the GE06 Planò, *EBU Cenevre*, http://tech.ebu.ch/webdav/site/tech/shared/tech/tech3334.pdf (03/10/2011)

[30] A.g.e.

[31] A.g.e.

- Yatay alt-örneklemesiz 1080i/25 HDTV formatı için 12-14 Mbit/s
- Yatay alt-örneklemesiz 720p/50 HDTV formatı için 10 Mbit/s

HDTV için bit oranı seçimi yapılırken bir takım faktörler hesaba katılmalıdır ve avantaj ve dezavantajlar göz önünde bulundurulmalıdır.

Hangi bit oranı uygulanırsa uygulansın, 720p/50 formatı kullanıldığında, her halükarda 1080i/25 formatından daha az, sıkıştırma tekniğinden kaynaklı riskler olucaktır. Bu nedenle 1080p/50 standardı yayıncılık için uygun hale gelene kadar, karasal HDTV yayıncılığı için 720p/50 formatını kullanmak daha avantajlıdır.[32]

Günümüzde faaliyet gösteren HDTV servisleri için kullanılan bit oranları, sürekli gelişim içinde olan kodlayıcı performanslarıtarafından kısıtlanmaktadır.

Pratikte HDTV yayıncılığı için bir dizi bit oranları kullanılmaktadır. Örnek vermek gerekirse İsviçre'de SRG adlı dijital platform 720p/50 formatı ile 13 Mbit/s bit oranını kullanmaktadır. Yine Almanya'da ARTE kanalı Temmuz 2008'den beri uydu ortamında 720p/50 formatlı yayınlarını 12 Mbit/s bit oranıyla iletmektedir. Belçika'da HDTV servisleri kablo ve IP ortamından programa bağlı olarak 720p/50 ve 1080i/25 formatlarında 9 Mbit/s bit oranıyla iletilmektedir. Fransa'da ise, TF1, France 2, Canal+, ARTE ve M6 kanalları karasal ortamdan 720p/50 ve 1080i/25 formatlarında HDTV yayını yapmaktadır. Bir HD çoklayıcı, 3 HD yayın içeren bir SFN'de, her bir yayın için ortalama 7,3 Mbit/s bit oranı ile istatiksel çoklama ile 64QAM modülasyon, ¾ kod oranı ve 1/8 koruma aralığı oranı parametreleri kullanılır.[33]

---

[32] EBU ï Tech 3334 (şubat 2009), ñAccommodation of HDTV in the GE06 Planò, *EBU Cenevre*, http://tech.ebu.ch/webdav/site/tech/shared/tech/tech3334.pdf (03/10/2011)

[33] A.g.e.

BÖLÜM 3:

DVB-T2 STANDARDI VE ÜSTÜNLÜKLERİ

3.1 Giriş

DVB-T2, DVB proje grubu tarafından geliştirilmiş olan ikinci nesil sayısal karasal iletim sistemidir. 2008 yılı Haziran ayında sonuçlandırılmış ve ticari olarak faaliyetine ilk kez 2009 yılı Aralık ayında İngiltere'de başlanmıştır. Günümüzde birçok ülkede DTT servislerin sağlanması için DVB-T kullanılmakta olmasına karşın, DVB-T2 şimdilik Avrupa'da sadece İngiltere, Finlandiya, İsveç ve İtalya'da ticari olarak faaliyettedir.[34] Ancak gelecekte bu durumun tersine döneceği ve DVB-T2'nin sağladığı sayısız avantaj nedeniyle dünya çapında yaygınlaşacağı öngörülmektedir.

DVB-T2, DVB-T ile karşılaştırıldığında önemli yararlar sağlayan ve ağ planlamasında yeni imkanlar sunan yeni bir karasal sayısal televizyon yayını standardıdır. Daha önceki DVB standartlarında kullanılmayan birçok yeni teknik içermektedir. Analog televizyon yayınından veya DVB-T'den, DVB-T2 sistemine geçilmesi gereksiniminin en belirgin nedeni, DVB-T2 standardının sunduğu daha yüksek spektrum verimliliğidir. Spektrum verimliliğinden kasıt, aynı spektrum için daha fazla programın iletilmesi veya aynı sayıda programın, daha yüksek ses ve görüntü kalitesinde veya kapsama kalitesinde iletilmesidir.

DVB-T, sadece sabit ve taşınabilir alıcılar için geliştirilmiş olup mobil alıcıya uyumlu değildir. DVB-T2 tasarlanırken de ilk bakıta sabit ve taşınabilir alıcı hedef alınmış olsa da, geliştirilmiş dayanıklılık ve yüksek derecede esnek yapısı nedeniyle mobil alıcıya kolaylıkla uyum sağlamıştır. DVB-T2, HDTV kanallarına uyum sağlamasi için, DVB-T ye göre en az %30 kapasite artışı sağlamak

[34] Bu bilgi Haziran 2011 tarihi itibariyle geçerlidir.

maksadıyla tasarlanmıştır. Kullanılan bilginin dayanıklılığının arttırılmasına için en son modülasyon ve kodlama teknikleriyle uyumludur. [35]

DVB-T2 standardının getirdiği yeniliklerden bazıları aşağıda sıralanmıştır;

- %25'e 30 aralığında kapasite kazancı sağlayan yeni nesil FEC ve yüksek konstelasyonlar (256-QAM modülasyon),
- 1/16, 1/128, 19/256 ve 19/128 gibi yeni koruma aralığı oranları,
- Band genişliğinde ortalama %2 genişleme (örneğin 8 MHz band genişliği için 7.61 MHz yerine 7.77 MHz),
- Bit, hücre, zaman ve frekans girişimlerini içeren genişletilmiş girişim (interleaving) imkanı,
- 1.7MHz, 5MHz ve 10MHz olmak üzere 3 adet yeni band genişliği,
- Mobil alıcı için ekstra esneklik ve performans,
- 2k ve 8k yanında, 1k, 4k, 16k ve 32k olmak üzere 4 adet yeni FFT (Fast Fourier Transform) çerçeve boyutu,
- Yüksek kod oranlı sinyallerin iletilmesi amacıyla modulasyon çeşitliliğine olanak sağlayan döndürülmüş konstelasyon,
- Alamouti kodlamanın değiştirilmiş bir formu olan MISO (Multiple Input Single Output – Çok Giriş Tek Çıkış) iletim modu,
- TFS (Time Frequency Slicing – Zaman Frekans Dilimleme) tekniği
- Bir yayın kanalından birden fazla alıcı modu için ve farklı görüntü formatlarında birden çok yayın yapmaya imkan sağlayan çoklu fiziksel katman boruları (PLP).

[35] Gozalvez David, Vargas David, Gomez-Barquero David ve Cardona Narcis, "Performance Evaluation of DVB-T2 Time Interleaving in Mobile Environments", *Mobile Communications Group – iTEAM Research Institute, Universidad Politecnicade Valencia, İspanya,* http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5594599 (03/10/2011-Üyelik gerektiren erişim)

DVB-T yerine DVB-T2'nin tercih edilmesindeki asıl neden büyük ölçüde artırılmış iletim kapasitesidir. Aynı zamanda, DVB-T'den çok daha uzun koruma aralığı (Guard Interval) sağladığı için çok geniş tek frekans ağları (SFN) kurulmasına olanak sağlar. MISO ve TFS seçenekleri kullanılarak, belirli ağ tiplerinde kapsama alanının artırılması olanak dahilindedir. MISO Alamouti tasarısı, taşınabilir ve mobil tek frekans şebekesindeki (SFN) kapsama alanını genişletmeyi olanaklı kılar. TFS uygulaması ile kapasite istatistiksel çoklama kullanılarak artırılabilir ve her bir servis birkaç frekans üzerinden iletilerek kapsama alanı genişletilebilir.

DVB-T2 standardı birçok seçenek ve kombinasyon sunmaktadır. Standart, daha fazla deneyim ve uzmanlık kazanmaya olanak sağlayacak şekilde optimizasyon sağlamak için kasıtlı bir şekilde esnek tasarlanmıştır. Fakat uygulamada olası kombinasyonların küçük bir altkümesinin kullanılabileceği tahmin edilmektedir.

Hali hazırda DVB-T, SFN ağları kurulumuna olanak sağlamaktadır. Fakat en uzun koruma aralığı sadece 224 µs'dir ve bu da SFN ağının boyutunu kısıtlamaktadır (224 µs için SFN boyutu 7.2 km'dir). DVB-T2'nin 16K ve 32K modlarında, daha büyük SFN ağları kurulumuna olanak sağlayan daha uzun koruma aralıkları mümkündür. Tablo 3, 4 ve 5'da 8 MHz, 7MHz ve 1.7 MHz kanal için bahsedilen koruma aralığı oranlarının FFT boyutuna göre değişken değerleri verilmiştir.

	Koruma Aralığı Oranları						
	1/128	**1/32**	**1/16**	**19/256**	**1/8**	**19/128**	**¼**
FFT Boyutu	**Koruma Aralığı Değerleri (µs)**						
32K	28	112	224	266	448	532	Belirsiz
16K	14	56	112	133	224	266	448
8K	7	28	56	66.5	112	133	224
4K	Belirsiz	14	28	Belirsiz	56	Belirsiz	112
2K	Belirsiz	7	14	Belirsiz	28	Belirsiz	56
1K	Belirsiz	Belirsiz	7	Belirsiz	14	Belirsiz	28

Tablo 3: DVB-T2 koruma aralıkları (µs), 8MHz kanal.[36]

	Koruma Aralığı Oranları						
	1/128	**1/32**	**1/16**	**19/256**	**1/8**	**19/128**	**¼**
FFT Boyutu	**Koruma Aralığı Değerleri (µs)**						
32K	32	128	256	304	512	608	Belirsiz
16K	16	64	128	152	256	304	512
8K	8	32	64	76,0	128	152	256
4K	Belirsiz	16	32	Belirsiz	64	Belirsiz	128
2K	Belirsiz	8	16	Belirsiz	32	Belirsiz	64
1K	Belirsiz	Belirsiz	8	Belirsiz	16	Belirsiz	32

Tablo 4: DVB-T2 koruma aralıkları (µs), 7MHz kanal.[37]

	Koruma Aralığı Oranları						
	1/128	**1/32**	**1/16**	**19/256**	**1/8**	**19/128**	**¼**
FFT Boyutu	**Koruma Aralığı Değerleri (µs)**						
8K	34,7	138,7	277,5	329,5	555,0	659,1	333,0
4K	Belirsiz	69,4	138,7	Belirsiz	277,5	Belirsiz	166,5
2K	Belirsiz	34,7	69,4	Belirsiz	138,7	Belirsiz	83,2
1K	Belirsiz	Belirsiz	34,7	Belirsiz	69,4	Belirsiz	41,6

Tablo 5: DVB-T2 koruma aralıkları (µs), 1.7MHz kanal.[38]

[36] EBU ï Tech 3348 (Mayıs 2011), ñFrequency and Network Planning Aspects of DVB-T2ò, *EBU Cenevre*, http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

[37] A.g.e.

[38] A.g.e.

Tablo 3, 4 ve 5 öde görüldüğü üzere, DVB-T2 öde çok sayıda FFT modu mevcuttur. Bunlardan 2k ve 8k modları DVB-T öde de mevcuttur ama asıl farklılık 16k ve 32k modlarının eklenmesidir. Bu durum, 8k moduna göre 2 ve 4 kat daha uzun faydalı sembol süresi sağlanması anlamına gelir. Örneğin UHF bandında 8k modunda 896 µs olan faydalı sembol süresi 16k moda 1792 µs, 32k moda ise 3584 µs olmaktadır.

Çok uzun sembol süreleri için, OFDM sinyali içinde taşıyıcılar arası mesafe kısalacağından, prensipte Doppler performansı düşecektir. Bu nedenle, 32k modu sabit çatı alıcı için düşünülmekte olup, kısmidilik UHF bandında, araç içi mobil alıcı için kullanılması pek mümkün değildir. Hatta nispeten daha düşük Doppler frekanslarında, taşınabilir iç mekan ve dış mekan yaya alıcı için bile 32k modunun uygun olduğunun doğrulanması gerekmektedir. UHF V bandına kıyasla, VHF bandının Doppler performansı 4 kat daha iyidir. Bu durum, VHF III bandından, DVB-T2 sistemi ile mobil servislerin sağlanmasına elverişli kılmaktadır.[39]

3.2 Dağınık Pilot Paternleri (Scattered Pilot Patterns)

DVB-T2 sisteminin diğer bir üstünlüğü ise 8 farklı pilot paterninin uygulanabilir olmasıdır. DVB-T öde sadece bir adet pilot paterni uygulanabilmektedir. Pilotlar net bilgi içermeyen, kanal hesaplaması, kanal eşitlemesi, senkronizasyon ve hata düzeltmesi gibi işlemler için kullanılan taşıyıcılardır. Sürekli, dağınık, çerçeve kapatıcı olmak üzere farklı pilot çeşitleri mevcuttur. Bunlardan dağınık pilot paternleri, DVB-T2öde kanal hesaplamaları ve her OFDM hücresi için kanal cevabının tahmin edilmesi için kullanılır. 8 farklı pilot paterni, farklı kanal kombinasyonları için tercih edilebilir. Örneğin, PP2, PP4 ve PP6 pilot patternlerinde, pilotlar iki OFDM sembolünde bir tekrarlandığı için en iyi Doppler performansı bu pilot paternlerinde sağlanır. Pilotlar arası mesafenin kısa olduğu PP1, semboller arası enterferansa karşı en dayanıklı pilot paterni iken mesafenin en yüksek olduğu PP6 ve PP7 en dayanıksız paternlerdir. PP8 sadece

[39] EBU ï Tech 3348 (Mayıs 2011), ñFrequency and Network Planning Aspects of DVB-T2ò, *EBU Cenevre,* http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

sabit alıcılar için uygundur. Zaman girişimi tekniği ile hiç veya çok az çalışabildiğinden mobil veya taşınabilir alıcılar için uygulanamaz. Tablo 6'da bahsedilen 8 dağınık pilot patterni gösterilmiştir.

	PP1	PP2	PP3	PP4	PP5	PP6	PP7	PP8	Açıklama
D_x	3	6	6	12	12	24	24	6	Bir dağınık pilot pattern dizisi içinde pilotlar arası mesafe veya bilgi taşıyıcı sayısı
D_y	4	2	4	2	4	2	4	16	Dizi uzunluğu veya bir dizinin içerdiği OFDM sembol sayısı
$1/D_xD_y$ (%)	8.33	8.33	4.17	4.17	2.08	2.08	1.04	1.04	Dağınık pilotların oranı

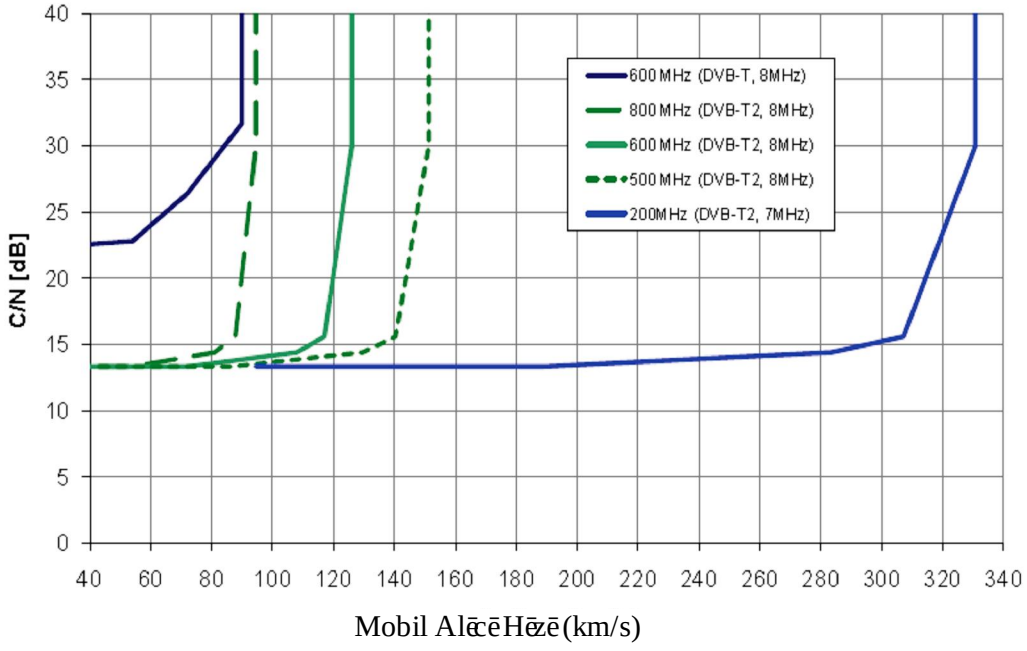
Tablo 6: DVB-T2'de kullanılan 8 farklı dağınık pilot paterni. [40]

3.3 Zaman Girişimi (Time Interleaving)

DVB-T2'nin sağladığı diğer önemli özelliği de, sistemi ani gürültü yükselmeleri (impulsive gürültü) ve zamana bağlı sönümlenmeye karşı dayanıklılığını önemli derecede arttıran zaman girişimi tekniğidir. Ayrıca zaman girişimi tekniği sistemin Doppler davranışını da etkiler. Daha çok mobil sistemler için geliştirilmiş olan zaman girişimi tekniği ile mobil sistemlerde zaman çeşitliliği sağlamak ve iletilen bilginin dayanıklılığını geliştirmek mümkündür. DVB-T2'de zaman girişimi tekniği, zaman çeşitliliği, gecikme ve güç tasarrufu gibi kriterler için oldukça esnek bir şekilde uygulanabilir. Şöyle ki, DVB-T2'deki sabit servislerinde gecikmeyi azaltmak için zaman çeşitliliğinden vazgeçebilirken mobil servislerde arttırılmış zaman çeşitliliğinden faydalanılabilir veya ek bir gecikme karşılığında güçten tasarruf sağlanabilir. DVB-T2'nin fiziksel katmanı, üstün performansı ve esnekliği nedeniyle, yeni nesil mobil TV standardı olan DVB-

[40] EBU Tech 3348 (Mayıs 2011), "Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2", *EBU Cenevre,* http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

NGHônin standardizasyon çalēkmalarēnda referans olarak dükünülmektedir.[41] Mobil alēk için zaman girikimi tekniĵinin saĵladēĝē gelikmeyi görmek açēsēndan ķekil 12ôdeDVB-T ve DVB-T2 için, mobil alēcēnēn hēzēnēn, takēyēcē - gürültü oranē ile (C/N) deĵikimini gösterir grafik yer almaktadēr. Grafikten de görüldüĵü üzere 600MHzôde DVB-T için maksimum alēcē hēzē 90 km/s iken DVB-T2ôde 125 km/s e kadar çēkmaktadēr. Grafikte ayrēca DVB-T2ônin 200MHz, 500MHz ve 800 MHz deki performansē da yansētēlmēktēr. Bu durum VHF bantēnēn mobil alēklar için çok daha uygun olduĵunu ēspatlamaktadēr.



