

**GALILEO UYDU SEYRÜSEFER SİSTEMİ
E5 SİNYAL SİMÜLASYONU**

Erman ARSLAN
Yüksek Lisans Tezi

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Havacılık Elektrik ve Elektronik Anabilim Dalı
Ocak - 2016

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Erman ARSLAN'ın “**Galileo Uydu Seyrüsefer Sistemi E5 Sinyal Simülasyonu**” başlıklı **Havacılık Elektrik ve Elektronik** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 11.01.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı- Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Öğr. Grv. Dr. Kadriye YAMAN	.....
Üye	: Doç. Dr. Hakan OKTAL	.....
Üye	: Yard. Doç. Dr. Ayşe KAHVECİOĞLU	.....

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

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GALILEO UYDU SEYRÜSEFER SİSTEMİ E5 SİNYAL SİMÜLASYONU

Erman ARSLAN

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Havacılık Elektrik ve Elektronik Anabilim Dalı**

**Danışman: Öğr. Grv. Dr. Kadriye YAMAN
2016, 119 Sayfa**

Günümüzde teknolojinin çok hızlı bir şekilde gelişmesiyle birlikte pek çok alanda uyduya dayalı seyrüsefer sistemlerine olan gereksinimde artmıştır. 90'lı yıllardan beri kullanımda olan GPS ve son yıllarda tam operasyonel olan GLONASS ile birlikte halen gelişim aşamasında olan COMPASS ve GALILEO üç boyutlu konum belirleme sistemlerinin temellerini oluşturmaktadır. Özellikle sivil kullanıcılara yüksek doğruluk ve hassasiyette hizmet sağlayabilmek üzere Avrupa Birliği ve Avrupa Uzay Ajansı tarafından geliştirilmekte olan Galileo sistemi, E5-E6-E1 olarak tanımlanan üç sinyal bandı üzerinden yayın yapmaktadır. Bu sinyal bantlarından E5, tüm sivil kullanıcılara hizmet sağlamak üzere tahsis edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, Galileo E5 sinyalinin simülasyonu ve bir kullanıcı arayüzü tasarımının gerçekleştirilmesidir. Bu doğrultuda sinyal simülasyonu işleminde kullanıcı tarafından orijinal seyrüsefer mesajına ilave bir veri mesajının yüklenebilmesi ve demodülasyon işlemi sonucunda tüm veri mesajının görüntülenebilmesi hedeflenmiştir. Üç aşamadan oluşan bu çalışmada öncelikle E5 sinyali için gerekli matematiksel denklemler ortaya konulmuştur. Daha sonra bu denklem takımları matematiksel problemlerin çözümünde ve analizinde kullanılmak üzere tasarlanmış olan MATLAB (Matrix Laboratory) R2013a programlama dili vasıtasıyla bilgisayar ortamına aktarılmış ve sinyal simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın son aşamasında ise üretilen sinyal grafiklerinin ve Galileo sistemi ile ilgili genel bilgilerin sunulabilmesi amacıyla MATLAB-GUI (Graphical User Interface) kullanılarak interaktif bir arayüz tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın uygulama aşamasında geliştirilen arayüze eklenen Türkiye haritası üzerinde kullanıcı tarafından rasgele seçilen herhangi bir nokta için üç boyutlu konum belirleme işlemi sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Galileo, E5 Sinyal Simülasyonu, Alternatif İkili Ofset Taşıyıcı Modülasyonu, Kullanıcı Arayüzü Tasarımı

Abstract

Master of Science Thesis

GALILEO SATELLITE NAVIGATION SYSTEM E5 SIGNAL SIMULATION

Erman ARSLAN

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Department of Avionics**

**Supervisor: Dr. Kadriye YAMAN
2016, 119 pages**

Nowadays, in accordance with the very rapid development of technology, the need for satellite based navigation systems in many fields has increased. GPS that has been used from 90's, GLONASS that is currently operational, COMPASS and GALILEO which are still in the development process form the foundations of three dimensional position determination. To provide a high accuracy and precision positioning for civil users, European Union and European Space Agency are developing the Galileo system which is broadcasting in three signal bands, they are E5-E6 and E1. E5 band of this signal have been allocated to provide services to civilian users.

The aim of this study is the realization of the Galileo E5 signal simulation and user interface design. In this context, it is aimed to install an additional data message to the original navigation message by the user in the process of signal simulation and as a result of the demodulation process all data messages can be displayed. This study consists of three phases: Firstly, for the E5 signal, the required mathematical equations have been demonstrated. Then these equations have been implemented in the computer by using MATLAB (Matrix Laboratory) programming language which is designed to solve mathematical problems and to perform analysis; in addition, a signal simulation was conducted. In the final stage of the study, in order to provide general information about the Galileo system and to generate signal graphs an interactive interface design was carried out by using MATLAB-GUI (Graphical User Interface). User may determine the three dimensional location of a random point on the map of Turkey by using the interface which was developed during the study.

Keywords: Galileo, E5 Signal Simulation, Alternative Binary Offset Carrier Modulation, User Interface Design

Aileme ve Kız Arkadaşıma...

TEŞEKKÜR

Çalıőmam boyunca desteğini benden esirgemeyen, sabırla beni yönlendiren danıőmanım ve değerli hocam Öğr. Grv. Dr. Kadriye YAMAN'a ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgilerini benimle paylaőan ve eğitimime büyük katkı sağlayan Doç. Dr. Hakan OKTAL'a sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışması boyunca bana verdiği manevi destek, göstermiő olduğu sabır ve anlayıőtan dolayı değerli kız arkadaőım Buket ASLAN'a teşekkür ederim.

Son olarak yoğun çalışma temposu içinde beni her zaman anlayıőla karőılayan ve sonsuz desteklerinden dolayı sevgili aileme teşekkür ederim.

Erman ARSLAN

Eskiőehir, 2016

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
SİMGELER DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ	1
2. GALİLEO SİSTEMİ	4
2.1. Galileo Sistemi Genel Yapısı	4
2.2. Galileo Gelişim Aşamaları	8
2.3. Öngörülen Hizmetler	9
2.4. Konum Belirleme	12
2.5. Planlanan Galileo Frekans Bantları	14
2.6. Galileo Sistemi Mesaj Yapısı	16
2.6.1. F/NAV mesaj yapısı	18
2.6.2. I/NAV mesaj yapısı	19
2.7. Uydu Seyrüsefer Sistemlerinde Kullanılan Modülasyon Teknikleri	21
2.7.1. BPSK modülasyonu	21
2.7.2. QPSK modülasyonu	22
2.7.3. BOC modülasyonu	26
2.7.3.1. MBOC modülasyonu	31
2.7.3.2. CBOC modülasyonu	33
2.7.3.3. AltBOC modülasyonu	35
2.7.3.4. Galileo’da kullanılan modülasyon tekniklerine genel bir bakış	39

2.8. Galileo Kod Üretimi	40
2.8.1. Kod üretiminde kullanılan elemanlar	41
2.8.1.1. XoR kapısı	41
2.8.1.2. Doğrusal geri beslemeli kaymalı kaydediciler	41
2.8.1.3. Sayı sistemleri ve birbirlerine dönüşümleri	43
2.8.2. Katmanlı kodlar	45
2.8.2.1. Birincil kod üretimi	45
2.8.2.2. İkincil kod üretimi	48
2.9. Galileo Sinyal Üretimi	50
2.9.1. E5 sinyali	50
2.9.2. E6 sinyali	54
2.9.3. E1 sinyali	55
2.10. Galileo Sistem Performans Değerlendirmesi	56
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	61
3.1. Galileo Sinyal Üretimi Literatür Araştırmaları:	61
3.2. Galileo Sinyal Demodülasyonuna Ait Literatür Araştırmaları:	62
4. GALILEO E5 SİNYALİ ÜRETİMİ VE SİMÜLASYONU	65
4.1. C_{E5} Kod Dizilimlerinin Üretimi	67
4.1.1. C_{E5a-I} kod dizilimi	67
4.1.1.1. C_{E5a-I} kod dizilimi için birincil kod üretimi	68
4.1.1.2. C_{E5a-I} kod dizilimi için ikincil kod üretimi	70
4.1.2. C_{E5a-Q} kod dizilimi	71
4.1.2.1. C_{E5a-Q} kod dizilimi için birincil kod üretimi	72
4.1.2.2. C_{E5a-Q} kod dizilimi için ikincil kod üretimi	73
4.1.3. C_{E5b-I} kod dizilimi	74
4.1.3.1. C_{E5b-I} kod dizilimi için birincil kod üretimi	75
4.1.3.2. C_{E5b-I} kod dizilimi için ikincil kod üretimi	77
4.1.4. C_{E5b-Q} kod dizilimi	78

4.1.4.1. C_{E5b-Q} kod dizilimi için birincil kod üretimi	78
4.1.4.2. C_{E5b-Q} kod dizilimi için ikincil kod üretimi	80
4.1.5. C_{E5} kod dizilimlerinin Matlab programlama dilinde üretilmesi ...	81
4.2. e_{E5} Kod Dizilimlerinin Üretimi	84
4.3. AltBOC Modülasyonu ve E5 Sinyallerinin Elde Edilmesi	85
4.4. Seyrüsefer Mesajı	93
4.5. Alıcı Tasarımı	96
4.6. Arayüz Tasarımı	98
4.6.1. Kullanıcı arayüzü genel bilgiler bölümü	101
4.6.2. Kullanıcı arayüzü sinyal simülasyonu bölümü	103
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	108
KAYNAKLAR	110
Ek-1. ASCII 7 Bitlik kod dizimleri	118

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Galileo genel yapısı	4
2.2. Galileo sistemi	5
2.3. Yer kontrol bölümü alt elemanlarının dünya üzerindeki dağılımı	6
2.4. Galileo yer kontrol merkezleri ve alt tesisleri	6
2.5. Galileo programı IOV-2008 aşaması genel yapısı	8
2.6. SAR hizmeti	12
2.7. Uydu ve alıcı arasında iletilen sinyalin süresinin hesaplanması	13
2.8. Uyduya dayalı seyrüsefer sistemleri ile konum belirleme	13
2.9. Galileo frekans planı	14
2.10. Galileo seyrüsefer mesaj yapısı	17
2.11. F/NAV seyrüsefer mesaj yapısı	19
2.12. F/NAV seyrüsefer detaylı mesaj yapısı	19
2.13. I/NAV seyrüsefer mesaj yapısı	20
2.14. I/NAV seyrüsefer detaylı mesaj yapısı	20
2.15. BPSK modülasyonu	21
2.16. BPSK verici yapısı	22
2.17. BPSK alıcı yapısı	22
2.18. QPSK sinyal kümesi	23
2.19. QPSK modülasyonu	24
2.20. QPSK verici yapısı	25
2.21. QPSK alıcı yapısı	26
2.22. BOC modülasyonu genel üretim şeması	26
2.23. BOC modülasyonu	26
2.24. BPSK ve BOC sinyali	28
2.25. $BOC(5,2)$ modülasyonu	30
2.26. BPSK ve BOC modülasyonu frekans spektrumları	30
2.27. SinBOC (10,5) ve CosBOC (10,5) modülasyonu frekans spektrumları	30
2.28. MBOC (6,1,1/11) ve BOC (1,1) modülasyonu frekans spektrumları	32
2.29. CBOC (6,1,1/11) modülasyonu frekans spektrumu	34

2.30. AltBOC modülasyonu dört farklı veri mesajının yüklenmesi	35
2.31. Veri ve pilot alt taşıyıcıların grafiksel görünümü	38
2.32. AltBOC (15,10) frekans spektrumu	39
2.33. Galileo sinyali ve kullanılan modülasyon çeşitleri	40
2.34. LFSR devresi örneği	42
2.35. Örnek bir LFSR için başlangıç değerlerine 1 ataması	43
2.36. Katmanlı kod üretim adımları	45
2.37. Sadeleştirilmiş yayınlanan kodu üretim şeması	46
2.38. E5a-I ve E5a-Q için kaydedici 1'in sekizli sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüşümü ve geri besleme bacaları	47
2.39. E5a-I kaydedici 2'nin başlangıç dizisinin onaltılı sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüşümü	48
2.40. $CS100_3$ kod dizisinin onaltılı sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüşümü	49
2.41. E5 sinyali üretim şeması	51
2.42. İki alt taşıyıcı fonksiyonun bir periyodu	53
2.43. E6 sinyali için modülasyon şeması	54
2.44. E1 sinyali için modülasyon şeması	55
4.1. Galileo E5 sinyali üretim şeması	66
4.2. C_{E5a-I} yayınlanan kod uzunluğu	67
4.3. $E5a-I$ birincil kod şeması	68
4.4. $E5a-I$ birincil kod üretimi	70
4.5. C_{E5a-I} yayınlanan kod dizisi üretim şeması	71
4.6. C_{E5a-Q} yayınlanan kod uzunluğu	71
4.7. $E5a-Q$ birincil kod şeması	72
4.8. $E5a-Q$ birincil kod üretimi	73
4.9. C_{E5a-Q} yayınlanan kod dizisi üretim şeması	74
4.10. C_{E5b-I} yayınlanan kod uzunluğu	75
4.11. $E5b-I$ birincil kod şeması	75
4.12. $E5b-I$ birincil kod üretimi	76
4.13. C_{E5b-I} yayınlanan kod dizisi üretim şeması	77

4.14. C_{E5b-Q} yayınlanan kod uzunluğu	78
4.15. $E5b-Q$ birincil kod şeması	78
4.16. $E5b-Q$ birincil kod üretimi	79
4.17. C_{E5b-Q} yayınlanan kod dizisi üretim şeması	81
4.18. Her uydu için C_{E5a-I} kod diziliminin grafiksel gösterimi	83
4.19. Her uydu için e_{E5a-I} sinyali	85
4.20. Galileo E5 sinyalinin detaylı üretim şeması	86
4.21. 1. uydu için $\bar{e}_{E5a-I}(t)$ sinyali	88
4.22. $sc_{E5-S}(t)$ alt taşıyıcı sinyali	89
4.23. $sc_{E5-P}(t)$ alt taşıyıcı sinyali	89
4.24. $sc_{E5-S}(t - T_{S,E5}/4)$ zaman kaymalı alt taşıyıcı sinyali	89
4.25. $sc_{E5-P}(t - T_{S,E5}/4)$ zaman kaymalı alt taşıyıcı sinyali	90
4.26. 1. Uydu reel ve sanal $S_{E5}(t)$ sinyali	91
4.27. 2. Uydu reel ve sanal $S_{E5}(t)$ sinyali	91
4.28. 3. Uydu reel ve sanal $S_{E5}(t)$ sinyali	92
4.29. 4. Uydu reel ve sanal $S_{E5}(t)$ sinyali	92
4.30. Gerçek zamanlı GPS uydularının dünya üzerindeki iz düşümleri	94
4.31. Veri mesajının detayları	95
4.32. Seyrüsefer mesajının elde edilmesi	96
4.33. Seyrüsefer mesajının boş veri olarak alınması	97
4.34. Elde edilen veri mesajının detayları	98
4.35. Kullanıcı arayüzü ‘Ana Sayfa’ ekran görüntüsü	98
4.36. ‘Genel Bilgiler’ bölümü Matlab-Gui akış diyagramı	99
4.37. ‘Sinyal Simülasyonu’ bölümü Matlab-Gui akış diyagramı	100
4.38. Genel bilgilerin içerik sayfası ekran görüntüsü	101
4.39. ‘Sistem Yapısı’ alt bölüm ekran görüntüsü	102
4.40. ‘Kontrol Bölümü’ konu anlatım sayfası ekran görüntüsü	102
4.41. E5 Sinyal simülasyonu içerik sayfası ekran görüntüsü	103

4.42. C_{E5} ‘kodlarının üretimi’ konu anlatım sayfası ekran görüntüsü	104
4.43. C_{E5} kod dizilimlerinin 4 uydu için grafiksel görüntülerinin ekran sayfası	104
4.44. Seyrüsefer mesajının eklenmesi ekran görüntüsü	105
4.45. Alıcı sayfasında ‘Dekoder Kapalı’ konumda iken ekran görüntüsü	106
4.46. Alıcı sayfasında ‘Dekoder Açık’ konumda iken ekran görüntüsü	107

ÇİZELGELER DİZİNİ

1.1. GNSS sistemleri uydu sayıları	2
2.1. Açık hizmet özellikleri	9
2.2. Ticari hizmet özellikleri	10
2.3. Yaşam emniyeti hizmeti özellikleri	10
2.4. Kamu asayiş hizmeti özellikleri	11
2.5. Her bir sinyal için taşıyıcı frekansları, dalga boyu ve bant genişliği	15
2.6. Galileo hizmetleri ve öngörülen frekans bantları	15
2.7. Galileo seyrüsefer mesajı parametreleri	16
2.8. Galileo mesaj çeşitlerinin içerikleri	18
2.9. QPSK sinyal koordinatları	23
2.10. $sc_d(t)$ ve $sc_p(t)$ değerlerinin zamanla değişimleri	38
2.11. Sinyal özellikleri	39
2.12. Galileo sinyal parametreleri	40
2.13. Galileo kod uzunlukları	41
2.14. <i>XoR</i> kapısı	41
2.15. Başlangıç değeri 1 için LFSR'nin 4 bitlik çip dizisi	43
2.16. Sekizli sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüşüm	44
2.17. Onaltılı sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüşüm	44
2.18. ASCII kodlarının 7 bitlik ikili sayı sistemine dönüşüm örnekleri	44
2.19. E5 birincil kod özellikleri	46
2.20. E5 alt sinyal bantlarında kaydedici-1 ve kaydedici-2 için geri besleme bacakları	47
2.21. İkincil kod ataması	50
2.22. E5 çip ve sembol oranları	51
2.23. AltBOC alt taşıyıcı katsayıları	53
2.24. E6 çip ve sembol oranları	54
2.25. E1 SoL CBOC çip ve alt taşıyıcı oranları	56
2.26. GPS ve Galileo sistemlerinin karşılaştırılması	57
2.27. Galileo hizmet performansları	59

3.1. Galileo sistemi sinyal üretimi ve demodülasyonu üzerine yapılan literatür araştırması.....	64
4.1. <i>E5a-I</i> kaydedici 1 ve kaydedici 2 geri besleme bacaları	69
4.2. <i>E5a-I</i> kaydedici 2 başlangıç değerleri ve başlangıç dizileri örnekleri	69
4.3. <i>E5a-Q</i> kaydedici 2 başlangıç değerleri ve 24 bitlik başlangıç dizi örnekleri	72
4.4. <i>E5a-Q</i> için seçilen 4 uyduya ait ikincil kod dizilerinin onaltılı sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüşümü	74
4.5. <i>E5b-I</i> kaydedici 1 ve kaydedici 2 geri besleme bacaları	76
4.6. <i>E5b-I</i> kaydedici 2 başlangıç değerleri ve başlangıç dizileri örnekleri	76
4.7. <i>E5b-Q</i> kaydedici 2 başlangıç değerleri ve 24 bitlik başlangıç dizi örnekleri	79
4.8. <i>E5b-Q</i> için seçilen 4 uyduya ait ikincil kod dizilerinin onaltılı sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüşümü	80
4.9. Elde edilen sinyallerin çip sayıları	81
4.10. Genişletilen sinyallerin çip sayıları	82
4.11. 4 uyduya ait sinyal grafiklerinin aynı anda üretilirken geçen süreler	92
4.12. Örnek veri mesajı.....	93
4.13. Gerçek zamanlı GPS uydu konumları	94
4.14. Örnek bir veri mesajının elde edilmesi	97