ķekil 12: DVB-T ve DVB-T2 için mobil alēcē maksimum hēzlarē.[42]
(16-QAM modülasyon, 100ms zaman girikim süresi, 8k FFT)

---

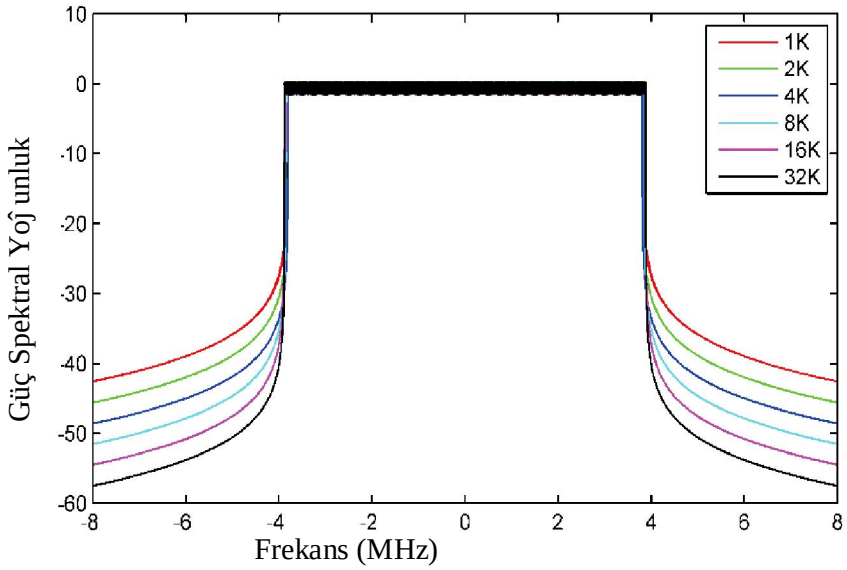
[41] Gozalvez David, Vargas David, Gomez-Barquero David ve Cardona Narcis, ñPerformance Evaluation of DVB-T2 Time Interleaving in Mobile Environmentsò, *Mobile Communications Group ï iTEAM Research Institute, Universidad Politecnicade Valencia, Ķspanya,*

http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5594599 (03/10/2011-Üyelik gerektiren erikim)

[42] EBU ï Tech 3348 (Mayēs 2011), ñFrequency and Network Planning Aspects of DVB-T2ò, *EBU Cenevre,* http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

3.4 Geniúletilmiú Mod (Extended Mode)

DVB-T2'de, RF kanalõn band geniúliği sõnõrlarõnõ değiútirmeden, 8k, 16k ve 32k FFT modlarõnda kullanõlan taúõyõcõ sayõsõ arttõrõlabilir. Bu durum Geniúletilmiú Mod olarak adlandõrõlmaktadõr. Kullanõlabilir taúõyõcõ sayõsõnõn yüksek olmasõ nedeniyle geniúletilmiú taúõyõcõ modu, normal taúõyõcõ moda nazaran daha yüksek veri iletim kapasitesine sahiptir. Úekil 13'de değiúik FFT modlarõ için geniúletilmiú taúõyõcõ mod güç spektral yoğunluk grafiği verilmiútir. Ayrõca Tablo 7'de farklõ FFT modlarõnda geniúletilmiú taúõyõcõ mod kazançlarõ verilmiútir.



Úekil 13: 1/8 koruma aralõğõ oranõ, 8MHz kanal ve geniúletilmiú taúõyõcõ modunda 8k, 16k ve 32k FFT modlarõ için teorik DVB-T2 sinyal spektrumu.[43]

[43] EBU ï Tech 3348 (Mayõs 2011), ñFrequency and Network Planning Aspects of DVB-T2ò, *EBU Cenevre*, http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

FFT Modu	Taşıyıcı Modu		Kazanç (%)
	Normal Taşıyıcı	Genişletilmiş Taşıyıcı	
1k	853	-	-
2k	1705	-	-
4k	3409	-	-
8k	6817	6913	1.41
16k	13633	13921	2.11
32k	27265	27841	2.11

Tablo 7: Farklı FFT modlarında genişletilmiş taşıyıcı mod kazançları.[44]

Genişletilmiş taşıyıcı modunda, 8 MHz UHF TV kanalı için gerekli spektrum maskesine uygun olarak, veri iletim hızı %2 civarında arttırılabilir.

3.5 Kapsama Kalitesi Açısından Karşılaştırmalı Simülasyon Örnekleri

DVB-T2 de her bit için gerekli minimum SNR (Sinyal-gürültü oranı, E_n / N_0) önemli derecede azalmıştır. Bu avantajdan yararlanmanın iki yolu vardır. Birincisi veri oranını sabit tutup, minimum alan kiddeti değerlerini azaltmaktır. Bu durumda kapsama alanı genişlerken, ağdaki verici sayıları azaltılabileceğinden maliyet da azalacaktır. Diğer taraftan, kapsama alanı sabit tutularak verici güçleri azaltılabilir ve dolayısıyla maliyet de azalır. İkincisi ise, minimum alan kiddeti değerini sabit tutup, artan iletim hızı kapasitesi için ek dayanıklılıktan yararlanmaktır. Bu durumda, aynı güçte daha fazla veri iletilebilecek, maliyet düşecek ve bu da HD servisleri sağlamak için ağ etkinliğini geliştirecektir.

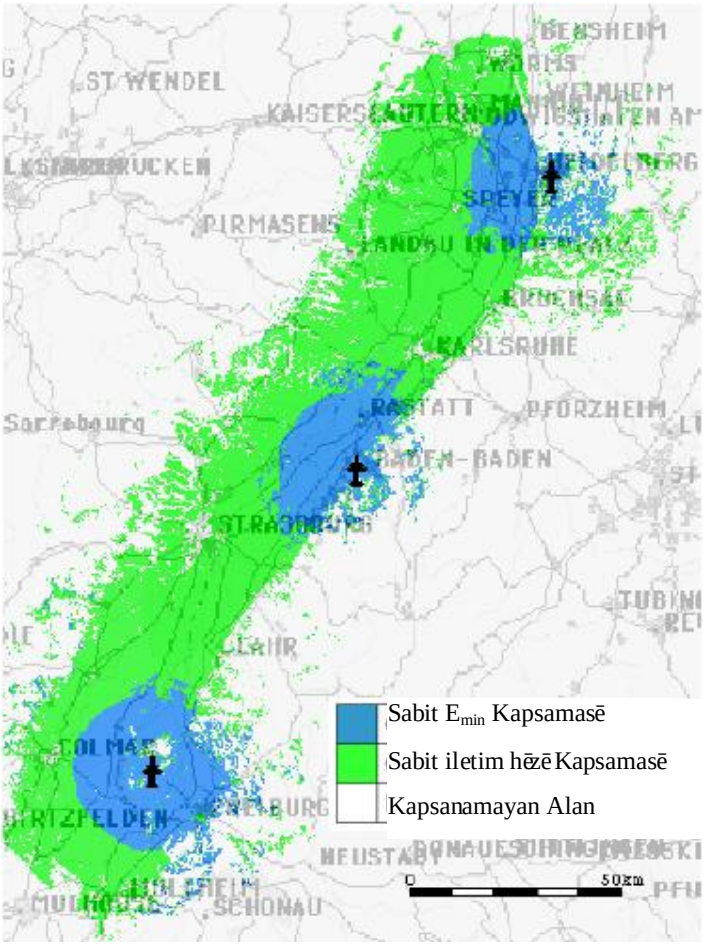
Almanya'nın güneybatı yakası için, DVB-T vericisi, minimum alan kiddeti değeri sabit tutulan DVB-T2 vericisi ve iletim hızı sabit tutulan DVB-T2 vericisi ile, taşınabilir iç mekan için, CHIRplus_BC yayıncılık planlama programı ile yapılan bir simülasyon örneği şekil 14 'de ve bu simülasyon için kullanılan parametreler Tablo 8 'de verilmiştir.

[44] EBU – Tech 3348 (Mayıs 2011), "Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2", *EBU Cenevre,* http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

	DVB-T	DVB-T2 Sabit E_{min}	DVB-T2 Sabit iletim hızı
Modülasyon	16-QAM	64-QAM	16-QAM
FFT Boyutu	8k	16k	16k
Koruma Aralığı	1/4	1/8	1/8
Kod Oranı	2/3	2/3	3/5
Taşıyıcı Modu	Normal	Genişletilmiş	Genişletilmiş
İletim Hızı (Mbit/s)	13.3	25.0	15.0
Program Sayısı (MPEG4)	6 SD 1 HD	14 SD 2 HD	6SD 1 HD
E_{min} (500Mhz, 1.5m)	68.4 dBµV/m	68.6 dBµV/m	62.4 dBµV/m

Tablo 8: DVB-T, sabit E_{min} DVB-T2 ve sabit iletim hızı DVB-T2 için taşınabilir iç mekan alıcı parametreleri.[45]

[45] LS Telcom - White Paper (Haziran 2010), "Planning DVB-T2 Advance and Challenge", http://www.lstelcom.com/en/data/files/customer_news_magazine/WHP01_3_DVB-T2_Planning.pdf (03/10/2011)



şekil 14: Sabit E_{min} ve sabit iletim hēzē için takēnabilir iç mekan alēkē.[46]

şekil 14 óte görüldüĵü üzere, iletim hēzē sabit tutulup minimum alan kıddeti deĵeri dükürülünce takēnabilir iç mekan alēk için kapsama önemli ölçüde artmaktadē.

Genik kapsama alanē ve yüksek iletim hēzē seçenekleri PLP (Physical Layer Pipe - Fiziksel Katman Borusu) kullanēlarak birlekтirilebilir. Yüksek iletim hēzēna sahip PLP kullanēlarak sabit alēklar için HD servisler saĵlanabilir ve diĵer PLP ile de takēnabilir iç mekan alēklarē için SD hizmetleri hedeflenebilir.

[46] LS Telcom - White Paper (Haziran 2010), ñPlanning DVB-T2 Advance and Challengeò, http://www.lstelcom.com/en/data/files/customer_news_magazine/WHP01_3_DVB-T2_Planning.pdf (03/10/2011)

SFN operasyonunda veri iletim hızında elde edilebilecek artık Tablo 9 ve Tablo 10 'da gösterilmiştir. DVB-T için minimum alan şiddeti, karşılaştırılacak gelen DVB-T2 parametrelerinin tespiti için kullanılmaktadır. DVB-T2 'deki genişletilmiş taşıyıcı modları (8K, 16K veya 32K) kanalın daha verimli kullanılmasına olanak sağlayacak şekilde spektrumun her iki tarafına taşıyıcı ekleme imkanı sağlamaktadır.

SFN modunda, taşınabilir alıcı için bir kanaldan 14 SD servisi (MPEGï 4, 576i) sağlanırken, sabit alıcı için bir kanaldan iyi derecede görüntü kalitesine sahip 4 HD servisi (MPEG-4, 720p) sunulabilmektedir.

DVB-T2 servisleri sadece sabit ve taşınabilir alıcıla sınırlı değildir. Gelecekte DVB-T2 mobil alıcı servisi, Gelecek Genişletilmiş Çerçeveler (Future Extention Frames) olarak isimlendirilen teknik temel alan DVB-NGH olarak geliştirilecektir ve aynı multipleks içinde sağlanabilecektir.

	DVB-T	**DVB-T2**
Modülasyon	16-QAM	256-QAM
FFT Boyutu	8k	32k
Koruma Aralığı	1/4	1/16
Kod Oranı	2/3	2/3
Taşıyıcı Modu	Normal	Genişletilmiş
Çıkış Hızı (Mbit/s)	19.9	37.0
Program Sayısı (MPEG4)	9 SD 2 HD	20 SD 4 HD
E_{min} (500Mhz, 10 m)	52.5 dBµV/m	51.8 dBµV/m

Tablo 9: SFN modunda sabit alıcı için iletim hızındaki muhtemel %85 artış.[47]

[47] LS Telcom - White Paper (Haziran 2010), "Planning DVB-T2 Advance and Challenge", http://www.lstelcom.com/en/data/files/customer_news_magazine/WHP01_3_DVB-T2_Planning.pdf (03/10/2011)

	DVB-T	DVB-T2
Modülasyon	16-QAM	64-QAM
FFT Boyutu	8k	16k
Koruma Aralığı	1/4	1/8
Kod Oranı	2/3	2/3
Taşıyıcı Modu	Normal	Genişletilmiş
İletim Hızı (Mbit/s)	13.3	25.0
Program Sayısı (MPEG4)	6 SD 1 HD	14 SD 2 HD
E_{min} (500Mhz, 1.5 m)	56.4 dBµV/m	56.8 dBµV/m

Tablo 10: SFN modunda taşınabilir dış mekan alış için iletim hızındaki muhtemel %88 artış.[48]

DVB-T ögde, 8MHz bir kanal, 8k taşıyıcı modu ve ¼ koruma aralığı varsayılırsa, bir SFN içindeki vericiler arası mesafe en fazla 67.2 km olabilir. DVB-T2 de ise, her vericinin aynı sinyali yaydığı SISO (Singel Input Singel Output ï Tek Giriş Tek Çıkış) operasyonu ile 8MHz kanal için, vericiler arası mesafe 159,6 km öden daha fazla olabilmektedir. Bu mesafedeki yeryüzü eğriliği oldukça fazladır ki bu da SFN içinde vericiler arası uzaklığı daha da arttırma imkanı sağlamaktadır.[49]

Kıyaslama yapmak için DVB-T ve DVB-T2 verici parametreleri kullanılarak, CHIRplus_BC yayıncılık planlama programı ile, Almanyaönün Baden-Wuerttemberg ve Bavaria eyaletlerini (470 km x 360 km) kapsamak amacıyla SFN simülasyon örnekleri verilecektir. Öncelikle DVB-T için yapılan kapsama çalışmasında aşağıda Tablo 11 öde gösterilen parametreler kullanılmıştır.

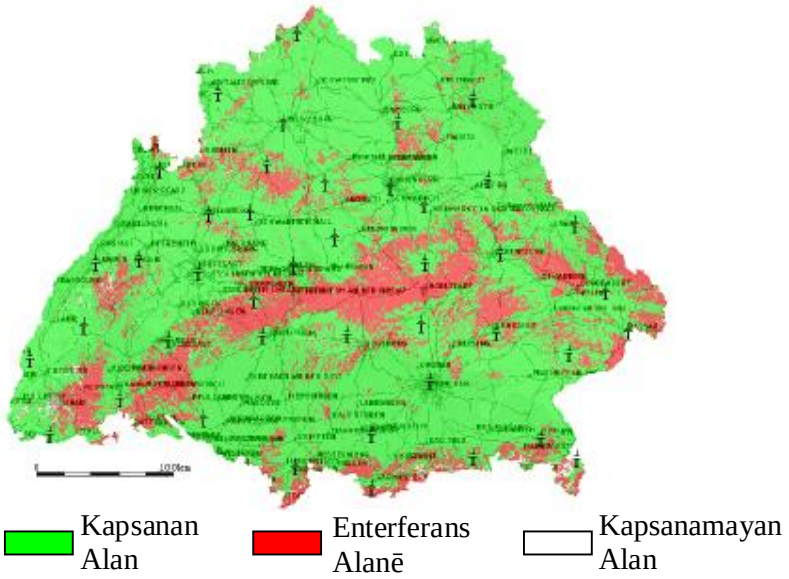
---

[48] LS Telcom - White Paper (Haziran 2010), ñPlanning DVB-T2 Advance and Challengeò, http://www.lstelcom.com/en/data/files/customer_news_magazine/WHP01_3_DVB-T2_Planning.pdf (03/10/2011)

[49] A.g.e.

	Sabit Alıcı	Taşınabilir Dış Mekan Alıcı
Modülasyon	16-QAM	16-QAM
Koruma Aralığı	¼	¼
Vericiler arası Mesafesi (km) (En fazla)	67.2	67.2
Kod Oranı	2/3	2/3
İletim Hızı Kapasitesi (Mbit/s)	13.3	13.3
Program Sayısı (MPEG4)	6 SD / 1 HD	6 SD / 1 HD

Tablo 11: Geniş alan SFN planlaması için DVB-T parametreleri.[50]

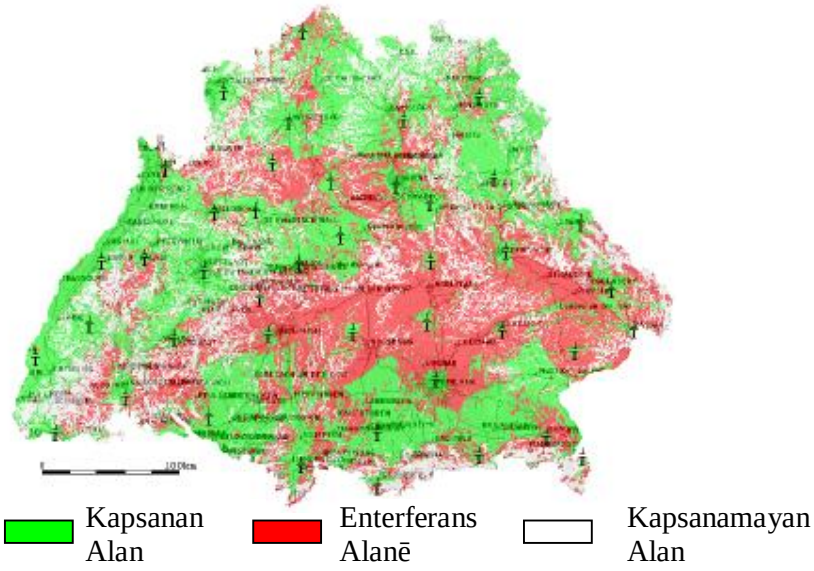


Şekil 15: Sabit alıcı için DVB-T SFN kapsaması[51]

[50] LS Telcom - White Paper (Haziran 2010), "Planning DVB-T2 Advance and Challenges", http://www.lstelcom.com/en/data/files/customer_news_magazine/WHP01_3_DVB-T2_Planning.pdf (03/10/2011)

[51] A.g.e.

Şekil 15'de geniş alan DVB-T SFN için beklenen sabit alıcı kapsaması gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere verici anten düzeltmeleri ile ortadan kaldırılması mümkün olmayan geniş bir enterferans alanı beklenmektedir.