KISALTMALAR DİZİNİ

AltBOC	: Alternatif İkili Ofset Taşıyıcı Alternate Binary Offset Carrier
ARNS	: Havacılık Radyo Seyrüsefer Hizmeti Aeronautical Radio Navigation Services
ASCII	: Bilgi Değişimi için Amerikan Standart Kodlama Sistemi American Standard Code for Information Interchange
BOC	: İkili Ofset Taşıyıcı Binary Offset Carrier
BPSK	: İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama Binary Phase Shift Keying
CBOC	: Bileşik İkili Ofset Taşıyıcı Composite Binary Offset Carrier
CDMA	: Kod Bölmeli Çoklu Erişim Code Division Multiple Access
C/NAV	: Ticari Seyrüsefer Mesajı Commercial Navigation Message
CRC	: Döngüsel Artıklık Denetimi Cyclic Redundancy Check
CS	: Ticari Hizmet Commercial Service
DOD	: Savunma Bakanlığı Department of Defense
EGNOS	: European Geostationary Navigation Overlay Service
ERIS	: Dış Yörüngesel Bütünlük Sistemleri From External Regional Integrity Systems
ESA	: Avrupa Uzay Ajansı European Space Agency
FDF	: Uçuş Dinamiği Tesisi Flight Dynamics Facility
FEC	: İleri Hata Düzeltme Forward Error Correction

FGI	: Finnish Geodetic Institute
F/NAV	: Serbest Erişimli Seyrüsefer Mesajı Freely Navigation Message
FOC	: Tam Fonksiyonel Çalışma Kabiliyeti Full Operational Capability
GACF	: Yer Aktif Kontrol Tesisi Ground Asset Control Facility
GAGAN	: GPS Aided Geo Augmented Navigation
GCC	: Yer Kontrol Merkezi Ground Control Centers
GCS	: Yer Kontrol Bölümü Ground Control Segment
GEO	: Yere Göre Eş Zamanlı Yörünge Geostationary Earth Orbit
GIOVE-A	: Galileo Yörünge Doğrulama Elamanı A Galileo In-Orbit Validation Element A
GIOVE-B	: Galileo Yörünge Doğrulama Elamanı B Galileo In-Orbit Validation Element B
GLONASS	: Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema Küresel Uydu Konumlandırma Sistemi
GMS	: Yer Hizmet Bölümü Ground Mission Segment
G/NAV	: Kamusal Seyrüsefer Mesajı Governmental Navigation Message
GNSS	: Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemi Global Navigation Satellite System
GPS	: Küresel Konumlandırma Sistemi Global Positioning System
GSS	: Galileo Sensör İstasyonu Galileo Sensor Stations
GST	: Galileo Sistem Zamanı Galileo System Time

ICAO	: Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü The International Civil Aviation Organization
IF	: Bütünlük İşratleri Integrity Flags
I/NAV	: Bütünlük Seyrüsefer Mesajı Integrity Navigation Message
IOD	: Sorunlu Veriler Issue of Data
IOV	: Yörünge Doğrulama In-Orbit Validation
IPF	: Bütünlük İşleme Tesisi Integrity Processing Facility
IRNSS	: Indian Regional Navigation Satellite System
KMF	: Şifre Yönetimi Tesisi Key Management Facility
LFSR	: Doğrusal Geri Beslemeli Kaymalı Kaydediciler Linear Feedback Shift Registers
LSB	: En Küçük Değerlikli Sayı Least Significant Bit
MATLAB	: Matrix Laboratory
MATLAB-GUI	: Matlab Grafiksel Kullanıcı Arayüzü Matlab Graphical User Interface
MBOC	: Çoklanmış İkili Ofset Taşıyıcı Multiplexed Binary Offset Carrier
MCF	: Hizmet Kontrol Tesisi Mission Control Facility
MEO	: Orta Yörünge Medium Earth Orbit
MDDN	: Görev Bilgi Dağıtım Ağı Mission Data Dissemination Network
MGF	: Mesaj Üretimi Tesisi Message Generation Facility

MSAS	: Multi-functional Satellite Augmentation System
MSB	: En Büyük Değerlikli Sayı Most Significant Bit
MSF	: Hizmet Destek Tesisi Mission Support Facility
NRZ	: Sıfıra Dönüşsüz Non Return to Zero
OS	: Açık Hizmet Open Service
OSPF	: Yörünge Belirleme ve Zaman Senkronizasyonu İşlem Tesisleri Orbit Determination and Time Synchronization Processing Facility
PRN	: Sözcük Rastgele Gürültü Pseudorandom Noise
PRS	: Kamu Asayiş Hizmeti Public Regulated Service
PSD	: Güç Spektrum Yoğunluğu Power Spectral Density
PTF	: Hassas Zamanlama Tesisi Precise Timing Facility
QPSK	: Dört Evreli Faz Kaydırmalı Anahtarlama Quadrature Phase Shift Keying
QZSS	: Quazi-Zenith Satellite System
RNSS	: Radyo Seyrüsefer Uydu Hizmeti Radio Navigation Satellite Services
SAR	: Arama ve Kurtarma Hizmeti Search and Rescue Service
SBAS	: Uzaya Dayalı Hassasiyet ve Performans Artırım Yöntemleri Space-Based Augmentation System
SCCF	: Uydu Yerleşim Kontrol Tesisi Spacecraft Constellation Control Facility

SCF	: Uydu Kontrol Tesisi Satellite Control Facility
SDDN	: Uydu Veri Dağıtım Ağı Satellite Data Distribution Network
SinBOC	: Sinüs İkili Ofset Taşıyıcı Sinus Binary Offset Carrier
SISA	: Uzayda Sinyal Doğruluğu Signal in Space Accuracy
SoL	: Yaşam Emniyeti Hizmeti Safety of Life
SPF	: Hizmet Ürünleri Tesisi Service Products Facility
SPS	: Standart Konum Belirleme Hizmeti Standard Positioning Service
SVID	: Uydu Kimlikleri Space Vehicle IDs
TMBOC	: Zaman Çoklanmış İkili Ofset Taşıyıcı Time-Multiplexed Binary Offset Carrier
TOA	: Sinyalin Geliş Zamanı Time of Arrival
TOW	: Haftanın Zamanı Time of Week
TT&C	: Telemetri, İzleme ve Kontrol İstasyonu Telemetry, Tracking and Control
ULS	: Yerden Uzaya Yayın Yapan İstasyon Uplink Stations
UTC	: Evrensel Zaman Koordinasyonu Universal Time Coordinated
WAAS	: Geniş Alan Güçlendirme Sistemi Wide Area Augmentation System
WN	: Hafta Numarası Week Number

SİMGELER DİZİNİ

A	: Güç
$AltBOC(f_s, f_c)$	: AltBOC modülasyonu gösterimi
$AltBOC(m, n)$	: AltBOC modülasyonu gösterimi
$BOC(f_s, f_c)$	: BOC modülasyonu gösterimi
$BOC(m, n)$	: BOC modülasyonu gösterimi
c	: Işık hızı
$c(t)$	: Veri sinyali
c_k	: Kod dizisi dalga formu
c_L	: Alt banda yüklenen veri mesajı
c_L^D	: Alt bant verisini (gerçek)
c_L^P	: Alt bant pilot verisini (sanal)
$c_s(t)$	: Kare alt taşıyıcısı
c_U	: Üst banda yüklenen veri mesajı
c_U^D	: Üst bant verisini (gerçek)
c_U^P	: Üst bant pilot verisini (sanal).
$c_s^*(t)$	: $c_s(t)$ kare alt taşıyıcısının eşleniği
$d_{X-Y,k}$	: Seyrüsefer mesajının k 'inci sembolü
\sqrt{E}	: Vektör uzunluğu
f_0	: Ana frekans
f_t	: Taşıyıcı frekansını
f_c	: Sözde rastgele gürültü kodu
f_r	: Birincil çip oranı
f_s	: Alt taşıyıcı frekansı
f_{sc}	: İkincil çip oranı

$G_{CosBOC(m,n)}(f)$	: <i>CosBOC</i> modülasyonu gösterimi
$G_{MBOC(6,1,1/11)}(f)$	: MBOC modülasyonu güç spektrum yoğunluğu matematiksel gösterimi
$G_{SinBOC(m,n)}(f)$	: <i>SinBOC</i> modülasyonu
$h(t)$	: Sıfıra dönüşsüz kod
$|i|_L$	: i sayısının L ile olan bağlantısını
$m(t)$	: BPSK modüleli işareti
$MBOC(6,1,1/11)$	: MBOC sinyalinin güç spektrum yoğunluğu
N_{BOC}	: Her çip başına örneklem sayısı
$N_{BOC(1,1)}$	: <i>SinBOC</i> (1,1) her çip başına örneklem sayısı
$N_{BOC(6,1)}$	: <i>SinBOC</i> (6,1) her çip başına örneklem sayısı
N_p	: Birincil çip uzunluğu
N_s	: İkincil kod uzunluğu
$(N_s \cdot N_p)$	: Toplam çip sayısı
θ_i	: Vektörün koordinat düzleminde yatay ile yaptığı açı
R	: Uydu ile alıcı arasındaki mesafe
$rect_T(t)$	: Dikdörtgen fonksiyonu
$S_{AltBOC}(t)$	: AltBOC modülasyonu güç spektrum yoğunluğu matematiksel gösterimi
$S_{CBOC}(t)$	: CBOC modülasyonu
$sc_d(t)$	: Veri alt taşıyıcıları
$sc_p(t)$	: Pilot alt taşıyıcıları
$sc_{E5-P}(t)$	: Alt taşıyıcı fonksiyonu
$sc_{E5-P}(t - T_{S,E5}/4)$	: Alt taşıyıcı fonksiyonu T/4 zaman gecikmesi
$sc_{E5-S}(t)$	: Alt taşıyıcı fonksiyonu
$sc_{E5-S}(t - T_{S,E5}/4)$	: Alt taşıyıcı fonksiyonu T/4 zaman gecikmesi

$sc_{X-Y}(t)$	: İkili sayı sisteminde alt taşıyıcı
$s_i(t)$	: QPSK modüledi işaret
S_i	: Vektör numarasını
$sign(x)$	: <i>Sign</i> fonksiyonu
$SinBOC(1,1), held$	: Yeniden düzenlenen $SinBOC(1,1)$ sinyali
τ	: Uydu ve alıcı arasındaki sinyalin varış süresi
t	: Zaman
T_c	: Çip periyodu
$T_{C,X-Y}$	: Mesafe kodu çip uzunluğu
$T_{S,X}$	: Alt taşıyıcı periyodu
XoR	: Xor kapısı
X_u	: Alıcının enlem bilgisi
X_1	: 1.Uydunun enlem bilgisi
Y_u	: Alıcının boylam bilgisi
Y_1	: 1.Uydunun boylam bilgisi
Z_u	: Alıcının irtifa bilgisi
Z_1	: 1.Uydunun irtifa bilgisi
w_0	: Taşıyıcı dalga
w_1, w_2	: Ağırlıklandırılmış genlik faktörleri
$\phi_1(t), \phi_2(t)$	: Koordinat sistemi
Σ	: Toplam işaret

Birimler

bps	: Bits per second Saniyedeki bit miktarı
cm	: Santimetre
m	: Metre

Mcps	: Megachips per second Saniyedeki megaçip sayısı
Mchip/s	: Çip Oranı
MHz	: Megahertz
ms	: Milisaniye
ns	: Nanosaniye
Sembol/s	: Saniyedeki sembol oranı
sn	: Saniye
sps	: Symbols per second Saniyedeki sembol miktarı

1. GİRİŞ

Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi (GNSS-Global Navigation Satellite System), kullanıcıların uydulardan gelen bilgilere göre konumlarını belirlemek amacıyla kullandıkları sistemlerin en genel adıdır [1]. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO-The International Civil Aviation Organization) GNSS’i “*Gerekli seyrüsefer performansını sağlamak üzere bir veya daha fazla uydu, uçak alıcıları, sistem bütünlüğünü izleme ve hassasiyet artırımını kapsayan dünya çapında konum ve zaman belirleme sistemi*” olarak tanımlamaktadır. GNSS sistemleri kullanıcılara küresel kapsamda üç boyutlu konum belirleyebilmeleri için dünya yüzeyinden yaklaşık 20000 kilometre uzaklıktaki yörüngelere yerleştirilmiş uydular vasıtasıyla sürekli sinyaller gönderirler. Uydulardan genel olarak almanak ve efemeris (uydu konum bilgisi) olarak adlandırılan iki çeşit veri yayınlanmaktadır. Almanak verileri, herbir uydudan yayınlanan ve uyduların sağlıklı çalışıp çalışmadığı bilgisi ile yörünge parametrelerini içeren bir veri kümesidir. Efemeris verileri ise hassas konum belirleme işlemi için gerekli olan herbir uydunun yörünge ve saat düzeltmelerini içerir [2].

Günümüzde GNSS ile konum belirleme uygulamaları kara, hava ve deniz taşımacılığının yanı sıra yer ölçümü ve haritalandırma, inşaat sektörü, madencilik, tarım ve telekomünikasyon gibi pek çok alanda yoğun talep görmektedir. Talepteki bu artış karşısında mevcut uydu seyrüsefer sistemlerinin geliştirilmesi ve modernize edilmesi gündeme gelmiştir. Bu sayede pek çok alanda küresel kapsamda bağımsız bir coğrafi konumlandırma hizmeti sağlanmış olacaktır [2,3].

GNSS kapsamında dört, uydu seyrüsefer sistemi yer almaktadır. Bunlardan ilki Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı (DoD-Department of Defense) tarafından geliştirilen ve Temmuz 1995 itibariyle tam operasyonel olan Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS-Global Positioning System)’tir [1,3]. GPS’e ek olarak şimdilerde Rusların GLONASS sistemi de tam operasyonel duruma gelmiştir. Diğer iki sistem ise halen geliştirilme aşamasında olan Çinlilerin Compass veya diğer adıyla Beidou sistemi ile Avrupa Birliğinin Galileo sistemidir [1]. Galileo sisteminin ilk iki test uydusu GIOVE-A (Galileo In-Orbit Validation Element A) ve GIOVE-B, sırasıyla 28 Aralık 2005 ve 27 Nisan

2008’de fırlatılmıştır. Compass sisteminin Compass-M1 olarak bilinen ilk orta yörüngedeki (MEO-Medium Earth Orbit) uydusu ise 14 Nisan 2007’de fırlatılmıştır. Galileo ve Compass sistemlerinin sırasıyla 27 ve 35 uydu ile tam operasyonel olması planlanmaktadır. Bu doğrultuda Çizelge 1.1’de de görüldüğü üzere 2020 yılı itibariyle toplam 120 uydudan oluşan bir GNSS sisteminin küresel kapsamda hizmet vereceği tahmin edilmektedir. Geliştirilen yeni uydular birden çok frekans bandı üzerinden birden çok sinyali iletme özelliğine sahip olacaklardır ve toplamda 300’den fazla sinyal yayınlanacaktır [4].

Çizelge 1.1. GNSS sistemleri uydu sayıları [4]

<i>Sistem</i>	<i>Ülke</i>	<i>Yıllara Göre Uydu Sayıları</i>			
		2002	2008	2016	2020
<i>GPS</i>	USA	24 uydu	31 uydu	31 uydu	~ 31 uydu
<i>Galileo</i>	EU	-	2 uydu	8 uydu	~ 27 uydu
<i>Compass</i>	Çin	-	1 uydu	21 udu	~ 35 uydu
<i>GLONASS</i>	Rusya	8 uydu	16 uydu	35 uydu	~ 24 uydu
<i>Toplam</i>		32 Uydu	50 uydu	95 uydu	~ 120 uydu

Bu dört GNSS sistemine ek olarak Uzaya Dayalı Hassasiyet ve Performans Artırım Yöntemleri (SBAS-Space-Based Augmentation System) kapsamında belirli bölgelerde konum belirleme doğruluğunu artırmak üzere çalışmalar halen devam etmektedir. Kuzey Amerika için geliştirilen WAAS (Wide Area Augmentation System), Avrupa için geliştirilen EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), Japonya için MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System) ve Hindistan için GAGAN (GPS Aided Geo Augmented Navigation) sistemleri bu uygulamalar içerisinde yer almaktadır. Bunların dışında Japonların operasyonel olarak kullanılmakta olan QZSS (Quazi-Zenith Satellite System) sistemi ile Hintlilerin halen geliştirilme aşamasında olan IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System)’i bölgesel uyduya dayalı seyrüsefer uygulamaları olarak bilinmektedir [1].

Bu çalışmada halen geliştirilme aşamasında olan ve tam operasyonel olduğunda tüm sivil kullanıcılara yüksek doğrulukta küresel konum belirleme hizmeti sağlayacağı öngörülen Galileo sistemi ele alınmıştır. Çalışmanın amacı

Galileo E5 sinyalinin üretilmesi, alıcıda bu sinyalin demodülasyon işleminin simüle edilmesi ve bir kullanıcı arayüzü geliştirilmesidir. Sinyalin üretim aşamasında matematiksel problemlerin çözümü ve analizi için tasarlanmış bir yazılım geliştirme aracı olan MATLAB (Matrix Laboratory) programlama dilinden yararlanılmıştır. Kullanıcı arayüzü tasarımı ise MATLAB-GUI (Graphical User Interface) programı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Harita üzerinde kullanıcı tarafından rasgele seçilebilecek bir noktanın üç boyutlu konum bilgisine erişim işlemini görselleştirebilmek üzere Türkiye havasahası yol haritası geliştirilen arayüze ilave edilmiştir. Bu arayüz vasıtasıyla kullanıcılar için sistem tanıtımı, sinyal simülasyonu, konum belirleme işlemleri ve uydu sinyallerine yüklenebilecek herhangi bir mesajın alıcıda görüntülenme uygulamalarının görselleştirilmesi sağlanmıştır.

Galileo sisteminin genel yapısı, öngörülen hizmetler, frekans planı, kullanılan modülasyon teknikleri ve sinyal üretimi ile ilgili bilgiler çalışmanın ikinci bölümünde detaylı bir şekilde yer almaktadır.

Günümüzde Galileo projesinin henüz tamamlanmamış olması nedeniyle sistem üzerinde iyileştirme çalışmalarının halen devam ettiği görülmektedir. Yapılan literatür incelemesi, çalışmaların modülasyon denklemlerinde yeni yöntemler kullanılması veya kod uzunluklarının kısaltılarak alıcı maliyetlerinin düşürülmesi ile alıcıların uydulardan gelen sinyallere daha hızlı bir şekilde kitlenmesinin sağlanması yönünde olduğunu göstermektedir. Sistemi iyileştirmek üzere gerçekleştirilen bu araştırmalar çalışmanın üçüncü bölümünde değerlendirilmiştir.

Galileo E5 sinyal simülasyonu ve uygulama kapsamında gerçekleştirilen işlem basamakları, elde edilen ekran çıktıları, tasarlanan arayüz ve uygulama akış şeması çalışmanın dördüncü bölümünde açıklanmıştır.

Galileo sisteminin E5 sinyal simülasyonu ve tasarlanan kullanıcı arayüzü çalışmanın sonuç bölümünde değerlendirilmiş ve gelecekte bu konuda yapılacak araştırmalara yön vereceği düşünülen öneriler sunulmuştur.