Şekil 16: Taşınabilir dış mekan alıcı için DVB-T SFN kapsaması[52]

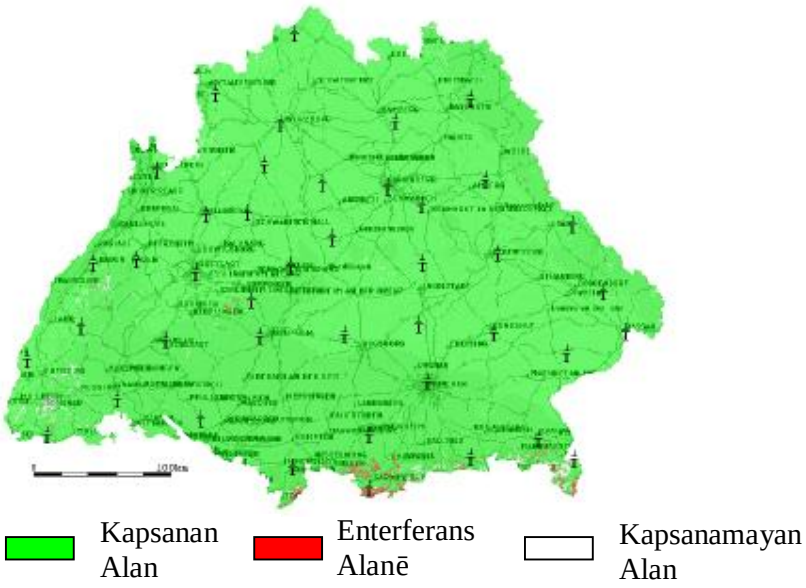
Şekil 16'da ise geniş alan DVB-T SFN için taşınabilir dış mekan alıcı kapsaması gösterilmiştir. Görüldüğü üzere taşınabilir alıcı için beklenen enterferans alanı sabit alıcıya kıyasla çok daha geniştir. Bu hesaplamalar gösteriyor ki DVB-T'de SFN ler sadece küçük alanlar için uygulanabilir.

Tablo 12 'de ise aynı coğrafi alan için DVB-T2 geniş alan SFN kapsaması için gerekli parametreler verilmiştir.

[52] LS Telcom - White Paper (Haziran 2010), "Planning DVB-T2 Advance and Challenge", http://www.lstelcom.com/en/data/files/customer_news_magazine/WHP01_3_DVB-T2_Planning.pdf (03/10/2011)

	Sabit Alıcı	Taşınabilir Dış Mekan Alıcı
Modülasyon	64-QAM	64-QAM
FFT Boyutu	32k	16k
Koruma Aralığı	19/128	¼
Vericiler arası Mesafesi (km) (En fazla)	159.6	134.4
Kod Oranı	2/3	2/3
Taşıyıcı Modu	Genişletilmiş	Genişletilmiş
Veri Hızı Kapasitesi (Mbit/s)	24.5	22.4
Program Sayısı (MPEG4)	14 SD / 2 HD	12 SD / 2 HD

Tablo 12: Geniş alan SFN planlaması için DVB-T2 parametreleri.[53]

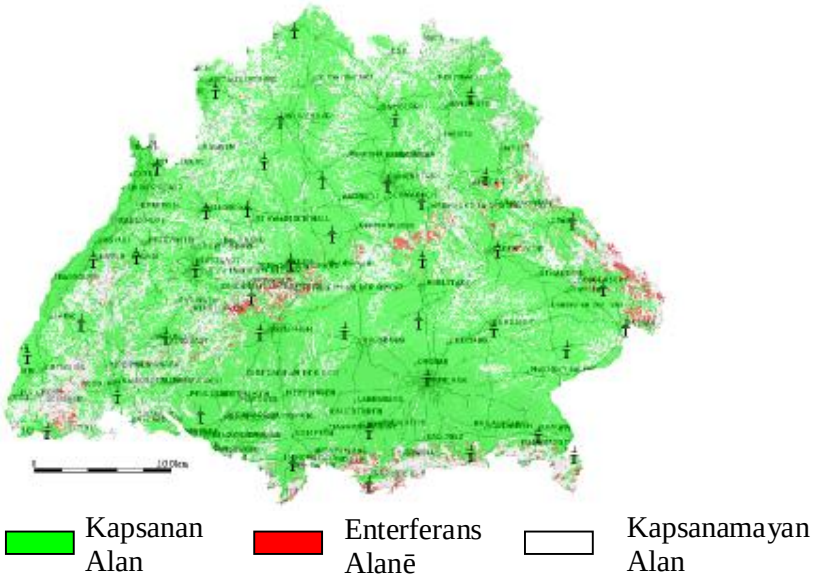


Şekil 17: Sabit alıcı için DVB-T2 SFN kapsaması[54]

Şekil 17 'de sabit alıcı için geniş alan DVB-T2 SFN kapsaması görülmektedir. Görüldüğü üzere kapsanan alanın neredeyse tamamında enterferans beklenmemektedir.

[53] LS Telcom - White Paper (Haziran 2010), "Planning DVB-T2 Advance and Challenges", http://www.lstelcom.com/en/data/files/customer_news_magazine/WHP01_3_DVB-T2_Planning.pdf (03/10/2011)

[54] A.g.e.



Şekil 18: Taşınabilir dış mekan alış için DVB-T2 SFN kapsamasē[55]

Şekil 18 de ise taşınabilir dış mekan alış için geniş alan DVB-T2 SFN kapsamasē görülmektedir. Enterferans sadece bazē daß sārtlarēnda beklenmektedir. Ancak simülasyonda düzeltici anten pattern verisi (aşaß ētilt) kullanēlmamēştēr ve bu bölgelerde enterferansēn iyileştirilmesi için bu tür çözümler uygulanabilir. Bu simülasyon göstermektedir ki, DVB-T2 de geniş alan SFN ler, hatta bazē ülkelerin tamamēnē içine alan SFN ler uygulanabilir bir seçenektir. Bu durum DVB-T de mümkün deß ildir.

Fakat kapsama planlamanēn sadece bir yönüdür, koordinasyonun da hesaba katēlmasē gerekmektedir. ITU 1. Bölgeôde, GE06 DVB-T Plan girdileri, bu planēn spektrum kalēbēna sığabildiß inden DVB-T2 için kullanēlabilir. Simülasyonlarda da verilen DVB-T2 için optimum SFN genişliß i, GE06 Planēnda belirlenen standart alan tahsislerinden büyüktür ve bu durum ilgili düzenleyici kurumlar tarafēndan yeniden ele alēnmalēdēr.

[55] LS Telcom - White Paper (Haziran 2010), ñPlanning DVB-T2 Advance and Challengeò, http://www.lstelcom.com/en/data/files/customer_news_magazine/WHP01_3_DVB-T2_Planning.pdf (03/10/2011)

Bu geniş alanlı SFN ler DVB-T2 SISO modu için uygulanabilir. MISO modunda vericiler arası maksimum mesafe 79.8 km ile sınırlandırılmıştır ki bu DVB-T'nin sağladığından çok az fazladır. SFN genişliği ve MISO kullanımı alış modlarına göre dikkatlice değerlendirilmelidir.

BÖLÜM 4:

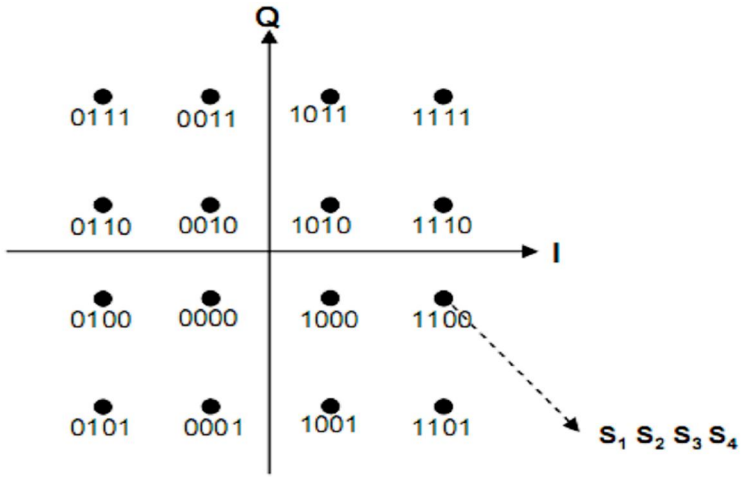
DVB-T2'DE KULLANILABİLEN YENİ TEKNİKLER

4.1 Döndürülmüş Konstelasyon

DVB-T2'de performans arttırım, kanal içindeki sembollerin konstelasyon diyagramının daha esnek kullanılmasıyla sağlanabilmektedir. Konstelasyon diyaramının döndürülmesi performansta belli bir artış sağlamaktadır.

4.1.1 Konstelasyon Diyagramı

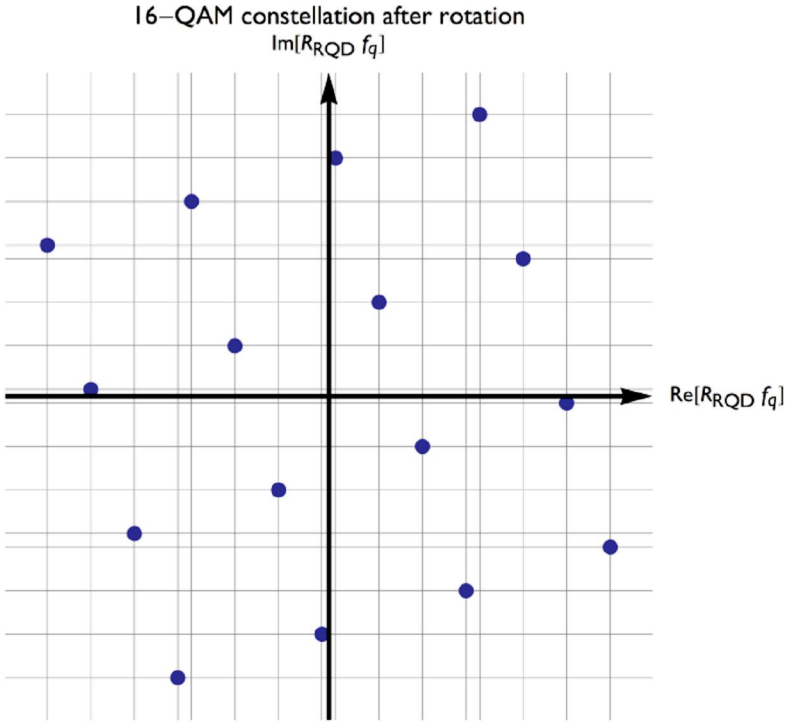
DVB-T2 modülasyonunda, bilgi çerçevesi ikili dış FEC kodu ile kodlanır, sonra bit girişimleyicide işlenir ve çıkan dizi kompleks düzlemde kanal semboller dizisi olarak haritalanır. Bir kanal sembolu, şekil 19 'da gösterilen kompleks düzlemde I ve Q değerlerinden müteşekkildir. Bir sembol seçilen 2m konstelasyon karakteristiğine göre m bit içerir. Örneğin QPSK da sembol 2 bit taşırken 16-QAM'da 4 bit, 64-QAM'da 6 ve 256-QAM'da 8 bit taşır.



Şekil 19: 16-QAM modülasyon için konstelasyon diyagramı (Gray Haritalaması)

4.1.2 Konstelasyon Diyagramının Döndürülmesi

Şekil 19'da verilen Gray haritalamasında sembolün I ve Q bileşenleri birbirinden bağımsızdır. Bu nedenle bütün konstelasyon noktalarının her iki I ve Q bileşenlerinin belirlenmesi gerekir. Yani I bileşeni Q bileşeni hakkında, Q da I hakkında bilgi içermez. Bu durum, konstelasyon diyagramını şekil 20 'de gösterildiği gibi döndürmek suretiyle çözülebilmektedir. Böylelikle ümò bitten oluşan her bir sembol bireysel I ve Q değerine sahip olabilmektedir.[56]



Şekil 20: 16-QAM Modülasyon için döndürülmüş konstelasyon diyagramı

Optimal döndürme açısını belirlemek için birçok durum göz önünde bulundurulmalıdır. Genel anlamda en iyi performansın alınması için eksen üzerindeki konstelasyon noktalarının izdüşümleri eşit mesafede olmaları gerekir. Bu durumu sağlayan açılar Tablo 13 'de verilmiştir.

[56] EBU ï Tech 3348 (Mayıs 2011), ñFrequency and Network Planning Aspects of DVB-T2ò, *EBU Cenevre*, http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

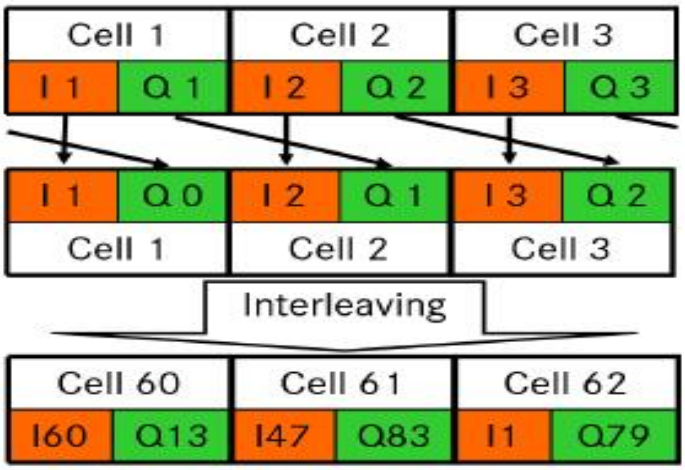
Konstelasyon	Döndürme Açısı (Derece)
QPSK	29.0
16-QAM	16.8
64-QAM	8.6
256-QAM	3.6

Tablo 13: Uygun döndürme açısı değerleri.[57]

DVB-T sistemlerinde, taşıyıcıda yüksek oranda zayıflamaya olan veri bitleri kaybolur. FEC bu kayıp bitleri kurtarmak zorundadır. Bu durum, sinyal kodunu çözmek için gerekli olan minimum alan şiddetinin önemli derecede artmasına neden olur. Döndürülmüş konstelasyon tekniği FEC işlemini önemli ölçüde kolaylaştırmaktır. Şöyle ki, bu teknik ile veri bitlerinin tespiti daha kesindir ve dolayısıyla FEC ile daha az sayıda hata düzeltilir. Sonuç olarak FEC, kapasitesini gürültü gibi diğer kanal bozulmalarına için kullanabilir.

Sadece konstelasyon diyagramının döndürülmesi ile I ve Q bileşenlerinin sönümlenme kanalındaki kayıpların düzeltilmesinde istenilen gelişme sağlanamamaktadır. Bunun üstesinden gelebilmek için Q-Delay olarak adlandırılan bir işlem uygulanmaktadır. Bu gecikme ile Q değeri, I değeri ile aynı hücre içinde değil, bir sonraki farklı bir hücreye kaydırılarak iletilmektedir. Böylece bilgi, bilgiyi bütün haliyle taşıyan I ve Q değerlerine bölünür fakat farklı taşıyıcılarla taşınır. Şekil 21 'de Q-delay gösterilmiştir.

[57] EBU – Tech 3348 (Mayıs 2011), "Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2", *EBU Cenevre*, http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)



Şekil 21: Q- delay gösterimi.[58]

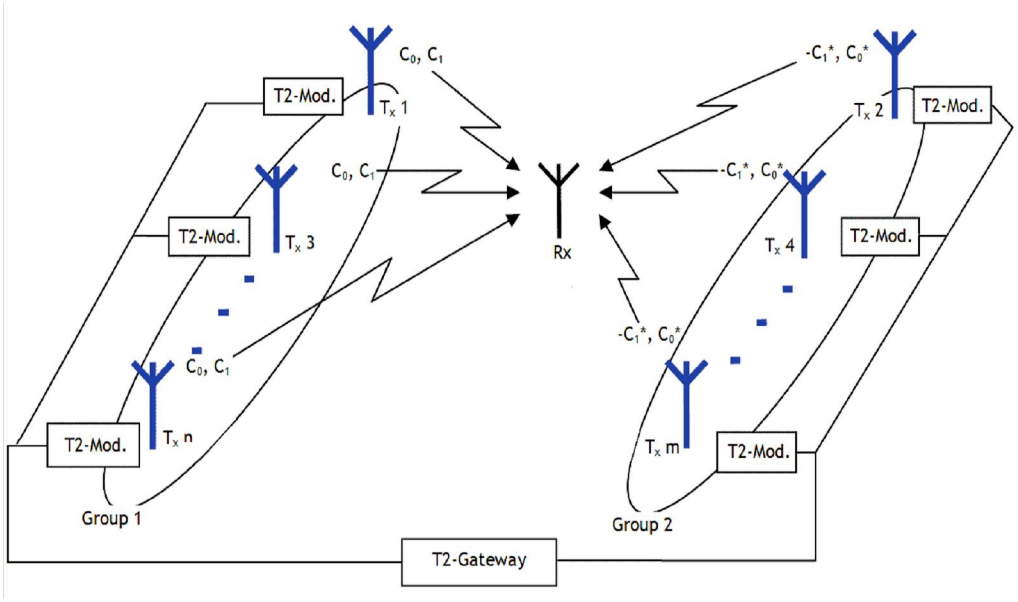
Modülatörde, bu safhadan sonra gelen birçok araya girmeli işlem neticesinde her iki eksen de iyi ayrılmış bir taşıyıcılar ile iletilmektedir. Bazı taşıyıcılar ciddi şekilde bozulmuş veya zayıflamış olsa bile sadece bir eksen silinir ancak diğer eksenin silinmeme ihtimali çok yüksektir. Tabi ki, bilgiyi iki parçaya bölme işlemi sonucunda, her parçanın dayanıklılığı, birlikte olduklarına nazaran biraz azalır. Ancak genel anlamda mekanizma aşırı derecede bozulmaya uğramış kanallardaki sinyallerin dayanıklılığında önemli ölçüde artış sağlamaktadır.

Bu teknik kullanılarak az korumalı yüksek kod oranlı iletimlerde gerekli minimum C/N değerinde azalma sağlanmaktadır. Bu şekilde elde edilen ek sağlamlık ile aynı minimum alan şiddeti değerinde yüksek kod oranı seçilerek iletilen veri oranı arttırılabilir. Bu ek kapasite görüntü kalitesini arttırmak veya ek servisler sağlamak için kullanılabilir.

[58] LS Telcom - White Paper (Haziran 2010), ñPlanning DVB-T2 Advance and Challengeò, http://www.lstelcom.com/en/data/files/customer_news_magazine/WHP01_3_DVB-T2_Planning.pdf (03/10/2011)

4.2 MISO (Multiple Input Single Output) Teknik

DVB-T2'nin, DVB-T'ye nazaran en belirgin üstünlüklerinden biri de, DVB-T'de uygulanmasi mümkün olmayan MISO ağ larıdır. Genel anlamda bir MISO ağ yapısı şekil 22 'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, MISO'nun diğer standart yayıncılık ağlarından ana farklılığı çoklu vericilerden aynı anda, istenen sinyalin, iki adet çok az değişiklikle uğramış versiyonu, değişik vericilerle aynı anda iletilmektedir. Ağın verimini maksimum seviyede tutmak için, gerekli olmamakla birlikte, genellikle vericiler coğrafik olarak birbirinden ayrı konumlandırılırlar. Çok sayıda istenen sinyalin iletilmesi ile ağ iletim çeşitliliğinin avantajları sayesinde sistem SNR'si gelişir ve bunun sonucunda da veri iletim hızı veya ağın kapsamasında da önemli artışlar sağlanır.