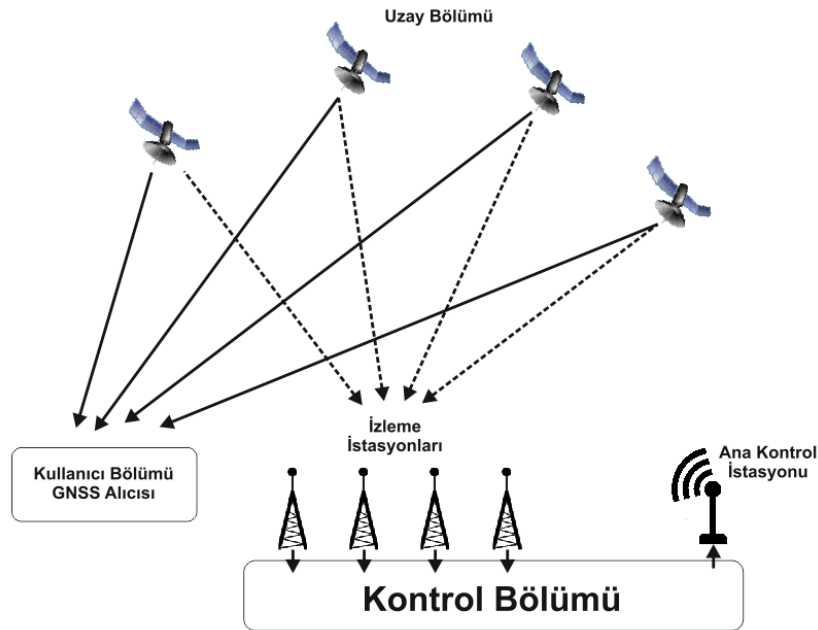
2. GALILEO SİSTEMİ

Galileo, tüm sivil kullanıcılara güvenilir ve hassas küresel konum belirleme hizmeti sağlamak üzere tasarlanmış uyduya dayalı seyrüsefer sistemidir. Bu doğrultuda geliştirilen GPS, GLONASS, COMPASS gibi diğer küresel uyduya dayalı seyrüsefer sistemleri arasında özellikle sivil kullanıcılar için hassasiyet ve güvenilirlik açısından iyi bir alternatif olarak yer almaktadır. Farklı kullanıcılar için sağlanması planlanan hizmet türleri ile de diğer uyduya dayalı seyrüsefer sistemlerine göre farklı bir yapısal özellik göstermektedir [5].

Sistem genel olarak uzay, yer kontrol ve kullanıcı olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde Galileo sisteminin genel yapısı, gelişim aşamaları, öngörülen hizmetler, konum belirleme, frekans bantları, seyrüsefer mesajı, sistemde kullanılan modülasyon teknikleri ve sinyal üretimi detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

2.1. Galileo Sistemi Genel Yapısı

Galileo sistemi uzay, kontrol ve kullanıcı olmak üzere üç temel bölüme ayrılmaktadır. Sistemin genel yapısı Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



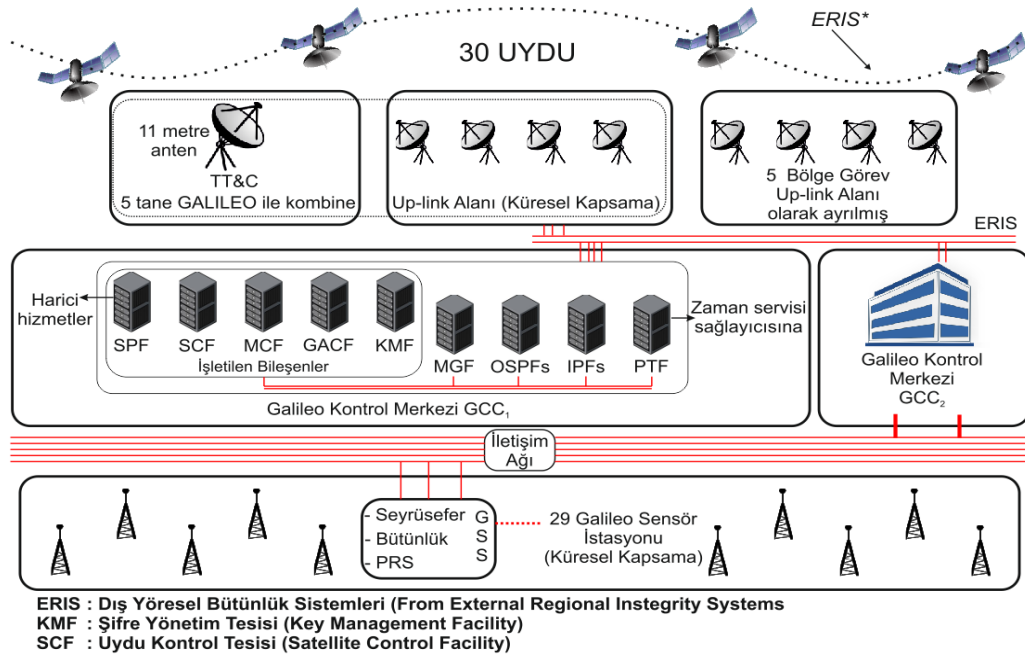
Şekil 2.1. Galileo genel yapısı [1]

a) Uzay Bölümü

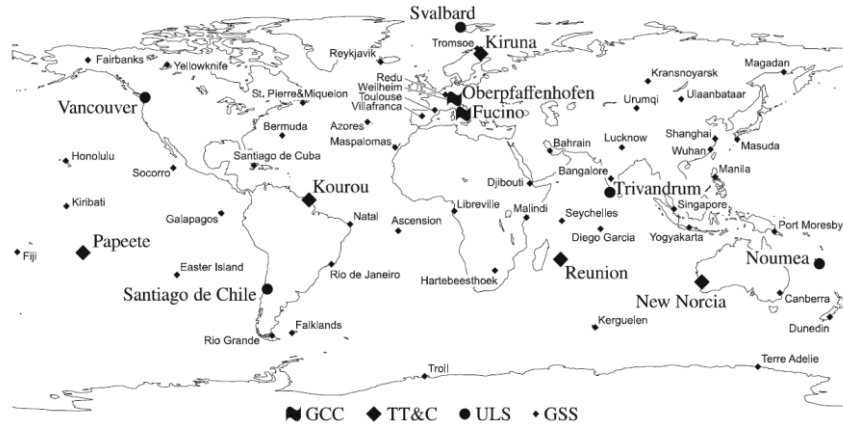
Galileo uzay bölümü, yerden 23.222 km yükseklikte üç yörünge üzerine yerleştirilmiş 27 aktif 3 yedek olmak üzere toplam 30 Orta Yörüngeli MEO (Medium Earth Orbit) uydusundan oluşur. Uydu sayısının fazla olması sistemin doğruluk ve hassasiyetinin artırılmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Her bir yörünge ekvatorla 56° 'lik açı yapar ve uyduların yörüngedeki periyodu yaklaşık 14 saattir. Uydular seyrüsefer sinyalinin 1200-1600 MHz frekans aralığında yayınlar [3,6].

b) Kontrol Bölümü

Galileo sisteminin yer kontrol alt yapısı; iki adet Yer Kontrol Merkezi (GCC-Ground Control Centers), beş adet Telemetri-İzleme ve Kontrol İstasyonu (TT&C-Telemetry, Tracking, and Control), 9 adet C-bandında yerden uzaya yayın yapan istasyon (ULS-Uplink Stations) ve yaklaşık 40 adet Galileo Sensör İstasyonu (GSS-Galileo Sensor Stations)'ndan oluşmaktadır (Şekil 2.2). Yer kontrol bölümünü oluşturan alt elemanların dünya üzerindeki yerleşimi Şekil 2.3'de gösterilmiştir.

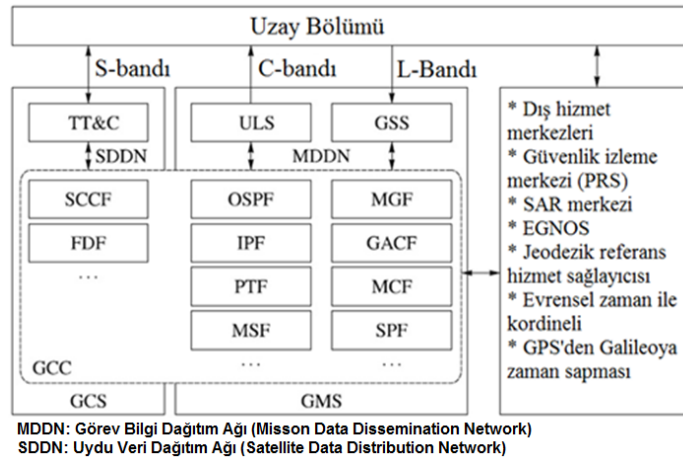


Şekil 2.2. Galileo sistemi [7]



Şekil 2.3. Yer kontrol bölümü alt elemanlarının dünya üzerindeki dağılımı [8]

Galileo'nun yer kontrol merkezleri, Yer Kontrol Bölümü (GCS-Ground Control Segment) ve Yer Hizmet Bölümü (GMS-Ground Mission Segment) olarak adlandırılmaktadır. GCS, kontrol ve yönetim fonksiyonunu yerine getirir. Uyduları izler ve kontrol eder. GMS ise sistem kontrolü, bütünlüğün ve yayının hizmetlerinin yönetimi, izlenmesi gibi fonksiyonları yerine getirir. Bu kontrol merkezleri içerisinde de çeşitli alt tesisler mevcuttur. Sistemin genel yapısı Şekil 2.4'te detaylı olarak gösterilmiştir [8].