Şekil 22: DVB-T2 MISO genel ağ yapısı[59]

Bir DVB-T2 MISO ağı, özel bir SFN formu olarak değerlendirilmelidir. Çünkü çoklu iletimler standart SFN ağında olduğu gibi senkronizasyon ve zamanlama gerektirmektedir.

[59] EBU Tech 3348 (Mayıs 2011), "Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2", *EBU Cenevre*, http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

DVB-T2 standardē, Alamouti ķemasēnēn deĵiķtirilmiķ bir formunu temel almaktadēr. Bu özel ķemanēn en önemli faydalarēndan biri, aĵēn alēcē ve verici taraflarēnda, çok az ek karmaķēklēk gerektiren, nispeten basit bir uygulamasēnēn olmasēdēr. Ķki antenli ve maksimum oranlē birleķik ķemalar aracēlēĵēyla saĵlanan alēķ çeķitliliĵi sonucunda oluķan yüksek deĵerli SNR seviyelerine, Alamouti ķemasē ile sadece bir anten kullanēlarak ulaķēlmasē mümkündür. Ayrēca standart iki istasyonlu SFN kanalēnda oluķan ve sistemin SNR deĵerini düķüren dalgacēk ve çentik gibi bozulmalar MISO aĵēnda oluķmaz. Çünkü iletilen sinyaller tamamen aynē deĵildir ve dolayēsēyla bozucu sinyal kombinasyonlarē önemli ölçüde azalmēķtēr. Gaussian kanalēnda, standart SFN aĵēna kēyasla SNR deĵerinde 3 dB lik bir artēķ saĵlanabilmektedir. Alamouti kodlamasē ile, kapsama alanē geniķletilebilir, yüksek veri hēzlarē elde edilebilir ve spektrum daha etkin kullanēlabilir veya bunlarēn kombinasyonlarē elde edilebilir.

Alamouti temelli MISO aĵ mantēĵēnē anlamak için ĵekil 22'de görülen simülasyona bakacak olursak, ķekildeki aĵ içindeki vericilerden her biri, hücrelerini parçalar halinde iletebilecekleri iki gruptan birine tahsis ederler. Bu iki gruptan birinci grupta, standart SFN aĵēndaki gibi, her konstelasyonun, ara belleĵe alma, tersini alma veya kompleks konjügasyon gibi deĵiķikliĵe uĵramayan versiyonu iletilir. ĵekilde ilk hücre çifti C_0 ve C_1 olarak gösterilmiķtir. Ķkinci gruptaki vericiler ise her konstelasyon çiftini çok az deĵiķikliĵe uĵratarak ve frekans geri alma iķlemi uygulanarak iletilir. ĵöyle ki, birinci gruptaki bir vericide, C_0, taķēyēcēn ile iletilirse, C_1, taķēyēcēn+1 ile iletilir. Bunlarla simültane olarak ikinci gruptaki vericilerde ise ï C_1^*, taķēyēcēn ile ve C_0^* ise taķēcēn+1 ile iletilir. Ķkinci gruptaki hücre çiftindeki yēldēzlar bunlara kompleks konjügasyon iķlemi uygulandeĵēnē gösterir.

Alēcē, MISO olmayan standart alēcēlara kēyasla çok az ek karmaķa gerektiren nispeten basit bir iķlemle, birleķtirilmiķ sinyaller arasēndan veri içeriĵini alēr.

Ayrēca ķekilde aĵēn düzgün çalēķmasē için gerekli ekipmanlar da gösterilmiķtir. T2-Aĵ Geçidi, T2 çerçevelerinin içeriĵini ve emisyon zamanēnē tanēmlamak için gerekli bilgiyi içeren T2-MI (T2- Modulator Interface) akēmē

üretir. T2-MI akımı, istenilen gecikmeleri ve Alamouti kodunu uygulayan T2 modülatörlerini besler.

Şekilde görüldüğü üzere, MISO ağı içindeki bütün vericiler aynı saat (clock) referansına kilitlenmiştir. Böylece sinyaller standart SFN ağında olduğu gibi uygun bir şekilde senkronize iletilecek ve gecikmeli iletilebilecektir. Genellikle bu amaçla GPS teknolojisi kullanılmaktadır. Şekilde her grup için sınırsız sayıda vericinin tahsis edildiği görülmektedir. Bu durum teoride mümkün olmasına rağmen, pratikte pek olası olmayıp en uygunu her grup için 2 veya 3 verici tahsis edilmesidir.[60]

4.2.1 MISO Ağları İçin İletim ve Planlama Parametreleri

MISO ağlarında DVB-T2 standardının maksimum koruma aralığı oranını 1/8 ile sınırlandırdığı göz ardı edilmemelidir. Bunun sonucunda da coğrafi SFN boyutu sınırlanmaktadır. Dahası, verilen FFT boyutu için seçilen dağınık pilot paterni ve koruma aralığı iki kat daha yoğun olmalıdır. Çünkü her kanal hesaplamasının toplamı ve farkı için pilotların sadece yarısı kullanılabilir. Bu durum kapasiteyi azaltan bir faktördür. Bu yüzden özel bir uygulama için MISO ağının uygunluğu hesaplanırken bu iki faktör göz önünde bulundurulmalıdır.

Genel olarak, MISO kapasitenin sınırlandırıcı faktör olmadığı, en çok 1/8 koruma aralığı oranına kadar tasarlanan ağlar için düşünülmelidir. Daha önce standart SFN ağı uygulanmış mevkilerde MISO ağı daha faydalı olacaktır.

Alamouti kodlaması, iki farklı verici grubundan eşit boyutlu sinyallerin birleştirilmesi durumunda en fazla yarar sağlamaktadır. Dolayısıyla, en fazla kazancı sağlamak için iki grup arasındaki sinyal örtüşmesini maksimum seviyede tutmak gerekir.

---

[60] EBU – Tech 3348 (Mayıs 2011), "Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2", *EBU Cenevre*, http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

Genellikle çok yönlü alıcı antenleri içereceği inde ve bunun sonucunda da aynı güçteki sinyallerin üst üste bindirilme olasılığı artacağından, taşınabilir ve mobil ağların MISOô dan faydalanma olasılığı daha fazladır. Dahası, özellikle mobil ağlar olmak üzere bu tip ağ çeşitleri için verici ağları daha yoğun olmaya eğilimli olacak ve vericiler genellikle düşük güçte çalışacaktır. Bu durum sinyal bindirimini daha da arttıracaktır.

MISO ağ sisteminin en uygun işleyeceği durum büyük bir şehir merkezinin üst üste binen sinyallere sahip iki verici tarafından geniş bir şekilde aydınlatılacağı durum olabilir. Bu durumda ağ içindeki her bir verici bu iki büyük vericinin oluşturduğu gruba tahsis edilebilecektir. Bu durumda MISO ağının maksimum potansiyeli de anlaşılabilir. Nispeten yüksek oranda yönlü antenlerin bulunduğu sabit alıcı ağları ise, verici antenleri yakın mevkilerde tesis edilmezse MISO sistemi için uygun değildir.[61]

MISO uygulandığında iletilen sinyalin sadece iki olası varyantı olabileceğinden, geniş alan SFN ağlarında MISO kazancını maksimize etmek için vericileri iki gruba ayırmak pratikte oldukça zordur. Fakat örneğin bir ana merkezi verici ve çevresinde birkaç küçük SFN fill-in (doldurucu) vericinin bulunduğu bir ağ düşünülürse MISO kazancından daha etkili bir şekilde yararlanılabilir. Bu durumda doldurucu (fill-in) vericiler arasındaki sinyal bindirmesi veya örtüşmesi küçük olacak ve kapsama örtüşmesi ana verici ile fill-in vericiler arasında olacaktır. Böylece ana verici bir verici grubuna, fill-in vericiler de diğer verici grubuna tahsis edilebilecektir.

Ayrıca koruma aralığı seçiminde de bir takım kısıtlamalar mevcuttur. MISO modunda ¼ koruma aralığı oranı mümkün değildir. Dahası geniş SFN ağlarında MISO uygulaması sadece 8k ve üzeri FFT modlarında mümkündür. Tablo 14' de MISO ağında olası koruma aralığı oranları ve dağınık pilot paternleri kombinasyonları gösterilmiştir

[61] EBU ï Tech 3348 (Mayıs 2011), ñFrequency and Network Planning Aspects of DVB-T2ò, *EBU Cenevre*, http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

FFT Boyutu	Koruma Aralığı Oranları						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32k	PP8 PP4 PP6	PP8 PP4	PP2 PP8	PP2 PP8	NA	NA	NA
16k	PP8 PP4 PP5	PP8 PP4 PP5	PP3 PP8	PP3 PP8	PP1 PP8	PP1 PP8	NA
8k	PP8 PP4 PP5	PP8 PP4 PP5	PP3 PP8	PP3 PP8	PP1 PP8	PP1 PP8	NA
4k, 2k	NA	PP4 PP5	PP3	NA	PP1	NA	NA
1k	NA	NA	PP3	NA	PP1	NA	NA

Tablo 14: MISO ağlarında olası koruma aralığı ve dağınık pilot paterni kombinasyonları.[62]

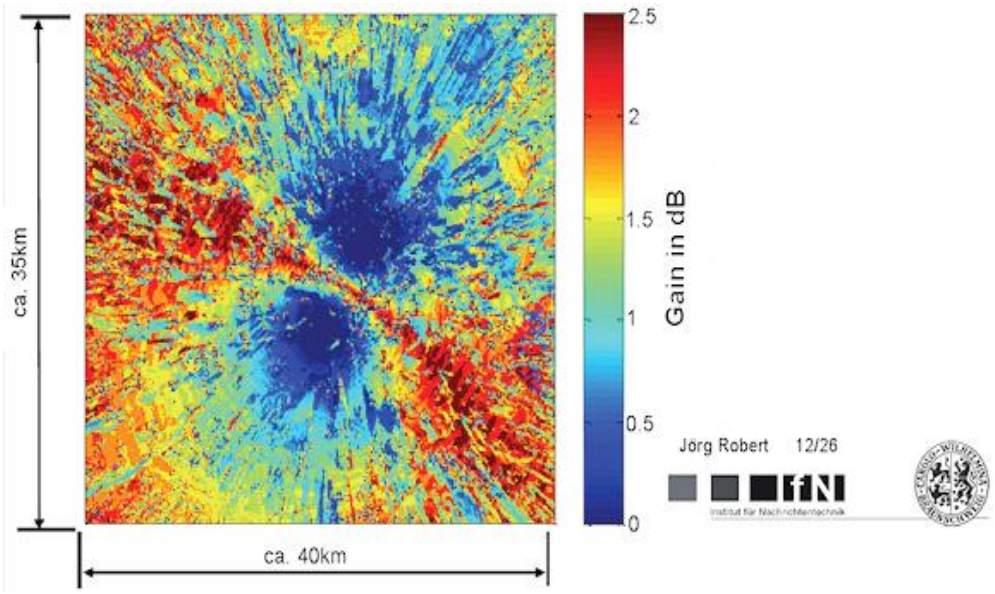
4.2.2 MISO Kapsama Alanı Kazancının Örneklendirilmesi

İki vericili bir senaryo oluşturularak, 64-QAM modülasyon, 8k FFT boyutu ve ¾ kod oranı seçilerek ve şekil 23 'deki toplam alan gücüyle ifade edilen dağınık MISO kazancını gösterir simülasyon elde edilmiştir. Ek kazanç, iki vericinin kendi kapsama alanlarında elde edilmiştir. Simülasyona göre, iç mekan alıcıya kıyasla kapsama kazancı %30 lar seviyesindedir.

Bu simülasyonda, MISO kazancının iki vericiden gelen sinyaller arasındaki bütün gecikme zamanlarında aynı olduğu varsayılmıştır. Ayrıca MISO kazancının sadece sinyal güçlerinin farkından elde edildiği varsayılmıştır. Bu varsayımların henüz doğrulaması yapılmamıştır.

[62] EBU – Tech 3348 (Mayıs 2011), "Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2", *EBU Cenevre*, http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

MISO planlamasēnē iki vericiden fazla verici ile yapmak tabi ki daha zorlu bir uygulamadēr. Uygun aĵ topolojileri oluĸturacak MISO aĵ planlama modelleri ve MISO kazancē konusunda çalēĸmalar halen devam etmektedir.[63]



Ţekil 23: MISO uygulanmasē sonucu beklenen kapsama kazancē[64]

[63] Mayēs 2011 tarihi itibariyle

[64] EBU ï Tech 3348 (Mayēs 2011), ñFrequency and Network Planning Aspects of DVB-T2ò, *EBU Cenevre*, http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

4.3 TFS (Time Frequency Slicing - Zaman Frekans Dilimleme) Tekniği

TFS olarak adlandırılan zaman frekans dilimleme tekniği sadece DVB-T2 standardına özel tasarlanmıştır. Bu teknik ile istatistiksel olarak çoklanmış servisler, en fazla 6 olacak şekilde birden fazla RF kanalı ile iletilebilmektedir. Her servis uygun frekanslar arasında geçiş yapar.

TFS, tek bir çoklamaya kıyasla oldukça geniş bir istatistiksel çoklama havuzu üzerinden istatistiksel çoklama imkanı sunmaktadır. Örneklemek gerekirse, her biri 33 Mbit/s hızında iletim yapan 6 RF kanallı bir senaryo düşünülürse, tek RF kanalı 33 Mbit/s hızında iletim yaparken, bu senaryoda 198 Mbit/s hızında iletim yapmak mümkün olabilmektedir. Bunun sonucunda da TFS, HDTV servislerinin çok daha etkili istatistiksel çoklanmasına olanak tanımaktadır ve HD servislerinde TFS uygulanmayan uygulamalara göre %20 artış sağlanabilmektedir.[65]

Bunun yanında TFS, ağ planlama ve kapsama alanı ile ilgili çok önemli avantajlar sağlamaktadır. TFS tarafından sağlanan frekans farklılığı sayesinde DTT çoklayıcısı setinin kapsama alanı, en zayıf çoklayıcı sinyal seviyesine değil, ortalama bir alış seviyesine bağlı olarak değişmektedir. Bu şekilde kapsama alanından elde edilen kazanç TFS tarafından sağlanmaktadır ki bazen bu TFS kazancı olarak tanımlanmaktadır. TFS kazancı, ortalama seviye ile en zayıf çoklayıcı sinyal seviyesi arasındaki desibel cinsinden güç farkıdır. TFS sayesinde, bir veya daha fazla DTT çoklayıcının sinyal seviyesinin, DTT alışı için normalde kullanılan sinyal seviyesinden daha düşük bir değerde olması tolare edilebilir. Ancak diğer birkaç çoklayıcının sinyal seviyesinin bu değerden yüksek olması gerekmektedir. Bu durum DTT kapsama alanında önemli bir artış sağlamaktadır. Bu kapsama kazancı kısmen veya tamamen, daha zayıf kod oranı seçilerek, iletim hızındaki kazanca dönüştürülebilir. Örneğin kod oranı 3/5 değil de ¾ olarak seçilirse bu iletim hızında %25'lik bir artışı sağlar.

---

[65] EBU – Tech 3348 (Mayıs 2011), "Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2", *EBU Cenevre*, http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

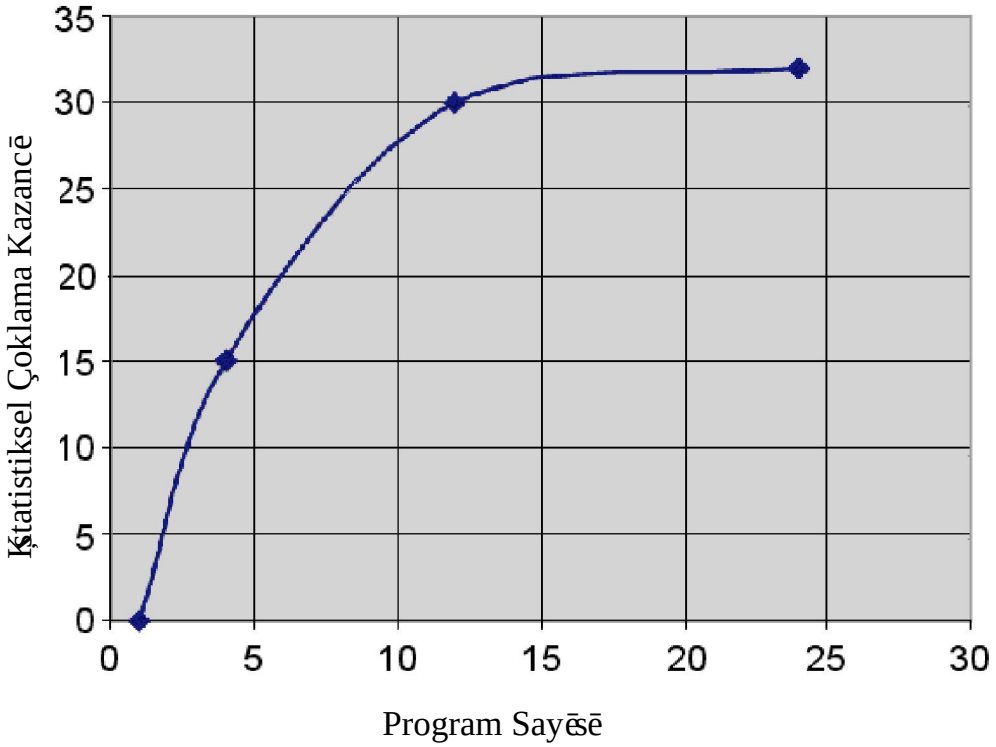
4.3.1 TFS Kazançları

TFS sisteminin sağladığı kazançları detaylı olarak ele alacak olursak, TFS temel olarak iki başlıksız kazanç sağlamaktadır, bunlar; istatistiksel çoklama kazancı ve ağ planlama kazancıdır.

4.3.1.1 İstatistiksel Çoklama Kazancı

Yüksek iletim hızları sayesinde birçok servisin istatistiksel çoklanması ve daha fazla servisin iletilmesi mümkündür. Ayrıca görüntü kalitesi de daha istikrarlıdır.

İstatistiksel çoklama kazancını net bir şekilde hesaplamak biraz zordur. Ancak, yüzde olarak azalan gerekli veri iletim hızı veya yüzde olarak artan servis sayısı ile istatistiksel çoklama kazancının değişimi ifade edilebilir. Şekil 24'te HD program sayısı ile istatistiksel çoklama kazancının değişimi gösterilmektedir.