Şekil 2.4. Galileo yer kontrol merkezleri ve alt tesisleri [8]

Yer kontrol merkezleri içerisinde yer alan alt birimler ve işlevleri aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

- **Bütünlük İşleme Tesisi (IPF-Integrity Processing Facility):** Mesafe ölçümlerini işler ve karşılaştırır. Eğer Galileo uydusunda bir hata tespit edildiyse bütünlük bilgisine uyarı işareti yüklenir.

- *Yörünge Belirleme ve Zaman Senkronizasyonu İşlem Tesisi (OSPF-Orbit Determination and Time Synchronization Processing Facility)*: Uydu konumlarını ve uydu saati düzeltme parametrelerini tahmin eder.
- *Hassas Zamanlama Tesisi (PTF-Precise Timing Facility)*: Evrensel Zaman Koordinasyonu (UTC-Universal Time Coordinated) ile iki yönlü zaman transferini kapsayacak şekilde Galileo Sistem Zamanını (GST-Galileo System Time) üretir ve muhafaza eder.
- *Hizmet Destek Tesisi (MSF-Mission Support Facility)*: Operasyon dışındaki hizmetleri izler, kontrol eder ve planlar.
- *Mesaj Üretim Tesisi (MGF-Message Generation Facility)*: Uydulara yüklenecek hizmet verisini hazırlar.
- *Yer Aktif Kontrol Tesisi (GACF-Ground Asset Control Facility)*: Yer elemanlarının izlenmesini, kontrolünü ve bilgilerin kaydedilmesini sağlar.
- *Hizmet Kontrol Tesisi (MCF-Mission Control Facility)* : Hizmete ait tüm operasyonel ve operasyon dışı işlemleri izler ve kontrol eder.
- *Hizmet Ürünleri Tesisi (SPF-Service Products Facility)*: Harici hizmet merkezleri için arabirim sağlar ve ticari hizmet kullanıcıları vb. gibi harici kullanıcılardan gelen verileri yönetir.
- *Uydu Yerleşim Kontrol Tesisi (SCCF-Spacecraft Constellation Control Facility)*: Uyduların yerleşimlerini izler ve kontrol eder.
- *Uçuş Dinamiği Tesisi (FDF-Flight Dynamics Facility)*: Operasyonda veya operasyon dışındaki uyduların yörüngesel durumları ve manevralarını hesaplar [8].

c) **Kullanıcı Bölümü**

Galileo sisteminin kullanıcı bölümü, diğer uydu seyrüsefer sistemlerinde olduğu gibi kara, deniz, hava ve uzaydaki tüm kullanıcıları kapsar. Temel işlevleri; Galileo sinyallerini alınması, koordinatların tespit edilmesi ve kesin zaman doğrulaması sağlamak için seyrüsefer eşitliklerini çözülmesidir [9].

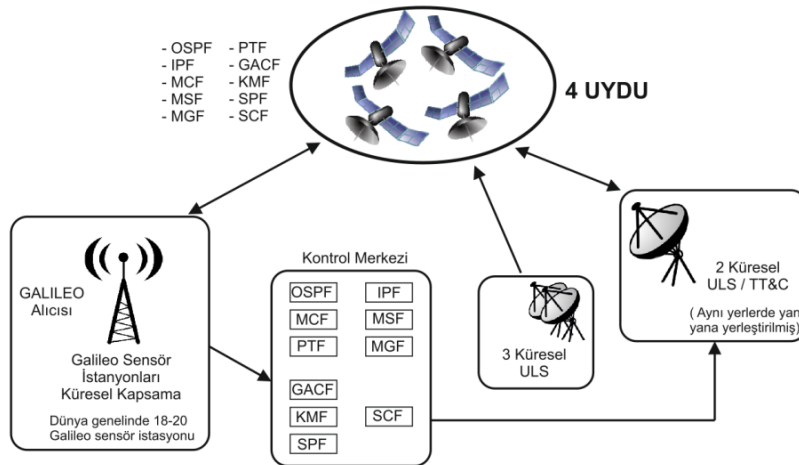
2.2. Galileo Gelişim Aşamaları

Galileo programının *Yörünge Doğrulama (IOV- In-Orbit Validation)* ve *Tam Fonksiyonel Çalışma Kabiliyeti (FOC-Full Operational Capability)* olarak adlandırılan iki aşamada gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

Yörünge Doğrulama aşaması, yer istasyonları için bazı önemli özelliklerin, sistem altyapısının ve uyduların yörünge doğrulamasının test uydularıyla değerlendirilmesini kapsamaktadır [10]. Bu amaçla Galileo IOV GIOVE A ve GIOVE B olarak adlandırılan test uyduları sırasıyla Aralık 2005 ve Nisan 2008’de fırlatılmıştır [4]. Amaçları orta mesafeli yer yörüngesinde radyasyon, manyetik alan vb. gibi çevresel şartların uygunluğunun, kullanılan atom saatlerinin ve sayısal ekipmanların kullanılabilirliğinin test edilmesidir (Şekil 2.5). Galileo için ilk operasyonel uydusu, 21 Ekim 2011’de fırlatılmıştır ve bunu 12 Ekim 2012’de fırlatılan ikinci operasyonel uydusu izlemiştir.

Tam Fonksiyonel Çalışma Kabiliyeti aşaması ise yer ve uzay altyapılarının tamamlanmasını ve sistemin tamamının operasyonel hale getirilmesini kapsamaktadır. Başlangıç olarak 4’ü IOV uydusu olmak üzere toplam 18 uydusuyla sistemin çalışabilir olma kabiliyeti planlanmıştır.

Galileo henüz ilk aşamada olup Mart 2013 itibarıyla aktif olan 4 Galileo uydusu için ilk konumlandırma testi Avrupa Uzay Ajansı (ESA-European Space Agency) yürütücülüğünde yapılmıştır. Test aşaması, 4 uydusu için 10 metrelik çok düşük bir hata payı ile oldukça iyi sonuçlar sağlamıştır [10].



Şekil 2.5. Galileo programı IOV-2008 aşaması genel yapısı [7]

2.3. Öngörülen Hizmetler

Galileo'nun gelecekte diğer uydu sistemleri ile birlikte kullanılmasıyla ulaşım araçları için daha tutarlı konum verileri, daha iyi hava trafiği denetimi, gelişmiş filo yönetimi ve acil durum hizmetleri için yol desteği gibi pek çok avantaj sunacağı öngörülmektedir. Ayrıca tüm karmaşık taşıma ağlarının izlenmesi de mümkün olacaktır.

Galileo sisteminde kullanıcılar için diğer uyduya dayalı seyrüsefer sistemlerinden farklı olarak Açık Hizmet (OS-Open Service), Ticari Hizmet (CS-Commercial Service), Yaşam Emniyeti Hizmeti (SoL-Safety of Life), Kamu Asayiş Hizmeti (PRS-Public Regulated Service) ve Arama-Kurtarma Hizmeti (SAR-Search and Rescue Service) gibi beş farklı hizmet türü planlanmıştır. Öngörülen bu hizmetler aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

- **Açık Hizmet**

Tüm kullanıcılara açık ve ücretsiz bir hizmettir. Özellikle ulaşım araçlarındaki seyrüsefer sistemlerinde ve cep telefonlarında kullanılacaktır [11]. Küresel boyutta kullanılabilirlik özelliği bulunmaktadır. Yayının bir ya da iki frekans bandı üzerinden yapılması planlanmaktadır. Bu hizmet için öngörülen performans değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir [2].

Çizelge 2.1. Açık hizmet özellikleri [8]

		Tek Frekans	Çift Frekans
Doğruluk (% 95)	Yatay	15 m / 24 m	4 m
	Dikey	35 m	8 m
Zaman doğruluğu		30 ns	
Mevcutluk (küresel)		% 99.5	
Erişim Kontrolü		Ücretsiz erişim	

- **Ticari Hizmet**

Açık hizmet ile karşılaştırıldığında daha profesyonel kullanımlar için ücretli bir hizmettir [11]. Temelde açık hizmet ile aynı performans değerlerine

sahip olup, ilave iki adet şifreli (kod bilgisi ve veri) sinyal sayesinde kullanıcılara daha yüksek hız ve iyi bir performans sağlayacaktır [3]. Bu hizmet için öngörülen performans değerleri Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Ticari hizmet özellikleri [8]

		Tek Frekans	Çift Frekans
Doğruluk (% 95)	Yatay	15 m / 24m	4 m
	Dikey	35 m	8 m
Zaman doğruluğu		30 ns	
Mevcutluk (küresel)		% 99.5	
Erişim Kontrolü		Mesafe kodlarına ve seyrüsefer veri mesajına kontrollü erişim	

- **Yaşam Emniyeti Hizmeti**

SoL hizmeti, OS ile aynı özelliklere sahip olup, kullanıcılara hizmet garantisi sağlamak üzere sinyale bütünlük bilgisi eklenmektedir. Seyrüsefer mesajına eklenen bu bilgisi, kullanıcılara küresel kapsamda sistemde oluşabilecek herhangi bir arızayı göstermek ve zamanında uyarıların yapılmasını sağlamak için gereklidir. Bütünlük bilgisi, özellikle hassas yaklaşma gibi zaman açısından kritik görülen uygulamalar ve kritik olmayan uygulamalar için önem arz etmektedir [8]. Bu hizmet için öngörülen performans değerleri Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Yaşam emniyeti hizmeti özellikleri [8]

		Çift Frekans
Doğruluk (% 95)	Yatay	4 m
	Dikey	8 m
Zaman doğruluğu		30 ns
Süreklilik		$10^{-5} / 15$ sn
Mevcutluk (küresel)		% 99.5
Bütünlük	İkaz limiti	Yatay: 12 m Dikey: 20 m
	İkaz süresi	6 sn
	Risk	$3.5 \cdot 10^{-7} / 150$ sn
Erişim Kontrolü		Seyrüsefer veri mesajındaki bütünlük bilgisinde kimlik doğrulaması

- **Kamu Asayiş Hizmeti**

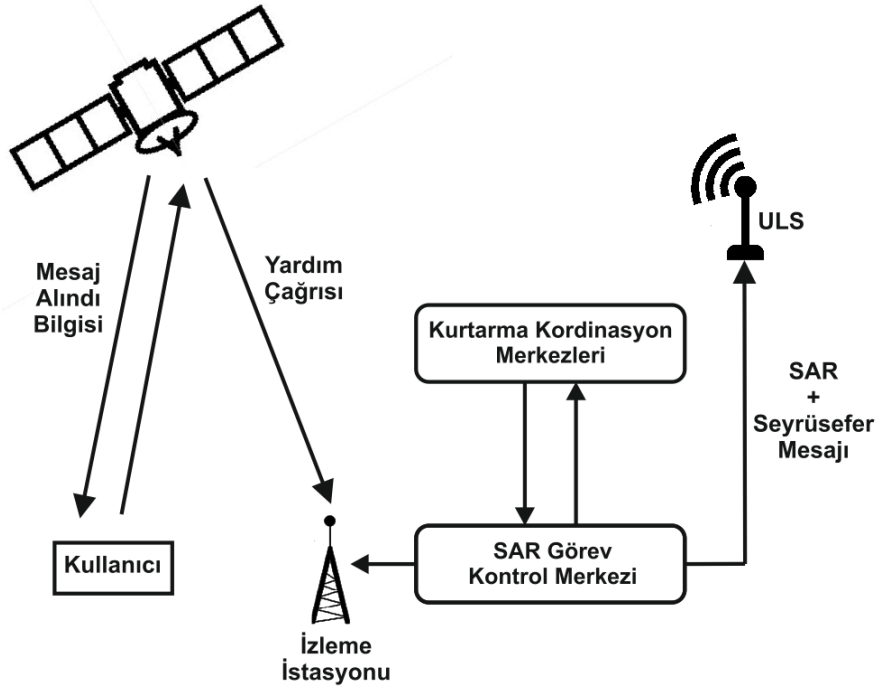
PRS hizmetinin temel amacı beklenmeyen durumlar (krizler), diğer hizmetlerin devre dışı kalması veya kasten sinyal yayınının bozulması gibi durumlarda dahi sürekli, güçlü ve şifreli sinyalin sağlanmasıdır. PRS sinyallerine olan erişim izni ve kontrol yetkisinin sadece halkın korunmasından sorumlu olan Avrupa kamu yetkililerine, ulusal güvenliğe ve yasaları uygulayan Avrupa polis birimine veya Avrupa dolandırıcılıkla mücadele ofisine verilmesi öngörülmektedir [8]. Kısacası kamu asayiş hizmeti, hizmet sürekliliği gerektiren belirli kullanıcılara kontrollü erişim ile konum ve zamanlama hizmeti sağlamak üzere planlanmıştır [2]. Sinyal yapısı içinde ‘Sistem Bütünlüğü + Hizmet Garantisi’ bilgisi verilmektedir [12]. Bu hizmet için öngörülen performans değerleri Çizelge 2.4’te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Kamu asayiş hizmeti özellikleri [8]

		Tek Frekans	Çift Frekans
Doğruluk (% 95)	Yatay	15 m / 24 m	6.5 m
	Dikey	35 m	12 m
Zaman doğruluğu		30 ns	
Süreklilik		$10^{-5} / 15_{sn}$	
Mevcutluk (küresel)		% 99.5	
Bütünlük	İkaz limiti	Yatay: 20 m Dikey: 35 m	
	İkaz süresi	10 sn	
	Risk	$3.5 \cdot 10^{-7} / 150_{sn}$	
Erişim Kontrolü		Mesafe kodlarına ve seyrüsefer veri mesajına kontrollü erişim	

- **Arama ve Kurtarma Hizmeti**

Galileo uyduları, acil durum sinyalinin gemilerden, uçaklardan ve kişilerden alarak, bu sinyali ulusal kurtarma merkezlerine iletacaktır. Bu sayede kurtarma merkezi, kazanın tam yeri hakkında bilgi sahibi olacaktır [6]. SAR mesajı Galileo uyduları tarafından 406-406.1 MHz bandında alınacaktır ve yer istasyonlarına 1544-1545 MHz bandında yayın yapılacaktır [13]. SAR hizmetinin genel yapısı Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



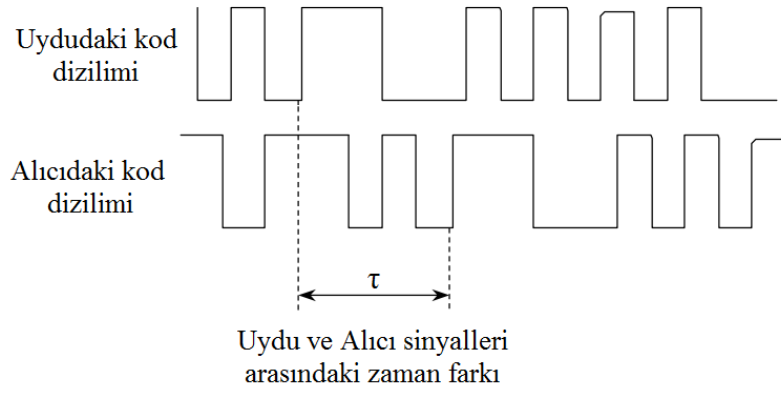
Şekil 2.6. SAR hizmeti [7]

2.4. Konum Belirleme

GNSS'in temel amacı, kullanıcılara konumlarını hesaplamalarında gerekli olan bilgileri sağlamaktır. Kullanıcı konumunu belirlemede sinyalin geliş zamanı (TOA-Time of Arrival) kavramından faydalanılmaktadır. TOA'nın temel prensibi, uydu ve alıcı arasındaki sinyalin mutlak seyahat süresinin ölçülmesi esasına dayanmaktadır [2]. Uydu ile alıcı saatleri senkronize ise mesafe (pseudorange), Eşitlik (2.1)'de görüldüğü üzere sinyalin uydudan alıcıya ulaşana kadar geçen zamanı ile ışık hızının çarpılması sonucunda elde edilebilir. Burada R uydu ile alıcı arasındaki mesafe, c ışık hızı ve τ sinyalin uydudan gönderilme zamanı ile alıcıya ulaşması arasında geçen süreyi temsil etmektedir [14].

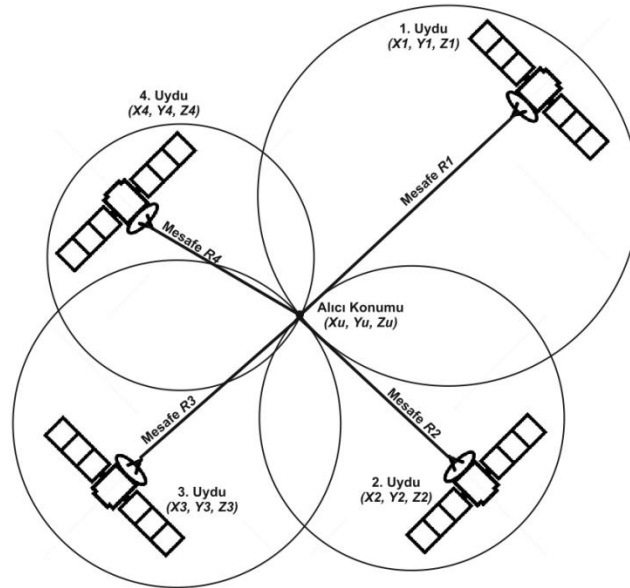
$$R = c\tau \quad (2.1)$$

τ süresi hesaplanırken, uyduda üretilen ve alıcıda elde edilen sinyaller birbirleri ile kıyaslanmaktadır. Şekil 2.7'de görüldüğü üzere alıcıda elde edilen sinyal ile uyduda üretilip yayınlanan sinyaller arasında belirli bir kayma görülmektedir.



Şekil 2.7. Uydu ve alıcı arasında iletilen sinyalin süresinin hesaplanması [15]

Kullanıcının konumu, lokasyonu kesin olarak bilinen dört uydudan yayımlanan sinyallerin alıcıya varış sürelerinin ölçülmesi sayesinde yüksek bir doğrulukla belirlenebilmektedir (Şekil 2.8). Eğer uydu ile alıcı saatleri eşzamanlı olabilseydi sadece üç mesafe ölçümü ile konum belirlemek mümkün olabilirdi. Ancak yukarıda da belirtildiği üzere uydu ve alıcı saatleri arasında bir miktar kayma söz konusudur. Bunun nedeni alıcılarda bulunan saatlerin uydu saatlerine göre kararlılıklarının düşük olmasıdır. Bu nedenle üç boyutlu konum hesaplama işleminde alıcının enlem, boylam, irtifa ve uydu ile alıcı saatleri arasındaki zaman kayması da dikkate alınarak en az dört uyduya gereksinim duyulmaktadır. Eğer alıcının sistem zamanı veya irtifası tam olarak biliniyorsa konum hesaplanmasında dörtten daha az sayıda uydu yeterli olacaktır [2].