1 HD program için	%0
3-4 HD program için	%15
9-12 HD program için	%30
18-24 HD program için	%32

ķekil 24: MPEGï 4 ile istatistiksel çoklama kazancē[66]

Ķstatistiksel çoklama kazancē, TFS olmayan tek RF kanallē istatistiksel çoklamaya kēyasla, sanal veri iletim hēzēndaki artēk ķeklinde de ifade edilebilir. ķöyle ki, 3 RF kanallē istatistiksel çoklamada, tek kanallē RF çoklamasēna göre %21, 6 RF kanallē istatistiksel çoklamada %25 sanal veri iletim hēzē artēkē saĵ lanabilmektedir.[67]

[66] EBU ï Tech 3348 (Mayēs 2011), ñFrequency and Network Planning Aspects of DVB-T2ò, *EBU Cenevre,* http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

[67] A.g.e

4.3.1.2 Aî Planlama Kazancē

Verilen belli bir alanda TFS olmadan çoklayēcēlarēn saîladēğē kapsama alanē en dükük sinyal seviyesine sahip çoklayēcē ile sēnērlādēr. TFS uygulandēğēnda ise, belli bir mevkideki alēk kalitesi, TFS içindeki RF kanallarēn ortalama sinyal seviyesine göre deîikir. TFS aî planlama kazancēnēn üç bileşeni vardēr;

- TFS Kapsama Kazancē
- TFS Enterferans Kazancē
- Arttērēlmēş Dayanēklēlēk (Robustness)

TFS Kapsama Kazancē: Eşit ERP deîerlerine sahip çok sayēda farklē frekanslarda iletim yapēlērsa, alēnan sinyal seviyesi, özellikle sabit alēklarda önemli derecede farklēlēk gösterir. Bu durumun nedenleri aşaîēdaki gibi sēralanabilir:

- Frekansa baîlē verici anten diyagramē
- Frekansa baîlē arazi korumasē/kalkanē (shielding)
- Frekansa baîlē yerel varyasyonlar
- Frekansa baîlē alēcē anten etkinliği ve kazancē

Herhangi bir mevkii için TFS kapsama kazancē, o mevkideki bütün RF frekanslarē içinde, ortalama sinyal gücü ile minimum sinyal gücü arasēndaki fark hesaplanarak ifade edilebilir.

TFS Kapsama Kazancē = P (Ortalama) ï P (Minimum) [dB]

TFS Enterferans Kazancē: TFS, diğer vericilerden kaynaklanan, statik ve zamanla deîişken enterferansa karşē sistemin dayanēklēlēğēnē arttērmaktadēr. Çünkü enterferans seviyesi frekansa baîlē olarak deîişir. Örneğin, geçici enterferans nedeniyle bir frekans tamamen kaybolabilir.

Arttırılmış Dayanıklılık: TFS, taşınabilir ve mobil alıcılar için özellikle önem arzeden kanal zaman varyasyonlarına karşı sistemin dayanıklılığını arttırır.

4.3.2 Potansiyel TFS Kapsama Kazancı Ölçümü

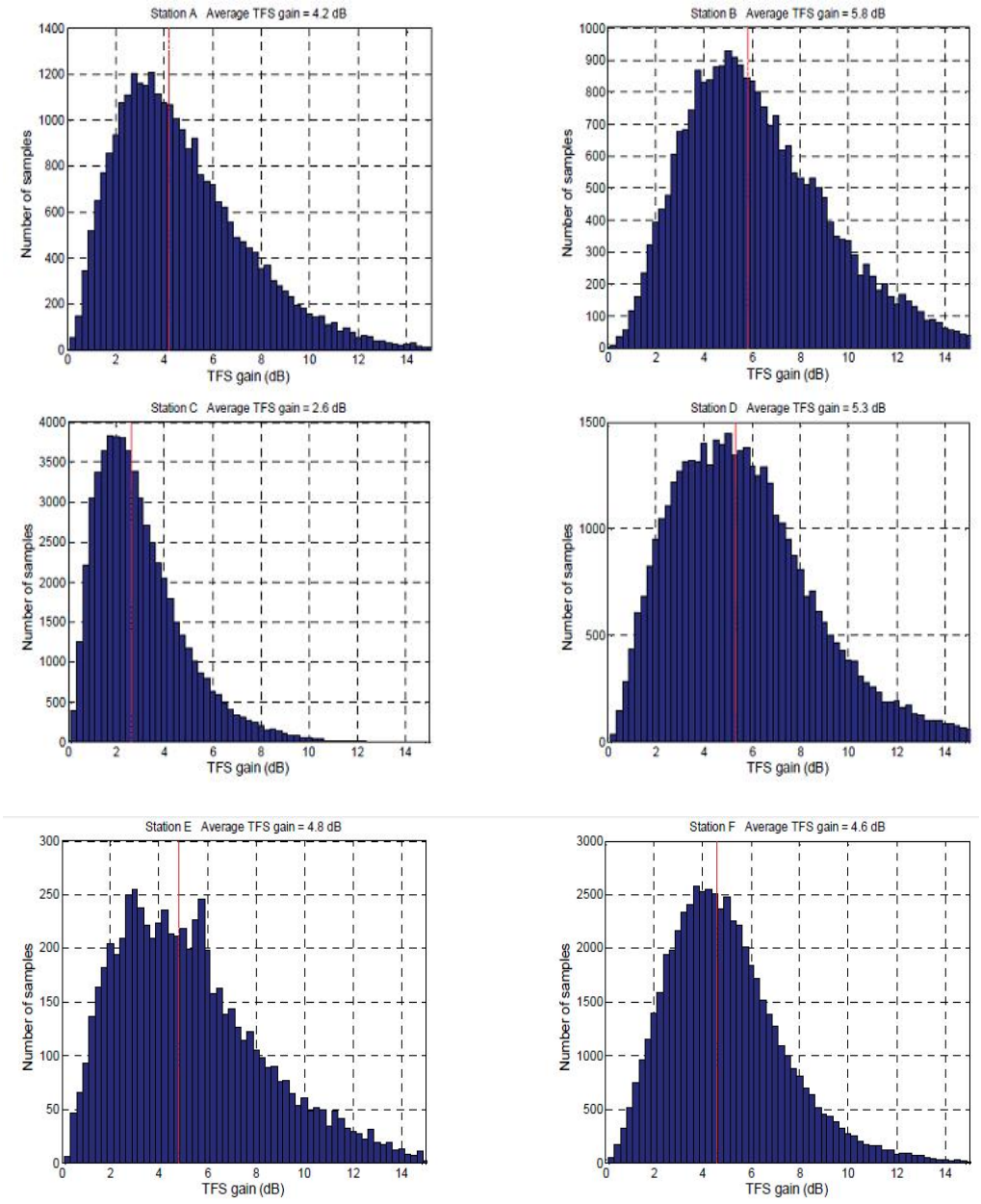
Potansiyel TFS kapsama kazancı, birden fazla RF kanalından iletim yapan bir verici için ölçülen alan şiddeti değerleri temel alınarak ölçülebilir.

Yapılan ölçümlerde aşağıdaki kriterler uygulanmıştır:[68]

- SFN olarak çalışmayan altı verici ve her verici için dört çoklama
- Dört frekans için de eşit ERP değeri
- Her ölçüm alanı için yerden 3 metre yükseklikte ortalama 40000 ölçüm
- Sabit alıcı anten kazancı

Ölçülen TFS kazanç dağılımı, her frekans değerinde alınan sinyal seviyesini temel almaktadır. Şekil 25 - A, B, C, D, E ve F 'de 6 istasyon için ölçülen TFS kazanç dağılımı gösterilmiştir

[68] EBU – Tech 3348 (Mayıs 2011), "Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2", *EBU Cenevre*, http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)



Şekil 25: Ölçülen TFS kazancının dağılımı[69]

Ölçümler, yerden 3 metre yükseklikte çok yönlü anten ile yapılmıştır. 6 verici alanında elde edilen kazançların ortalaması 4.5 dB'dir.

[69] EBU Tech 3348 (Mayıs 2011), "Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2", *EBU Cenevre*, http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

Elde edilen ölçüm sonuçlarının özeti Tablo 15' te gösterilmiştir.

İstasyon	Ortalama TFS Sinyal Kazancı (dB)	Ölçülen Örnek Sayısı	Çoklama Sayısı	Kanal Aralığı
A	4.2	27000	4	16
B	5.8	30000	4	34
C	2.6	58000	4	15
D	5.3	41000	4	32
E	4.8	6000	4	24
F	4.6	56000	4	26

Tablo 15: TFS kapsama kazancı ölçüm sonuçlarının özeti. [70]

4.3.3 Tutarlı Kapsama Etkileri

TFS aynı anda birden fazla RF kanalını kullanır. Bu kanallardan biri kaybolursa, örneğin ilgili verici arızalanırsa, kapsama alanı daralır ancak tamamen kaybolmaz. Kapsama alanının sadece dış parçası etkilenir. Ne kadar çok RF kanalı birleştirilirse, bir kanalın kaybolmasının sonucunda kapsama alanında o kadar az kayıp oluşur.

4.4 Zaman Dilimleme

Aslında bir DVB-H özelliği olan zaman dilimleme işleminin uygulanması DVB-T2'de de mümkündür. Zaman dilimleme, alıcı cihazın enerji tüketimini azaltır. Bu durum, bir çoklayıcının servisleri zaman bloklarında iletmesi ile elde edilir. Bu şekilde iletim sonucunda, alıcı bir servisi almak için sinyali sadece belli bir zaman bölmesinde demodüle eder. Kalan zaman diliminde alıcı çalışmaz veya diğer frekans bloklarını veya kanallarını kontrol eder.

[70] EBU – Tech 3348 (Mayıs 2011), "Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2", *EBU Cenevre*, http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

4.5 Fiziksel Katman Borularē (PLP)

DVB-T2'de, servislere özel dayanēklēlēk ve aynē anda farklē servislerin sunulmasēna yönelik ticari gereksinimleri karşēlamak amacēyla fiziksel katman borularē olarak adlandērēlan bir konsepten faydalanēlmaktadēr. Bu konsept ile içerik veya servis sağlayēcēlara, alēcē tipi ve alēş şartlarēna bağlē olarak kapasite ve dayanēklēlēk ayarlama imkanē sağlanmaktadēr.

DVB-T2'de her bir PLP için ayrē konstelasyon, kod oranē ve zaman giriş imi derinliği belirlemek mümkündür. Örneğin bir kanaldan aynē anda HDTV, SDTV ve 3DTV servisleri ile veri ve ses iletimi yapēlabilir. HD servisler düşük dayanēklēlēkta iletilirken SD serrvisler yüksek dayanēklēlēkta iletilebilir. Ayrēca tek bir DVB-T2 çoklayēcē aynē anda sabit, taşēnabilir ve mobil alēklar için ayarlanabilir.[71]

PLP teknolojisinde genel anlamda iki tip giriş modu vardēr, bunlardan ilki tek bir PLP kullanan Mod A ve diğeri birden fazla PLP kullanan Mod B'dir.

Mod A: Bu mod basitçe DVB-T sisteminin geliştirilmiş hali olarak algēlanabilir. Bu modda DVB-T2 sinyali bir frekanstan sadece bir PLP iletir. Böylece DVB-T'de olduğu gibi PLP içindeki bütün içeriğe aynē dayanēklēlēk uygulanabilir.

Mod B: Bu mod çoklu PLP konseptini uygulayan daha avantajlē bir operasyon modudur. Bu modda her PLP'de bir servis iletilebileceği gibi düşük iletim hēzēna sahip birden fazla servis de iletilebilir. Mod B şekil 26'da sembolize edilmiştir

[71] Roul Laurent, ñDelivering Regional DVB-T2 Servicesò, *ENENSYS Technologies,* http://dvb.org/news_events/news/delivering-regional-dvb-t/index.xml (03/102011)



Şekil 26: Çoklu PLP modu.[72]

Çoklu PLP'nin sağladığı avantajlar aşağıda özetlenmiştir:

- Farklı modülasyon teknikleri ve kod oranlarının kombinasyonu kullanımına olanak sağlayarak her servis için ayrı dayanıklılık seviyesi belirleme imkanı sağlanır.
- Daha uzun zaman girişimi derinliği sağlanır.
- DVB-H'de olduğu gibi zaman dilimleme ile alıcıda güç tasarrufu sağlanır.
- TFS sayesinde frekans çeşitliliği sunmasıve kapasite ve kapsama artışı sağlanabilir.
- Aynı sinyal için farklı alıcı çeşitleri ve farklı alış durumları uygulanabilir. Örnek vermek gerekirse, sabit HDTV alış sağlanırken, eş zamanlı mobil alış sağlanabilir ki bu iki durumda dayanıklılık ve kapasite oldukça farklıdır.
- Tek bir çoklayıcıda bir veya daha fazla servis için dayanıklılığa öncelik verilebilir.
- Eğer çoklayıcıdaki bir servis, diğer bir servisle aynı kapsama alanına ihtiyaç duymuyorsa, iletim kapasitesini arttırmak için bu servis daha düşük dayanıklılıkla iletilebilir.

[72] Roul Laurent, ñDelivering Regional DVB-T2 Servicesò, *ENENSYS Technologies,* http://dvb.org/news_events/news/delivering-regional-dvb-t/index.xml (03/102011

- Çoklayıcı içinde yerel/bölgesel içerik ayrımını kolaylaştırır ve kalan içerik merkezi istatistiksel olarak çoklanabilir. Yerel ve bölgesel içerik için ayrılmış bir PLP kullanımı kolay ve hesaplı bir uygulamadır.

Çoklu PLP kullanımının tek sınırlaması aynı çoklayıcıda her bir PLP için farklı FFT boyutu seçilememesidir. Yani bir çoklayıcıda sadece tek bir FFT boyutu uygulanabilmektedir. Örneğin geniş alan SFN için, bir çoklayıcıda sabit çatı alıcı için HDTV ve mobil servislerin sağlanması bu nedenle kısıtlıdır.[73]

Bilindiği üzere yüksek iletim kapasitesi gerektiren HD servisler için 32k FFT modunun tercih edilmesi gerekir. Uzun sembol süresi ile de daha düşük koruma aralığı oranı kullanılabilir ki bu da kapasiteyi maksimize etmektedir. Buna karşın, 32k FFT modu kullanılırsa, OFDM sembolleri arasındaki frekans uzunluğu kısa olur ve bunun sonucunda mobil servisler yüksek hızlarda Doppler kaymasına karşı çok hassaslaşır.

[73] EBU ï Tech 3348 (Mayıs 2011), ñFrequency and Network Planning Aspects of DVB-T2ò, *EBU Cenevre*, http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

BÖLÜM 5

UYGULAMA SENARYOLARI ve GEÇİŞ STRATEJİSİ

5.1 Uygulama Senaryoları

DVB-T2, DVB-T'ye göre oldukça geniş bir parametre seçeneği sunmaktadır. Seçenek o kadar çoktur ki olası kombinasyonların hepsini hesaba katmak imkânsızdır. Bu bölümde, DVB-T2'nin temel bazı uygulamaları ele alınacak ve her senaryo için uygun parametreler belirtilecektir.[74] Söz konusu senaryolar ve uygun parametreler halen yürütülmekte olan ve önceki bölümlerde detaylı bir şekilde ele alınan KARTEF Projesinde de değerlendirilebilir.

İlk olarak sabit çatı alıcı için uygun birkaç senaryo tanımlanacaktır. Bu senaryolar, SFN ve MFN yaklaşımlarını içerecek ve DVB-T'den T2'ye geçiş için gereksinimleri yansıtacaktır.

İkinci olarak, özellikle taşınabilir ve mobil DTT alıcıları için uygun olan beş senaryo tanımlanacaktır. Bu beş senaryonun hepsi SFN yaklaşımını temel alacak ve SFN içi enterferansı en aza indirmek ve vericiler arası uzun mesafelere imkan sağlamak için nispeten geniş koruma aralıkları seçilecektir. Aynı nedenlerden dolayı 32k FFT modu uygulanmayacaktır. Çünkü bu mod Doppler bozulmalarına karşı çok savunmasızdır ve mobil ve taşınabilir ağlar için uygun değildir.

DVB-T2 için gerekli parametre, C/N değerleri ve veri oranı seçiminde, ETSI şartname ve Uygulama Yönergesinde [TS 102 831, EN 302 755] yer alan bilgiler temel alınmıştır.

---

[74] Senaryolar ve parametrelerin tamamı, "EBU – Tech 3348 (Mayıs 2011), "Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2", *EBU Cenevre,* http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)' kaynağından temin edilmiştir.

1. ve 4. senaryolarda, karşılaştırma yapmak için DVB-T moduna karşılık gelen parametreler de verilmiştir. Buradaki C/N değerleri de ETSI çalışmasından [EN 300 744]'den alınmıştır.

5.1.1 Senaryo 1: MFN Çatısı Alanı ve Geçiş Durumu

Karasal sayısal yayıncılığa DVB-T ile başlayan birçok ülke, DVB-T2'ye geçmek istemektedir. Bu senaryoda, bazı temel pratik düzenlemelerle bu geçişin nasıl olabileceğine yönelik bir örnek tanımlanmıştır.

DVB-T2 ile var olan bir ağın kapsamasını geliştirmek ve optimize etmek mümkün olmasına rağmen, birçok durumda var olan ağın kapsamasının yeterli olduğu düşünülür ve kapsamayı sabit bırakıp yeni servislerin iletilmesi için ağın kapasitesi arttırılır. Bu gibi durumlarda, iletim istasyonları, vericiler, birleştiriciler ve anten sistemleri gibi mevcut alt yapının kullanılması istenir. Bu senaryoda verilen örnekte, en az değişiklikle bu tarz bir geçiş tanımlanmıştır. Değiştirilmesi gereken sadece modülatörlerin yenilenmesidir.

Karşılaştırma yapmak için, DVB-T ve DVB-T2 ağları için ayrı ayrı iki farklı parametre grubu verilmiştir. Her iki grubun parametreleri sonucunda özellikle aynı C/N değeri çıkmaktadır. Bu şu anlama gelir, DVB-T ağındaki verici antenleri ve verici güçleri DVB-T2 ağında da aynı kalırsa ağın kapsama alanı büyük oranda aynı kalır. Aynı zamanda DVB-T ağındaki SFN zamanlamaları kapsama alanında küçük bir değişiklikle doğrudan DVB-T2 ağına aktarılabilir.

DVB-T Parametreleri

Bant Genişliği	8 MHz
FFT Boyutu	2k
Taşıyıcı Modu	Tanımsız
Dağınık Pilot Paterni	Tanımsız
Koruma Aralığı	1/32 (7εs)
Modülasyon	64-QAM
Kod Oranı	2/3
C/N (Rice)	20.1 dB
Veri İletim Hızı Sonucu	**~24.1 Mbit/s**

DVB-T2 Parametreleri

Bant Genişliği	8 MHz
FFT Boyutu	32k
Taşıyıcı Modu	Genişletilmiş
Dağınık Pilot Paterni	PP7
Koruma Aralığı	1/128 (28εs)
Modülasyon	256-QAM
Kod Oranı	2/3
C/N (Rice)	18.9 dB
Veri İletim Hızı Sonucu	**~40.2 Mbit/s**

5.1.2 Senaryo 2: SFN Çatı Alanı, Maksimum Kapsama

Bu senaryoda, çatı alanı için SFN içinde kapsama alanının maksimum seviyeye ulaştırmak amaçlanmıştır. Bu durumda nispeten daha dayanıklı DVB-T2 modu kullanılmalıdır. Verici mesafeleri, salınan güç ve yeryüzü şekilleri gibi kriterleri barındıran ağ yapısına bağlı olarak birkaç olası koruma aralığı süresinin kullanımı mümkündür. Seçilen modun yüksek derecede dayanıklı olmasından dolayı çok geniş SFN için koruma aralığı 1/16 (224εs) ya kadar çekilebilir ki bu da iletim kapasitesini arttırır.

Bant Genişliği	8 MHz
FFT Boyutu	32k
Taşıyıcı Modu	Genişletilmiş
Dağınık Pilot Paterni	PP4
Koruma Aralığı	1/8 (448µs)
Modülasyon	16-QAM
Kod Oranı	2/3
C/N (Rice)	10.6 dB
Veri İletim Hızı Sonucu	**~18.3 Mbit/s**

5.1.3 Senaryo 3: SFN Çatı Alıcı, Ortalama Kapsama

Genel olarak bu senaryo için iki farklı DVB-T2 parametre grubu tanımlanabilir, bunlar:

- Var olan 100 km çapında ortalama büyüklükte bir DVB-T SFN ağının DVB-T2 ile değiştirilmesi. Bu ayrıca GE06 planındaki yaklaşık bir alotment alanının boyutuna denk gelmektedir.
- Sınırsız boyutta çok geniş bir DVB-T2 SFN ağına ihtiyaç duyulması. SFN içi enterferans nedeniyle bu durumun DVB-T'de uygulanması oldukça zordur.

DVB-T2 saha denemelerinden gelen sonuçlar sınırlı olduğundan SFN modunda net bir kod oranı belirlemek için henüz erkendir. Şu an için iki kod oranı adayı mevcuttur; 3/5 ve 2/3. Bu bölümde verilen senaryolarda, daha yüksek kapasite sağladığı için 2/3 kod oranı seçilmiştir.

Senaryolarda 32k FFT boyutunun kullanılması uygun görülmüştür. 32k FFT boyutu, Doppler etkisine olan hassasiyeti nedeniyle, temelde sabit çatı alıcı için düşünülmüştür. 32k modunun taşınabilir iç mekan alıcı için uygun olduğu henüz doğrulanmamıştır. Yani çatı alıcı ve iç mekan alıcı sağlanması istenen durumlarda 16k modunun kullanılması daha uygun olabilir. Bunun sonucunda yüksek koruma aralığı oranı kullanılması ve gerekli koruma aralığı süresini elde etmek için kapasitenin arttırılması gerekir.

5.1.4 Senaryo 3a: Sönümlemede Geniş Bantlıkta SFN için Çatı Alıcı

Bu senaryoda, koruma aralığı seçimi, en uzun DVB-T modu ile aynı olabilir, yani 8k FFT boyutlu 224 µs. Ancak DVB-T2, 32k FFT boyutu sayesinde kapasiteyi arttırmak için 1/16 gibi düşük koruma aralığı oranı kullanımına olanak tanır. Eğer 1/16 oranında SFN içi enterferans gözlenirse yeni 19/256 koruma aralığı oranı tercih edilebilir.

Çatı alıcı durumunda, SFN iç enterferans etkileri, çok yönlü antenlerin kullanıldığı mobil veya taşınabilir alıcı durumlarındaki gibi geniş değildir. Bu durum, bazen koruma aralığı oranını biraz daha azaltmaya (örneğin 1/32 (112 µs)) imkan sağlamaktadır.

Geniş alan SFN ağları için prensipte 19/128 (532µs) koruma aralığı oranı kullanılabilir ama ilk ölçüm sonuçları, sönümsüz boyutta geniş SFN ağlarında SFN içi enterferanstan kurtulmak için 448µs koruma aralığının yeterli olacağını göstermiştir.

Bant Genişliği	8 MHz
FFT Boyutu	32k
Taşıyıcı Modu	Genişletilmiş
Dağınık Pilot Paterni	PP4
Koruma Aralığı	1/16 (224µs)
Modülasyon	256-QAM
Kod Oranı	2/3
C/N (Rice)	19.6 dB
Veri İletim Hızı Sonucu	**~37 Mbit/s**

5.1.5 Senaryo 3b: Geniş Alan SFN için Çatı Alıcı

Bu senaryoda verilen parametreler, ülke çapında geniş alanlı SFN ağ ları tasarlanmak istendiğinde kullanılabilir. SFN içi enterferanstan kaçınmak amacıyla koruma aralığı bir önceki senaryodan daha yüksek seçilmelidir.

Bant Genişliği	8 MHz
FFT Boyutu	32k
Taşıyıcı Modu	Genişletilmiş
Dağınık Pilot Paterni	PP2
Koruma Aralığı	1/8 (448µs)
Modülasyon	256-QAM
Kod Oranı	2/3
C/N (Rice)	20 dB
Veri İletim Hızı Sonucu	**~35 Mbit/s**

5.1.6 Senaryo 4: Taşınabilir Alıcı Maksimum İletim Hızı

Bu senaryoda taşınabilir alıcı için parametreler tanımlanmıştır. Parametreler, Almanya'da kullanılmakta olan DVB-T temelli DTT uygulamalarına uyarlanmıştır. Bunlar taşınabilir alıcı için tasarlanmış ve SFN yaklaşımını temel almıştır. 16k FFT modu ve 224µs koruma aralığı süresi seçilmiştir. Bu durum SFN ağının çapını 150km ye kadar çıkarmaktadır.

DVB-T Parametreleri

Bant Genişliği	8 MHz
FFT Boyutu	8k
Taşıyıcı Modu	Tanımsız
Dağınık Pilot Paterni	Tanımsız
Koruma Aralığı	1/4 (224µs)
Modülasyon	16-QAM
Kod Oranı	2/3
C/N (Rayleigh)	17.2 dB
Veri İletim Hızı Sonucu	**~13.3 Mbit/s**

DVB-T2 Parametreleri

Bant Genişliği	8 MHz
FFT Boyutu	16k
Taşıyıcı Modu	Genişletilmiş
Dağınık Pilot Paterni	PP3
Koruma Aralığı	1/8 (224 s)
Modülasyon	64-QAM
Kod Oranı	2/3
C/N (Rayleigh)	17.1 dB
Veri İletim Hızı Sonucu	**~26.2 Mbit/s**

Karşılaştırma için verilen parametrelerde görüldüğü üzere, DVB-T2 kullanıldığında bu senaryoda iki kat iletim hızı elde edilmektedir.

Eğer 32k FFT modu taşınabilir alıcı için uygun olsaydı, aşağıdaki parametre grubu oluşurdu.

Bant Genişliği	8 MHz
FFT Boyutu	32k
Taşıyıcı Modu	Genişletilmiş
Dağınık Pilot Paterni	PP3
Koruma Aralığı	1/16 (224 s)
Modülasyon	64-QAM
Kod Oranı	2/3
C/N (Rayleigh)	17.1 dB
Veri İletim Hızı Sonucu	**~27.7 Mbit/s**

Şunu vurgulamak gerekir ki, 32k FFT modunun taşınabilir alıcılar için uygunluğu, saha ölçümleriyle henüz kanıtlanmamıştır.

5.1.7 Senaryo 5: Taşınabilir Alıcı Maksimum Kapsama Alanı

DVB-T2, DVB-T'deki kod oranını sabit tutarak DVB-T'de kullanılan kapsama alanını genişletmek için kullanılabilir. Bunu gerçekleştirebilmek için daha dayanaklı bir DVB-T2 varyantının seçilmesi gerekir. Örnek bir senaryo aşağıdaki gibi olabilir:

Bant Genişliği	8 MHz
FFT Boyutu	16k
Taşıyıcı Modu	Genişletilmiş
Dağınık Pilot Paterni	PP3
Koruma Aralığı	1/8 (224µs)
Modülasyon	16-QAM
Kod Oranı	1/2
C/N (Rayleigh)	9.0 dB
Veri İletim Hızı Sonucu	**~13.1 Mbit/s**

DVB-T ile kıyaslandığında yaklaşık 7-8 dB kazanç elde edilmektedir. Bu kazanç değeri, önceden sadece sabit alıcı için uygun olan bir alanda, alanın büyük bir bölümü için taşınabilir alıcı mümkün kılmaya yeterlidir. Veya önceden sadece taşınabilir dış mekan alıcı için uygun olan bir alanda, taşınabilir iç mekan alıcı olanaklı hale getirmeye yeterlidir.

5.1.8 Senaryo 6: Taşınabilir Alıcı Optimum Spektrum Kullanımı

Bu senaryo, geniş bir SFN tarafından kapsanan ve aynı çoklama içeriğine sahip DTT servis alanlarında spektrumun optimum kullanılmasını amaçlamaktadır. Bu maksatla çok geniş bir koruma aralığı seçilmelidir. Bu senaryo en iyi ülke çapındaki servis alanları için uygundur ama GE06 planında bu tarz geniş alotment alanları tanımlanmamıştır. Bu nedenle bu senaryonun uygulanması için ek düzenlemelerin yapılması gerekmektedir.

Bant Geniılii	8 MHz
FFT Boyutu	16k
Takēyēcē Modu	Geniıletilmiı
Daıēnēk Pilot Paterni	PP3
Koruma Aralēı	1/4 (448ε s)
Modülasyon	64-QAM
Kod Oranē	2/3
C/N (Rayleigh)	17.1 dB
Veri Ķletim Hēzē Sonucu	**~23.6 Mbit/s**

Senaryo 4 ile kēyasladēımēzda, iletim hēzēnē sadece 2.6 Mbit/s düıürerek yüksek bir spektrum etkinlii inin saılanmasē beklenmektedir.

5.1.9 Senaryo 7: Mobil Alēıı Band III'te 1.7 MHz Band Geniılii inde

DVB-T2, 1.7 MHz band geniılii inde iletim yapēlmasēna imkan saılamaktadēr. Bu da GE06 Planēndaki DAB frekans bloıu yapēsēnēn uygulanmasēnēn önünü açar. Bu yolla DVB-T2 'de, ses ve düıük iletim hēzēnda mobil TV servisleri desteklenmiı olur.

Bu senaryoda, nispeten yüksek iletim hēzlarēnē saılayan 4k FFT modu seçilmiıtir. Ancak bir önceki senaryoda da vurgulandēı ē üzere, FFT modunun bu tarz küçük takēyēcē ayrēmē ile uygunluıu, alan ölçümlerinde henüz doırulanmamēıtēr.

Bant Geniılii	1.7 MHz
FFT Boyutu	4k
Takēyēcē Modu	Normal
Daıēnēk Pilot Paterni	PP2
Koruma Aralēı	1/8 (278ε s)
Modülasyon	16-QAM
Kod Oranē	1/2
C/N (Rayleigh)	9.4 dB
Veri Ķletim Hēzē Sonucu	**~2.5 Mbit/s**

Bu senaryoda T-DAB ile aynı koruma aralığı süresi seçilmiştir. DVB-T2 için SFN performansının daha kötü olacağı beklenmektedir. Çünkü DVB-T2'nin bozunum-bozulma-degradation karakteristikleri T-DAB'dan daha kritiktir. Bu nedenle DVB-T2 senaryosu için geniş SFN alanlarında daha geniş koruma aralığı seçilmelidir. Uygun senaryo aşağıdaki gibi olabilir:

Bant Genişliği	1.7 MHz
FFT Boyutu	4k
Taşıyıcı Modu	Normal
Dağınık Pilot Paterni	PP2
Koruma Aralığı	1/4 (555µs)
Modülasyon	16-QAM
Kod Oranı	1/2
C/N (Rayleigh)	9.4 dB
Veri İletim Hızı Sonucu	**~2.2 Mbit/s**

Sonuç olarak, bu senaryoda uygun koruma aralığının belirlenmesi için daha fazla simülasyon ve alan testlerinin yapılması gerekir.

5.1.10 Senaryo 8: Taşınabilir ve Mobil Alıcı Farklı Servislerin Aynı Çoklayıcıyı Kullanması

Bu senaryoda, bir DVB-T2 çoklayıcısının, yüksek/düşük iletim hızı, dayanıklı/az dayanıklı servisler gibi farklı servisler tarafından birlikte kullanıldığı durum tanımlanmıştır. Buna en tipik örnek, bir tarafta ses/mobil TV, diğer tarafta da SD/HD TV olabilir. Bu durum, DVB-T2'nin her servis için ayrı ayrı modülasyon tekniği, kod oranı veya zaman girişimimi seçiminde sunduğu olağanüstü esnekliği sayesinde gerçekleşebilir. Bunun yanında, FFT modu ve dağınık pilot paterni seçimi yapılırken olası kısıtlamalar göz ardı edilmemelidir. Tabi ki bu durum bütün servisler için aynı anda ve tercihler uygun şekilde yapılmalıdır.

Bant Geniıliği	8 MHz
FFT Boyutu	8k
Taııyıcı Modu	Geniıletilmiı
Dağınık Pilot Paterni	PP2
Koruma Aralığı	1/4 (224ıs)
Yüksek Iletim Hızına Sahip Servis Için (TV)	
Modülasyon	64-QAM
Kod Oranı	2/3
C/N (Rayleigh)	17.5 dB
Maksimum Iletim Hızı Sonucu	**~22.4 Mbit/s (%100 yüksek iletim hızlı, %0 düıük iletim hızlı servis)**
Yüksek Iletim Hızına Sahip Servis Için (Ses/Mobil TV)	
Modülasyon	16-QAM
Kod Oranı	1/2
C/N (Rayleigh)	9.4 dB
Maksimum Iletim Hızı Sonucu	**~11.2 Mbit/s (%0 yüksek iletim hızlı, %100 düıük iletim hızlı servis)**

Çoklayıcı aıağıdaki gibi bölünebilir:

Düıük iletim hızlı servis için 1.5 Mbit/s (Çoklayıcı kapasitesinin %13 ü)

Yüksek iletim hızlı servis için 19.4 Mbit/s (Çoklayıcı kapasitesinin %87 si)

5.2 Geçiş Stratejisi

5.2.1 GE06 Planında DVB-T2

5.2.1.1 GE06 Anlaşması Kapsamında Alternatif Yayıncılık İletim Sistemlerinin Uygulanması

Bilindiği üzere RRC'06 konferansında hazırlanan GE06 Planında, iletim sistemi olarak DVB-T ve T-DAB olmak üzere iki iletim sistemi kabul edilmiştir. GE06 Anlaşmasına imza atan üye ülkeler, kendi planlarını ve plan girdilerini modifiye etmek için sadece bu iki iletim sisteminin kullanılacağını kabul etmişlerdir. Sonuç olarak, hazırlanacak olan plana modifikasyon uygulanacaksa sadece bu iki iletim sistemi kullanılabilir. Eğer GE06 Anlaşmasına imza atmış olan bir ülke, kendisine tahsis edilen nokta tahsislerini (assignment) DVB-T2 veya başka bir teknoloji kullanarak uygulamak isterse, bu nokta tahsisleri öncelikle, T-DAB veya DVB-T'yi iletim sistemi olarak gösterip, uygun teknik karakteristikler kullanılarak plan modifikasyonu olarak sunmalıdır.[75]

Düzenleyici kurum, plan girdileri inceleme alındıktan sonra, DVB-T2 veya DVB-H gibi asıl iletim sistemini, GE 06 Anlaşmasında Article 5, provizyon 5.1.3 'te bildirebilir. Bu provizyon altında, bu tarz uygulamalar, enterferansa neden olmamasını ve orijinal plan girdilerinden daha yüksek koruma seviyeleri gerektirmemesi için bir takım kısıtlamalara tabi tutulmuştur. Ayrıca, böyle bir uygulamanın 4 kHz üzerinde güç yoğunluğu tepe değeri, karşılık gelen sayısal yayın plan girdisinin 4 kHz 'te güç yoğunluğu tepe değerini aşmamalıdır.[76]

---

[75] EBU ï Tech 3348 (Mayıs 2011), ñFrequency and Network Planning Aspects of DVB-T2ò, *EBU Cenevre,* http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

[76] A.g.e.

5.2.1.2 DVB-T2 Teknik Özelliklerinin Gereksinimleri

DVB-T2 uygulamalarê için, planlamaya bakıtan bakılamamak ve DVB-T2ôye geçiıte karmakâk ıklemlerle uî rakmamak amacêyla, GE06 Planêndaki DVB-T nokta tahsisleri (assignment) ve alan tahsisleri (allotment) kullanêlabilir. DVB-T2 teknik özelliklerinin geliıtirilmesinde ticari gereksinimler ıu ıekilde belirtilmiıtir: ñ DVB-T2 teknik özellikleriyle yapêlan iletim, GE06 Planênda tanêmlanan enterferans seviyelerini ve spektrum maskesi gereksinimlerini karıêlamalê ve DVB-T óden daha fazla enterferansa neden olmamalêdêr.ò[77]

GE06 Planênda planlanmêı DVB-T ile kêyaslandêî ênda DVB-T2ônin planlamada uygulanabilir yetkinlikleri veya avantajlarê aıaî êda sêralanmêıtê:[78]

- Uygun eıit varyantlar için aynê veya daha iyi koruma oranlarê ve minimum medyan alan gücü deî erleri sunmasê,
- Sayêsal yayênclêk planênên aynê lineer (tek veya karêıêk) polarizasyonunu kullanabilmesi,
- Aynê veya daha düıük güç seviyelerinde salênêm yapan eık servisleri ayêrt edebilmesi,
- Aynê bant geniıliî i içindeki deî ikken operasyonlar için güç yoî unluî u tepe deî erini sabit veya daha düıük tutabilmesi ve salênan aynê güç seviyeleri için aynê veya daha fazla OFDM taıêyêcêsêna (FFT boyutu) sahip olmasê.

[77] EBU ï Tech 3348 (Mayês 2011), ñFrequency and Network Planning Aspects of DVB-T2ò, *EBU Cenevre*, http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

[78] A.g.e.

5.2.1.3 GE06 Planēna DVB-T2ônin Uygulanmasē

DVB-T2, aynē servis alanēnē koruyarak, bir nokta tahsisinin (assigment), GE06 Planēnēn 5.1.3 nolu Provizyonu ve karkēlēk gelen sayēsal yayēncēlēk plan girdileri kapsamēnda uygulanmasēna müsade eden bir takēm uygun ekit değiikenler sayesinde yeterli esneklği sağlamaktadēr. Ayrēca, DVB-T2 uygulamasē, iletim bandē dēkēnda güç salēnēm sēnērlarēna riayet etmeyi sağlamak için, GE06 Anlakma metninde yer alan ğekil 3-2, Tablo 3-10 (T-DAB için) ve ğekil 3.3, Tablo 3-11 (DVB-T için) óde verilen ilgili GE06 Plan girdisinin spektrum maskesine uyacaktēr.[79]

Genikletilmik takēyēcē ve ek band genikликleri gibi bazē DVB-T2 değiikenleri ve/veya modlarēnēn uygulanmasēnda hala bir belirsizlik mevcuttur. ITU-R Rec. BT.1877 (BT1877) tavsiye kararēna göre, DVB-T2ônin 7 MHz ve 8 MHz kanal değiikenleri sayēsal karasal yayēnlar için, 1.7 MHz kanal ise T-DAB yayēnlar için GE06 Planēyla uyumludur. Ancak, DVB-T2 ódeki 7 MHz genikletilmik takēyēcē modlarē, ikgal edilen gerekli band genikliği 7MHz için GE06 DVB-T spektrum maskesiyle karkēlaktērēlērsa, DVB-T 7 MHz plan girdisi ile uyumlu değildir. Aynē kekilde, 7 MHz ve 8 MHz kanallar için 1k FFT değiikeni, ilgili GE06 DVB-T maskesi uygulanērsa aynē mantēkla etkilenecektir. 5 MHz ve 6MHz kanal düzenlemelerine yönelik DVB-T2 değiikenleri GE06 plan girdisinin uygulanmasē için dükünülebilir. Ancak bu kanallarēn düzenlemesine yönelik değiikenler, ETSI (EN 302 755) ve ITU-R Rec. BT.1977 (BT1877) tavsiye metinlerinde belirtilen spektrum kekillendirme sēnērlarēnda henüz tanēmlanmamēktēr.[80]

Bu bilgiler ēkğēnda, 7 MHz, 8 MHz ve 1.7 MHz kanal için GE06 ile doğrudan uyumlu DVB-T2 değiikenleri Tablo 16ï 17 ve 18ôde gösterilmiktir.

---

[79] EBU ï Tech 3348 (Mayēs 2011), ñFrequency and Network Planning Aspects of DVB-T2ò, *EBU Cenevre,* http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

[80] A.g.e.

Modülasyon	FFT Boyutu	Kod Oranē*	Koruma Aralē ē
QPSK veya 16-QAM veya 64-QAM veya 256 -QAM	2k	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/32, 1/16, 1/8, 1/4
	4k	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/32, 1/16, 1/8, 1/4
	8k	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4
	16k	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4
	32k	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128
* 16200 ve 64800 bit blok boyutu için			

Tablo 16: 7 MHz kanal düzenlemesi için doĵrudan uyumlu DVB-T2 deĵiıkenleri.[81]

	FFT Boyutu	Kod Oranē*	Koruma Aralē ē
QPSK veya 16-QAM veya 64-QAM veya 256 -QAM	2k	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/32, 1/16, 1/8, 1/4
	4k	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/32, 1/16, 1/8, 1/4
	8k	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4
	16k	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4
	32k	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128
	8k Geniıletilmiı	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4
	16k Geniıletilmiı	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4
	32k Geniıletilmiı	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128
* 16200 ve 64800 bit blok boyutu için			

Tablo 17: 8 MHz kanal düzenlemesi için doĵrudan uyumlu DVB-T2 deĵiıkenleri.[82]

[81] EBU ï Tech 3348 (Mayēs 2011), ñFrequency and Network Planning Aspects of DVB-T2ò, *EBU Cenevre,* http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

[82] A.g.e.

Modülasyon	FFT Boyutu	Kod Oranı*	Koruma Aralığı
QPSK veya 16-QAM veya 64-QAM veya 256 -QAM	1k	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/16, 1/8, 1/4
	2k	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/32, 1/16, 1/8, 1/4
	4k	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/32, 1/16, 1/8, 1/4
	8k	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4
* 16200 ve 64800 bit blok boyutu için			

Tablo 18: 1. 7 MHz kanal düzenlemesi için doğrudan uyumlu DVB-T2 değişkenleri.[83]

Uygun fitreleme uygulanırsa DVB-T2'deki değişkil RF sinyalleri, GE06 Anlaşmasında karşılık gelen spektrum maskesine uyumlu hale getirilebilir. Aynı şekilde filtreleme DVB-T iletimindeki temel band ve/veya RF seviyesine uygulanabilir. ETSI (EN 302 755) veya ITU-R Rec. BT.1977 (BT1877) tavsiye metinlerinde DVB-T2 için spektrum maskesi tanımlanmamıştır. Bu nedenle DVB-T2 iletimleri, DVB-T için tanımlanmış olan spektrum maskesini kullanmak durumunda olacaktır. İletilen sinyalin spektral karakteristiği, işlenmemiş ham OFDM sinyali, eklenen sayısal filtreleme, doğrusal olmayan verici karakteristiği ve analog RF filtrelemenin bir fonksiyonudur. Bu nedenle, GE06 spektrum maskesiyle uyumlu olmayan doğal spektruma sahip bir DVB-T2 modu, iletilen spektrumun gerçekten GE06 spektrum maskesini dolduracağını garantilemek için emisyondan önce ek bir kaç işlem uygulanarak kullanılabilir.

Ayrıca bütün DVB-T2 1.7 MHz, 7 MHz ve 8MHz sistem değişkenleri (Bütün FFT boyutları, uygulanabilir normal ve genişletilmiş band genişlikleri), iletilen sinyal için GE06 spektrum maskesi ve diğer GE06 altyapısı yerine getirilirse kullanılabilir. Bazen olağan dışı durumlar ticari nedenlerden dolayı tercih edilebileceği göz ardı edilmemelidir. Örneğin iletilen sinyalin GE06 spektrum maskesine uymasi amacıyla yapılan ek filtreleme ile 8 MHz sinyali 7 MHz plan girdisi ile iletilebilir.

[83] EBU – Tech 3348 (Mayıs 2011), "Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2", *EBU Cenevre*, http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

Bu ıkletimsel yaklakmlar GE06 Planē içinde biçimsel plan modifikasyonu veya bildirimi prosedürü deĵildir. Bu tarz filtrelemeler, DVB-T2 uygulamasēnēn, C/N oranlarē, koruma oranlarē ve gerekli minimum medyan alan ıiddeti deĵerleri gibi teknik karakteristiklerinde deĵiıimlere neden olur. Bunun sonucunda da sadece kendi gerekli band geniılikliĵi için filtrelenmiı standart DVB-T2 ye özgü deĵiıkenler aynē kalmaz. Bu nedenle düzenleyici kurumlar tarafēndan bu ıklemlerin MIFR sistemine kaydedilince uygulanmasē oldukça zordur ve bu uygulamalarēn zararlē enterferansa maruz kaldēğē durumlarda gerekli koruma seviyeleri oluıturulmalēdēr.[84]

5.2.2 Geçiı Senaryolarē

Analogtan sayēsala geçiıte, yayēncēlar bir sistemden diĵerine geçiıte deneyimler kazanmēılar ve bu deneyimler sonucunda bir takēm kriterler elde etmiılerdir, bunlardan bazēlarē aıaĵēda verilmiıtir:

- Karasal ortamdan yayēn almayē tercih edenlerin oranē diĵer ortamlardan alanlara kēyasla ne kadar yüksek olursa, geçiı periyodu o kadar uzun ve zorlu olmaktadēr.
- Belli bir periyotta eski ve yeni tekniklerin paralel operasyonu zorunludur.
- Bu nedenle yeni ve daha etkin tekniklere geçiıi gerçekleıtirmek için belli bir miktar ek spektruma ihtiyaç vardēr.
- Kullanēcēlar geçiı için ekipmanlarēnē deĵiıtirmek zorunda kalacaĵēndan ve dolayēsēyla para harcamak durumunda olacaĵēndan, kullanēcēlarē ek programlar, yüksek servis kalitesi gibi teıvik edici etkenlerle geçiıe ikna etmek gerekmektedir.

[84] EBU ï Tech 3348 (Mayēs 2011), ñFrequency and Network Planning Aspects of DVB-T2ò, *EBU Cenevre,* http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

5.2.2.1 Mevcut Altyapı

Halihazırda DVB-T veya analog yayıncılık için kullanılan kuleler, antenler, yükselticiler, sinyal yineleyiciler vb. verici tarafında DVB-T2 için de kullanılabilir. Alıcı tarafında ise kanal düzenlemesinde değişiklik yapılmadığı sürece mevcut anten altyapısı kullanılabilir.[85]

Ancak alıcı tarafında, DVB-T2 DVB-T tunerleri ile uyumlu olmadığı için yeni televizyon setleri veya en azından farklı set üstü kutuları gerekecektir. Aynı şekilde verici tarafında da, modülatörler, SFN modunda aşı geçitleri, dağıtım ağı, görüntüleme ekipmanları ve olası filtrelerin yenilenmesi gerekecektir. Verici ve alıcı tarafında değişikliğe ihtiyaç gerektirmemesine karşın büyük ihtimalle MPEG-4 kaynak kodlaması kullanılacaktır.

5.2.2.2 Frekans Planlaması Konusu

Ticari gereksinimler nedeniyle, DVB-T2'nin GE06 planına uygun olduğu prensip meselesi olarak öngörülmektedir. Bu nedenle DVB-T2'nin uygulanması için mevcut GE06 Planında belirtilen alansal tahsislerini (allotment) ve noktasal tahsislerini (assignmet) kullanmak mümkündür. Tabi daha önce de belirtildiği üzere bir takım kısıtlamaların hesaba katılması gerekmektedir.

Frekans planlaması açısından bakılırsa, DVB-T2'ye geçiş için en kolay yol mevcut GE06 Plan yapısının kullanılmasıdır. Bu durumda, ulusal veya uluslararası seviyede yeniden frekans planlamasına gerek olmayacaktır. Yani, verici gücü, anten yerleri ve diyagramları gibi mevcut bazı karakteristikler aynen kullanılacaktır. Böylelikle veri iletim hızında ve/veya kapsama kalitesinde kazanç sağlanabilir. Aynı şekilde bir alansal tahsisi uygulaması için, enterferans potansiyeli ile birlikte mevcut allotment plan girdisinin karakteristiklerinin kullanılmsı ile de veri iletim hızı ve/veya kapsama kalitesinde kazanç sağlanabilir.

---

[85] EBU – Tech 3348 (Mayıs 2011), "Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2", *EBU Cenevre*, http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

Ayrıca DVB-T2 prensipte, yüksek spektrum etkinliği ile sonuçlanan frekans ve ağ planlamasıyle ilgili radikal yaklaşımlara müsade etmektedir. DVB-T'de iç enterferanstan ötürü SFN boyutunun kısıtlı olduğu bilinen bir gerçektir. Bu kısıtlama, yüksek FFT modları ve geniş koruma aralıkları sayesinde DVB-T2'de azalmıştır. Aynı mantıkla mevcut kapsama kalitesi daha az verici ve/veya frekans noktasal tahsisi ile sağlanabilir.

Fakat bu tarz yaklaşımlar mevcut frekans planında geniş boyutlu düzenlemeler yapmayı gerektirir ki bu da en iyi yeni bir planlama konferansıyla yapılabilir. Ancak şu an için mevcut frekans planında, bu tarz genel bir düzenleme yapılması pek olası görünmemektedir. Buna rağmen ulusal veya iki taraflı düzenlemelerle bir takım gelişmeler sağlanabilir. Buna bir örnek vermek gerekirse, kapsama alanını arttırmak için, ulusal eş kanal alansal tahsislerini birleştirerek geniş bir alan tahsisi oluşturulabilir ki bu teknik olarak DVB-T2 değişkenleri ile mümkündür

5.2.2.3 Analog TV'den DVB-T2'ye Geçiş

Ülkemizin de içinde olduğu, sayısal karasal yayıncılığa henüz geçmemiş olan ülkelerin, karasal ortamda sayısal yayınlarına DVB-T2 ile başlamaları daha mantıklı görünmektedir. Bazı ülkelerde DVB-T2 servisleri düzenli olarak sunulmaya başlandığından kısa zaman sonra DVB-T2 ekipmanlarında seri üretime geçileceğinden, piyasadan kolaylıkla temin etmek mümkün olacaktır.

Analog TV'den DVB-T'ye geçişte olduğu gibi bu durumda da analog ve DVB-T2 yayınlarının paralel olarak servis edileceği bir geçiş döneminin olması beklenebilir. Bu geçiş döneminin uzunluğu, daha çok karasal platform ile diğer platformlar arasındaki ilişkiye bağlıdır. Karasal platformu tercih edenlerin sayısı ne kadar yüksek olursa, geçiş süresi o derece uzun olacaktır ve daha çok ihtiyatlı davranılması gerekecektir.

Geçiş döneminde, paralel iletilen TV servisleri için ek spektruma ihtiyaç duyulmaktadır. Gerekli spektrum miktarı, daha çok DVB-T2'ye geçiş için kabul edilmiş olan stratejiye bağlıdır. Örnek vermek gerekirse, karasal ortamdan TV servislerini tercih edenlerin oranı yüksek olan İspanya ve Fransa'da DVB-T'ye geçişte, geçiş dönemi için ek spektrum kullanılmaktır.[86]

Geçiş döneminde, ülke çapında bölgesel geçişlerde keskin değişikliklerden kaçınılırsa masraflar azalacaktır. Karasal ortamdan yayın alışkanlığının nispeten daha az tercih edildiği Almanya'da, DVB-T'ye geçişte bu yaklaşım uygulanmaktır.[87]

DVB-T2'de bir çoklayıcıda daha fazla program çoklanabileceğinden ve daha az sayıda çoklayıcıya ihtiyaç duyulacağından, analogtan DVB-T2'ye geçiş dönemi daha kolay olacaktır. Bu durumda geçiş dönemi için masraflar düşecek ve paralel yayınlar için ek spektrum temin etmek daha kolay olacaktır.

5.2.2.4 DVB-T'den DVB-T2'ye Geçiş

Avrupa'da birçok ülke DVB-T'ye geçmiş ve bunların bir kısmı analog yayınlarını tamamen sonlandırmış diğer kısmında sonlandırmak üzeredir. Bu ülkeler için DVB-T2'ye geçiş, yeni yayın teknolojilerini uygulamaya almak ve sistemlerini geliştirmek için sonraki adım anlamına gelmektedir.

DVB-T2, DVB-T ile tam anlamıyla uyumlu değildir, bu nedenle DVB-T'den DVB-T2'ye doğrudan geçiş mümkün değildir. Bunun için daha karmaşık geçiş stratejileri geliştirmek gerekir. Bu geçişin temelde başarılı olabilmesi için müşterileri cezbedici HDTV gibi değişik servis tipleri sunulması gerekir.

Genel anlamda bu geçiş periyodu için de kullanılmayan ve/veya ek spektruma ihtiyaç vardır. Bu spektrum geçici olarak kullanılmayan bir spektrum

---

[86] EBU ï Tech 3348 (Mayıs 2011), ñFrequency and Network Planning Aspects of DVB-T2ò, *EBU Cenevre*, http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011)

[87] A.g.e.

olabilir. Uygulanmasının bakarsız olduğu ülkelerde DVB-H spektrumu buna örnek olabilir. Diğer ülkeler ise uygun VHF spektrumunu bu amaçla kullanabilir. Bir başka seçenek de, DVB-T2 çoklayıcısına yer açmak için, mevcut çoklayıcılarda daha fazla DVB-T programı toplamak olabilir. En son seçenek de DVB-T2 çoklayıcı için spektrum boşaltmak içi DVB-T yayınlarının tamamen sonlandırılmasıolabilir.

Yayıncıların bazılarıkapsama alanını ve/veya servis konseptini değiştirmek veya genişletmek için DVB-T2'nin sunduğu geniş olanaklardan faydalanmayı tercih edebilir. Örneğin, halen sabit alıcı için sağlanan kapsama alanıtaşınabilir dış mekan veya mobil alıcı için sağlanabilir. Ayrıca daha kaliteli görüntü kalitesi sunulabilir.

DVB-T'ye geçmiş olan ülkeler için en büyük mesele kullanıcıların yeniden yatırım yapma zorunluluğunun olmasıdır. Bilindiği üzere DVB-T'ye geçilirken kullanıcılar tarafından yeni alıcı cihazlar için yüklü harcamalar yapılmıştı. DVB-T2'ye geçilirken alıcı cihazlar için yeniden bir harcama yapılmasıgerekecektir. Şimdiye kadar televizyon alıcı cihazlarının yenilenme periyodu genelde çok uzun olduğu için kullanıcılar açısından bu zor bir durumdur. DVB-T2 için ön strateji çok dikkatli seçilmelidir. Çünkü bazı ülkelerde analogtan DVB-T'ye geçişte yaşandığı gibi kullanıcıtercihleri uydu ve kablo gibi diğer platformlara kayabilir.

Ülkemiz henüz DVB-T'ye geçiş yapmadığı için bu anlamda daha şanslıdır. Çünkü kullanıcılar tarafından karasal sayısal yayınlar için henüz herhangi bir harcama yapılmamıştır. Bizim dezavantajımız ise karasal yayınları tercih eden kullanıcıların oranının halihazırda çok düşük olmasıdır. Ancak DVB-T2'nin sunduğu gelişmiş video ve ses kalitesi, taşınabilir ve mobil alıcı gibi avantajları kullanıcılarıheyecanlandırabilir. Bu konuda detaylı bir değerlendirme Bölüm 6'da verilmiştir.

BÖLÜM 6

SONUÇ DEĞERLENDİRMESİ

Şüphesiz sayısal yayına geçiş beraberinde birçok değişikliği ve yeniliği getirecektir. Sayısal ses ve video kalitesinde yayınlar, interaktif hizmetler, HDTV yayınlar ve trenlerde, otobüslerde, yolda yürürken ve özel araçlarımızda faydalanabileceğimiz mobil ortamlarda televizyon seyretme imkanı gibi sayısız ve sınırsız imkanlar gelecektir. Yeni sektörler ortaya çıkacak, bazıları da tarihe karışacaktır. Yazılım yayıncılığında çok önemli olacak ve alt yapı sabit kalsa dahi sadece yazılımın getirdiği imkanlarla evlerimizdeki kutulara sınırsız imkanlar sunulacaktır. Özellikle HDTV üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Halihazırda uydu ve kablo ortamında sunulan HDTV servisleri karasal ortamdan da sunulmaya başlanacaktır.

Ülkemizdeki frekanslarda yaşanan sıkışıklığın sona ermesi ve yayınların izleyici ve dinleyicilere daha sağlıklı ulaşabilmesi için sayısal dönüşümün hızla gerçekleştirilmesi gerekir. Ülkemizdeki frekans karmaşası durumunun bir benzeri Avrupa'da yoktur.[88] Bu nedenle, mevcut durumdan daha sağlıklı yayın ortamına geçiş ancak sayısal yayınlarla mümkün olabilecektir.

Sayısal yayınların alınması iki şekilde gerçekleşebilir. Bunlardan birincisi tam sayısal yayına uyumlu ve gerekli dönüştürücüleri içinde barındıran sayısal alıcıların kullanılmasıdır ancak bu alıcıların günümüzde üretimi çok az ve maliyeti yüksektir. Diğeri ise mevcut TV alıcılarına haricen ya da cihazın içine entegre edilebilen set üstü kutu olarak adlandırılan modülün takılmasıdır. Avrupa'da kabul gören yöntem ikincisidir. Bu konuda, Avrupa'da TV alıcısı üretiminde başı çeken firmalarımızın gerekli yatırımları yaptığı, satış yaptıkları ve halen set üstü kutularda da Avrupa pazarına her yıl milyonlarca kutu sattığı bilinmektedir. Özellikle Vestel

[88] Can, Erkan (2006), "Sayısal Televizyon Yayıncılığı", *Elektrik Mühendisleri Odası Ankara Şubesi Haber Bülteni Özel Ek*, s.2006-3, http://www.emo.org.tr/ekler/347c51419ffb23c_ek.pdf?dergi=2 (02/10/2011)

A.ş. firmasının İngiltereöye DVB-T2 kutusu ve Fransaöya da sayısal modül entegre edilmiş LCD TV satışı yaptığı bilinmektedir. KARTEF Projesi kapsamında üretici sektör yetkilileri ile yapılan toplantılar[89] neticesinde yerli üreticilerimizin ülkemiz pazarı için de söz konusu kutuları belirlenecek özelliklerde ve istenildiği miktarda üretmeye hazır olduklarını anlaşılmıştır. Bu nedenle Uzak Doğu'dan yapılacak ithalatlar karşısında yerli sanayiinin teşvik edilmesine yönelik düzenleme çalışmalarının yapılması şarttır. Bu düzenleme çalışmalarından en önemlisi, ithal edilecek veya yerli imkanlarla üretilecek olan set üstü kutu veya tüner entegreli LCD veya LED televizyonlara bir takım standartları taşıması için yasal düzenlemelerin hazırlanıp uygulanmasıdır.

Bu dönüşümün izleyicilere çok büyük maliyetler getirmeyeceği öngörülebilir ancak sosyoekonomik bakımdan gelişmemiş bölgelerimizdeki izleyicilerin çeşitli mekanizmalarla desteklenmesi yönünde tedbirler alınmalıdır. Bu amaçla çeşitli finansman yöntemleri geliştirilmeli ve bazı fonlar oluşturulmalıdır.

Bütün dünya genelinde DVB-T2, sayısal karasal yayıncılık için en gelişmiş, en efektif, en sağlam ve en esnek seçenektir. DVB-T2 'deki kanal kapasitesi, aynı sağlamlık seviyesinde DVB-T 'den %50 ila %90 daha fazladır. Tekrar hatırlatmak gerekirse bu artışı sağlayan temel etkenler aşağıdaki gibidir;

- Geliştirilmiş FEC,
- Döndürülmüş konstelasyon ve Q-Delay,
- Daha çok ve geniş koruma aralığı seçenekleri,
- Daha yüksek FFT modları,
- Esnek Pilot Paternleri,
- Çoklu PLP,
- MISO modu ve
- TFS tekniği.

[89] Toplantılar, KARTEF Projesi Yürütme Grubu ile Vestel A.ş. yetkilileri arasında 05/08/2011 tarihinde, Neta Elektronik A.ş. yetkilileri arasında ise 18/08/2011 tarihinde yapılmıştır.

Dünya genelinde geliştirme deneme çalışmaları devam etmekte olup 2010 ve 2011 yıllarında İngiltere, İsveç, Finlandiya ve İtalya'nın DVB-T2'ye geçmesi ve olumlu sonuçlar alması sonucunda gelecekte daha çok ülkenin DVB-T2'yi tercih etmesi beklenmektedir. Avrupa dışında DVB-T2'yi kabul eden veya ciddi anlamda düşünen ülkeler, Avustralya, Singapur, Malezya, Tayland, Kenya, Hindistan, Srilanka ve Güney Afrika'dır. Bu ülkelerle birlikte toplam aktif DVB-T2 ülkesi sayısı Mayıs 2011 itibari ile 34'tür. Tablo 18 'de, Mayıs 2011 tarihi itibariyle, dünya genelinde DVB-T2'ye bakılayan, deneme yayınları yapan ve kabul eden ülkeler verilmiştir.

Geçenler	**Deneme Yapanlar**	**Kabul Edenler**	**Kabul Eden GAKT* Ülkeleri**
İngiltere	Danimarka	Avusturya	Angola
Finlandiya	Almanya	Çek Cumhuriyeti	Mozambik
İsveç	Tayland	Hindistan	Botsvana
İtalya	İspanya	Kenya	Namibia
	İsviçre	Sırbistan	Kongo
	Kazakistan	Slovakya	Seyseles
		Güney Afrika	Lesoto
		Singapur	Svaziland
		Ukrayna	Madagaskar
		Srilanka	Tanzanya
			Malavi
			Zambia
			Zimbabve
			Mairitus

Tablo 19: Mayıs 2011 itibariyle dünya genelinde DVB-T2 durumu.[90]

[90] DVB Fact Sheet (May 2011) "DVB-T2 - 2nd Generation Terrestrial Broadcasting", http://www.dvb.org/technology/fact_sheets/DVB-T2_Factsheet.pdf (07/07/2011)

Ülkemiz için karasal ortamdan sayısal yayınlara geçişte otoriteleri ve yayıncı kuruluşları en çok endişelendiren konu, uydu ortamından alış oranının oldukça yüksek olması ve bu yüksek oranlı uydu TV kullanıcılarının DVB-T2'ye uyumlu set üstü kutu almaya nasıl ikna edileceği'dir. Temelde en büyük problem, DVB-T2 set üstü kutularının oldukça pahalı olması idi ancak İngiltere'de sunulmaya başlandığı 2010 yılında 150 pound olan DVB-T2 set üstü kutularının fiyatları, sadece bir yıl içinde 30 pound (50 dolar) seviyelerine düşmüştür ve çok kısa zamanda DVB-T alıcılarıyla aynı seviyelere geleceği beklenmektedir.[91] Ayrıca İngiltere'de, DVB-T2 alıcısı entegre televizyonların fiyatı, entegre olmayanlara göre sadece 15 pound (25 dolar) pahalıdır.[92] Dünya genelinde DVB-T2'nin hızla kabul gördüğü ve yaygınlaşacağı düşünülürse DVB-T2 alıcı fiyatlarının konusunda önümüzdeki 1ï2 yıl içinde hiçbir sıkıntı kalmayacağı kolaylıkla öngörülebilir. Bu süre, sayısal karasal frekans planlaması çalışmalarına Haziran 2011'de başlamış olan ülkemiz için tam da karasal ortamdan sayısal yayıncılığa geçilmesi planlanan süre zarfını tanımlamaktadır.

İkinci durum ise uydu ortamından yayın alan kullanıcıların karasal ortamdan yayın almaya ikna olup olmayacağı konusudur. Bilindiği üzere uydu ortamından yapılan yayınların sayısallaşması ile görüntü ve ses kalitesi oldukça iyileşmiş ve bunun sonucunda da televizyon yayıncılığında uydu ortamından yararlananların oranı bir hayli artmıştır. Çevremize göz attığımızda irili ufaklı hemen hemen her bina da bir uydu anteni görebiliriz. Özellikle tıkradaki yerleşim birimlerimizde hemen hemen her hanede uydu yayınları alınmaktadır. KARTEF Projesi kapsamında yapılan sayısal karasal televizyon frekans planında, ülkemizin coğrafi yapısı nedeniyle köylerin büyük bir kısmı kapsam dışında bırakılmak zorunda kalınmıştır. Bu nedenle karasal sayısal yayınlar kesinlikle uydu ortamından yapılan televizyon yayınlarının rakibi olarak görülmemelidir. Karasal yayınlar diğer ortamlardan (uydu, kablo ve IP) yapılan televizyon yayınlarının tamamlayıcısı olarak görülmelidir. Şehirlerde bile birçok kullanıcı uydudan vazgeçmeyecektir.

[91] DVB Fact Sheet (May 2011) "DVB-T2 - 2nd Generation Terrestrial Broadcasting", http://www.dvb.org/technology/fact_sheets/DVB-T2_Factsheet.pdf (07/07/2011)

[92] A.g.e.

Ancak karasal ortamdan televizyon yayınlarının bakarya ulaşmasi için şehirlerdeki kullanıcıların uydu ile birlikte karasal sayısal yayınları da almaya ikna edilmesi gerekmektedir. Şöyle bunun için DVB-T2'nin sunduğu muazzam iletim kapasitesi ve elastik yapıdan faydalanılabilir. Şöyle ki, düzenli harcama yapılmasi gereken D-Smart ve Digiturk platformları hariç, uydu ortamından şu an için HD servisleri yaygınlaşmamıştır. DVB-T2'de sabit alıcılar için çok sayıda TV kanalını hatta hepsini HD formatında iletmek mümkün olabilecektir. Binalarda ortak sabit çatı anteni kurulup bina içindeki dairelerde, her odaya bir uç verilerek her odada hatta banyoda HDTV izleme olanağı sunulabilecektir. Uydu ortamından alınan yayınlara karşı, karasal yayınların tercih edilmesinin en önemli nedeni bu olacaktır.

Ayrıca, kullanıcılar uydu ile sadece evinin bir odasında izleyebildiği yayınları DVB-T2'nin sağladığı yüksek performanslı taşınabilir alıcı sayesinde, 10 ila 20 cm uzunluğunda antenlerle balkonundan, bahçesinden veya kapsama alanı içinde gideceği herhangi bir park, piknik alanı, deniz, göl veya akarsu kenarları gibi alanlarda sayısal netlikte izleyebilecektir.

Bu avantajların kullanıcıları cezbetmesi öngörülebilir. Ülkemiz için düşünülecek olursa, özellikle DVB-T2'nin sağlayacağı taşınabilir alıcı, kullanıcılar tarafından tercih edilecek bir seçenek olarak değerlendirilebilir. Bu bağlamda DVB-T2'nin kamuoyunda iyi tanıtılmasi neticesinde kullanıcıların hızla yeni sisteme geçme isteği doğacaktır. Sonuç olarak, ülkemiz açısından karasal ortamdan sayısal yayınlara geçişte DVB-T2 standardının tercih edilmesi kaçınılmazdır. Çünkü karasal ortamdan sayısal yayıncılığa ancak DVB-T2 teknolojisi ile geçildiği takdirde, karasal ortamdan yapılan televizyon yayıncılığının bakarya ulaşacağı sonucu tespit edilebilir.

ÖZET

Bu tez çalışmasıile ülkemizdeki frekans karmaşasının azaltılmasına yönelik yapılmasıdüşünülen frekans planlama çalışmalarına katkı sağlanmasıhedeflenmiştir. Ülkemizde karasal ortamdan yapılan televizyon yayıncılığının gelişimi ve mevcut durumu hakkında bilgi verilmiş ve sayısal yayınlara geçişte tercih edilmesi gereken teknolojinin, halihazırda dünyada en gelişmiş sayısal karasal televizyon yayıncılığıteknolojisi olan DVB-T2 olduğu tezi ispatlanmaya çalışılmıştır. DVB-T2'nin frekans planlamasıaçısından sunduğu birçok kombinasyondan bazılarısenaryolar halinde belirtilmiş ve geçiş aşamasında uygulanacak stratejiye yönelik öneriler sunulmuştur. Bu çalışmanın bakıta yürütülmekte olan KARTEF Projesi olmak üzere gelecekte yapılacak olan frekans planlama çalışmalarının anlaşılmasına katkısağlayacağıdeğerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Sayısal Karasal Televizyon Yayıncılığı; DVB-T2; KARTEF; frekans planlaması*

ABSTRACT

In this thesis, itôs aimed to contribute frequency planning studies in order to overcome frequency confusion problem in Turkey. Some information has been given about development of terrestrial television broadcasting and about state of play in Turkey. Also itôs tried to prove this thesis; ñWhile transition from analog to digital in terrestrial television broadcasting, DVB-T2, which is the most advanced digital terrestrial broadcasting tecnology, must be chosenò. Some of planning combinations which are possible in DVB-T2 have been stated in the form of scenarios and some offers have been submitted on strategy during the transition period. Itôs hoped that, this thesis study will be beneficial for KARTEF Project and other frequency planning studies in the future.

Key Words: *Digital Terrestrial Television Broadcasting; DVB-T2; KARTEF; frequency planning*

ÖZGEÇMİŞ

Yasin Yiğit 1979 yılında Kütahya'nın Tavşanlı ilçesinde doğmuştur. İlk ve orta öğrenimimi Tavşanlı'da tamamlamış, Tavşanlı Atatürk Lisesini, bir yıllık İngilizce hazırlıkla beraber dört yılda birincilikle bitirmiştir. 1997 yılında Uludağ Üniversitesi Elektronik Mühendisliği bölümünü kazanmış, 2002 yılının şubat ayında mezun olmuştur. Bitirme projesi olarak, bir tür gizli haberleşme türü olan stegonografi alanında bir çalışma yapmış ve çalışması, Yıldız Teknik Üniversitesi'nin her yıl düzenlediği, 2002 yılı Sinyal İşleme Uygulamaları Sempozyumu'nda yayınlanmıştır. 2003 yılında yedek subay olarak bakladığı vatani görevini 2004 yılında tamamlamış, aynı yıl Çanakkale'nin Çan ilçesinde, yabancı sermayeli Alstom Power firmasının inşa ettiği termik santralde, operasyon mühendisi olarak çalışma hayatına başlamıştır. 2005'ten 2007 yılları arasında Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığına bağlı Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezi Başkanlığında (ÇASGEM) Uzman Yardımcısı olarak görev yapmıştır. 2007 yılından beri Radyo ve Televizyon Üst Kurulu, İçerik ve Tahsisler Dairesi Başkanlığında uzman yardımcısı olarak görev yapmakta olup halen Bilkent Üniversitesi ISYAM binasında yürütülmekte olan KARTEF Projesinde RTÜK adına proje mühendisi olarak çalışmalarına devam etmektedir. İyi derecede İngilizce bilen Yasin Yiğit evli ve 2 çocuk babasıdır.

KAYNAKÇA

Altıntaş, Ayhan ve Topçu, Satılmış (08/05/2006), "Sayısal TV Frekans Planlaması", RTÜK Sayısal Yayıncılık Paneli, Sunum, http://www.rtuk.org.tr/sayfalar/IcerikGoster.aspx?icerik_id=b5fe6f44-cc17-4ab4-ad32-5c348041c3cd (02/10/2011).

Birgör, Ulaş ve Karaca, Ümit (Mart 2007), "Karasal Sayısal Yayın (Dijital TV)", S.202, *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi*, http://www.emo.org.tr/ekler/1b3cc561955829a_ek.pdf?dergi=4 (02/10/2011).

Birgör, Ulaş ve Karaca, Ümit (Nisan 2007), "Karasal Sayısal Yayın (Dijital TV)", S.203, *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi*, http://www.emo.org.tr/ekler/1b0e1902f1c695c_ek.pdf?dergi=4 (02/10/2011).

Can, Erkan (2006), "Sayısal Televizyon Yayıncılığı", *Elektrik Mühendisleri Odası Ankara Şubesi Haber Bülteni Özel Ek*, s.2006-3, http://www.emo.org.tr/ekler/347c51419ffb23c_ek.pdf?dergi=2 (02/10/2011).

Celtic Telecommunication Solutions, "DVB-T2 Network Planning", *B21C – CELTIC project CP4-004, WP3 – Network & Channels, Deliverable D11-3*, http://projects.celtic-initiative.org/b21c/B21C%20-%20D11-3%20-%20DVB-T2%20Network%20Planning.pdf (02/10/2011).

Cücioğlu, İbrahim, "DVB-T", *Ders Notu, Samanyolu TV Vericiler Müdürü* http://www.satturkey.com/DVB-T.pdf (02/10/2011).

DVB Fact Sheet (May 2011) "DVB-T2 - 2nd Generation Terrestrial Broadcasting", http://www.dvb.org/technology/fact_sheets/DVB-T2_Factsheet.pdf (07/07/2011).

EBU ï Tech 3334 (Şubat 2009), ñAccommodation of HDTV in the GE06 Planò, *EBU, Cenevre,* http://tech.ebu.ch/webdav/site/tech/shared/tech/tech3334.pdf (03/10/2011).

EBU ï Tech 3348 (Mayıs 2011), ñFrequency and Network Planning Aspects of DVB-T2ò, *EBU Cenevre,* http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3348.pdf (03/10/2011).

Fu, Li Sun, Songlin Jing, Xiaojun ve Huang, Hai, ñAnalysis of Pilot Patterns and Channel Eestimation for DVB-T2ò, *Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing, Çin,* http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5657853 (03/10/2011-Üyelik gerektiren erişim).

Gozalvez, David Vargas, David Gomez-Barquero, David ve Cardona, Narcis, ñPerformance Evaluation of DVB-T2 Time Interleaving in Mobile Environmentsò, *Mobile Communications Group ï iTEAM Research Institute, Universidad Politecnicade Valencia, İspanya,* http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5594599 (03/10/2011-Üyelik gerektiren erişim).

ITU, Final Acts of RRC-06, 2006.

ITU, RRC-06 Konferansı Türk Heyeti Raporu, 2006

LS Telcom - White Paper (Haziran 2010), ñPlanning DVB-T2 Advance and Challengeò, http://www.lstelcom.com/en/data/files/customer_news_magazine/WHP01_3_DVB-T2_Planning.pdf (03/10/2011).

Morgül, Avni, *Dijital Televizyon,* Anten Dünyası yayınları, İstanbul, 2002.

Morgül, Avni, ñ*Sayısal Karasal TV Yayınları*ò, Ders Notu, Boğaziçi Üniversitesi Elektrik / Elektronik Bölümü, http://esaki.ee.boun.edu.tr/~morgul/Karasal%20TV.pdf (02/10/2011).

Morgül, Avni, *Sayısal Televizyon Tekniği*, Papatya yayınları, İstanbul, 2011.

Radyo ve Televizyon Üst Kurulu, 22/12/2011 tarih ve 2011/69 nolu toplantısında alınan 2 nolu Üst Kurul kararı.

Radyo ve Televizyon Üst Kurulu, İçin ve Tahsisler Dairesi Başkanlığının 21/05/2010 Tarih ve 4506 Sayılı Yazısı 2 nolu Ekinde yer alan Komisyon Raporu.

Radyo ve Televizyon Üst Kurulu, KARTEF Projesi (2011) Teknik Şartnamesi.

Roul, Laurent, ñDelivering Regional DVB-T2 Servicesò, *ENENSYS Technologies*, http://dvb.org/news_events/news/delivering-regional-dvb-t/index.xml (03/102011).

T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı (Haziran 2006), ñDokuzuncu Kalkınma Planı - Bilgi ve İletişim Teknolojileri Özel İhtisas Komisyonu Yayıncılık Alt Komisyonu Raporuò DPT, Ankara,