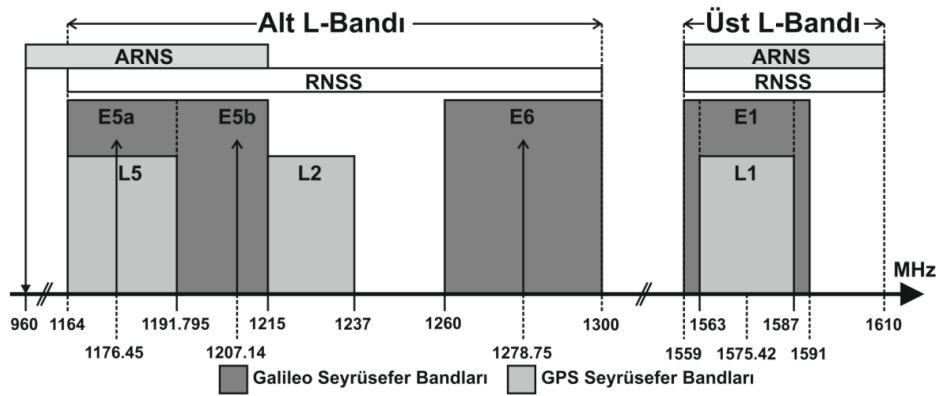
Şekil 2.8. Uyduya dayalı seyrüsefer sistemleri ile konum belirleme [16]

Şekil 2.8’de görüldüğü üzere uydular sürekli olarak buldukları konumları (enlem, boylam, irtifa) yayınlamaktadır. TOA kavramı ile alıcı tarafından görülebilen her bir uydunun mesafe bilgisi elde edilir. Ölçülen mesafeler ile her bir uydunun etrafına ölçülen mesafeye eşit yarı çaplı daireler çizilir. Alıcının konumu (X_u , Y_u ve Z_u), her bir vericinin oluşturduğu dairelerin kesişim noktasıdır. X_u , Y_u ve Z_u sırasıyla kullanıcının enlem, boylam ve irtifa bilgilerini temsil etmektedir [2]. Kullanıcının konumunun hesaplanması için kullanılan matematiksel ifade Eşitlik (2.2)’de gösterilmiştir [17].

$$\begin{aligned}
 c * \tau_1 = R_1 &= \sqrt{(X_1 - X_u)^2 + (Y_1 - Y_u)^2 + (Z_1 - Z_u)^2} \\
 c * \tau_2 = R_2 &= \sqrt{(X_2 - X_u)^2 + (Y_2 - Y_u)^2 + (Z_2 - Z_u)^2} \\
 c * \tau_3 = R_3 &= \sqrt{(X_3 - X_u)^2 + (Y_3 - Y_u)^2 + (Z_3 - Z_u)^2} \\
 c * \tau_4 = R_4 &= \sqrt{(X_4 - X_u)^2 + (Y_4 - Y_u)^2 + (Z_4 - Z_u)^2}
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

2.5. Planlanan Galileo Frekans Bantları

Galileo sinyallerinin iletimi için oldukça geniş bir bant aralığı ayrılmıştır. Şekil 2.9’da da görüldüğü üzere seyrüsefer sinyalleri için tahsis edilen frekans bantları E5a, E5b, E6 ve E1’dir. Bu frekans bantları, Radyo Seyrüsefer Uydular Hizmetleri (RNSS-Radio Navigation Satellite Services)’ne ayrılmış olan sinyal spektrumu içinde seçilmiştir. Bunun yanı sıra E5a, E5b ve E1 bantları da özellikle emniyetle ilgili kritik uygulamalar için sivil havacılık kullanıcılarına tahsis edilen Havacılık Radyo Seyrüsefer Hizmeti (ARNS-Aeronautical Radio Navigation Services)’ne ayrılan frekans spektrumu içerisinde [18].



Şekil 2.9. Galileo frekans planı [18]

Galileo sisteminin taşıyıcı frekansları, dalga boyları ve bant genişlikleri Çizelge 2.5’de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Her bir sinyal için taşıyıcı frekansları, dalga boyu ve bant genişliği [8,18]

Sinyal	Taşıyıcı Frekansı (MHz)	Dalga Boyu (cm)	Bant Genişliği (MHz)
E1	1575.420	19	32
E6	1278.750	23.4	40.9
E5	1191.795	25.2	51.2
E5a	1176.450	25.5	24
E5b	1207.140	24.8	24

Galileo seyrüsefer sinyalleri toplamda E1, E5 ve E6 olarak belirlenen üç ana ve bunlara bağlı on alt sinyalden oluşmaktadır. Alt bant sinyalleri şu şekilde tanımlanmaktadır.

- E1 sinyalinin alt bantları: E1A, E1B ve E1C
- E5 sinyalinin alt bantları: E5a-I, E5a-Q, E5b-I ve E5b-Q
- E6 sinyalinin alt bantları: E6A, E6B ve E6C

Öngörülen Galileo hizmetlerinin belirlenen frekans bantlarına göre dağılımı Çizelge 2.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 2.6. Galileo hizmetleri ve öngörülen frekans bantları [19]

Sinyaller	Açık Hizmet (OS)	Ticari Hizmet (CS)	Yaşam Emniyeti Hizmeti (SoL)	Kamu Asayiş Hizmeti (PRS)
E1A				✓
E1B	✓	✓	✓	
E1C	✓	✓	✓	
E5a-I	✓	✓		
E5a-Q				
E5b-I	✓	✓	✓	
E5b-Q				
E6A				✓
E6B		✓		
E6C		✓		

Çizelge 2.6'dan da anlaşılacağı üzere tüm kullanıcılara sağlanacak olan açık hizmet verileri E1B-E1C, E5a-I ve E5b-I, ticari hizmet verileri E1B-E1C, E5a-I, E5b-I ve E6B-E6-C, SoL hizmeti verileri E1B-E1-C ve E5b-I, PRS verileri ise E1A ve E6A frekans bantları üzerinden gönderilecektir [19].

2.6. Galileo Sistemi Mesaj Yapısı

Konum belirleme hizmetinin gerçekleştirilebilmesi için uydular alıcılara sürekli olarak bilgi yollarlar. Bu bilgiler, seyrüsefer mesajında toplanır. Seyrüsefer mesajı Çizelge 2.7'de görüldüğü üzere genel olarak efemeris (uydu koordinatları), zaman, zaman düzeltme parametreleri, hizmet parametreleri ve almanak bilgilerini içermektedir [18].

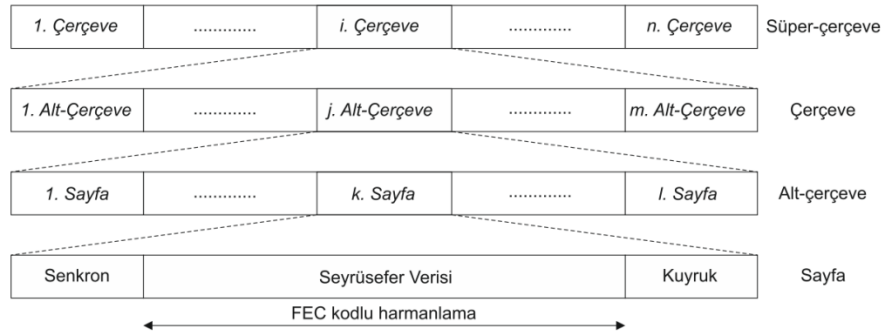
Çizelge 2.7. Galileo seyrüsefer mesajı parametreleri [20]

Veri	Model
Efemeris	Yörünge Parametreleri
Galileo Sistem Zamanı (GST)	Zaman ve Saat Düzeltilme Parametreleri
Saat Düzeltmesi	
Yayın Grup Gecikmesi	
İyonosfer Düzeltmesi	
GST – UTC Dönüşümü	
GPS'den Galileo Sistem Zamanına Dönüşüm	
Uydu Kimliği	Servis Parametreleri
Sorunlu Veriler (IOD-Issue of data)	
Seyrüsefer Verisinin Geçerliliği ve Sinyal Sağlık Durumu	
CRC (Döngüsel Artıklık Denetimi)	
Uydu Almanak Verileri	Almanak
Almanak Referansları	
Uzaydaki Sinyalin Doğruluğu	Bütünlük

- *Efemeris bilgileri:* kullanıcılara (alıcıya) uyduların pozisyon bilgilerini sağlar.
- *Zaman ve saat düzeltme parametreleri:* uydu ile alıcı arasındaki mesafeyi hesaplamak için oldukça önemlidir.

- *Galileo sistem zamanı-(GST)*, 12 bitlik hafta numarası (WN-Week Number) ve 20 bitlik haftanın zamanı (TOW-Time of Week) parametrelerinden oluşan toplam 32 bitlik ikili sayı olarak verilir. Hafta numarası Galileo zamanının başlangıcından itibaren geçen hafta sayısını verirken, haftanın zamanı bir önceki haftadan itibaren geçen saniyeyi verir.
- *Hizmet parametreleri*: seyrüsefer verileri, uydular ve sinyalin sağlıklı olup olmadığını göstermek için gereklidir.
- *Almanak bilgisi*: tüm uyduların konumlarını göstermek için gereklidir.

Galileo seyrüsefer mesajının genel yapısı Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere mesaj, çerçeve (frame), alt çerçeve (sub-frame) ve sayfa adı olarak adlandırılan bölümlerden oluşmaktadır. Bir çerçeve n sayıda alt çerçeveden oluşur. Alt çerçeveler ise sayfaların birleşiminden oluşur. Her bir sayfa, kullanıcı tarafından alınan içeriklerin belirlenmesi için senkron ve kuyruk biti ile seyrüsefer verisinin başlangıcını ve bitişini belirten işaretçilerle donatılmıştır [18].



Şekil 2.10. Galileo seyrüsefer mesaj yapısı [20]

Galileo'da Serbest Erişimli Seyrüsefer Mesajı (F/NAV-Freely Navigation Message), Bütünlük Seyrüsefer Mesajı (I/NAV-Integrity Navigation Message), Ticari Seyrüsefer Mesajı (C/NAV-Commercial Navigation Message) ve Kamusal Seyrüsefer Mesajı (G/NAV-Governmental Navigation Message) olarak tanımlanan dört farklı mesaj tipi söz konusudur. Bu mesajlar, öngörüldükleri hizmet tiplerine göre frekans bantları, veri aktarım hızları vb. gibi özellikler açısından Çizelge 2.8'de gösterilmiştir. G/NAV mesajı, kamuya açık değildir ve C/NAV mesajı da henüz tanımlanmamıştır [21].

Çizelge 2.8. Galileo mesaj çeşitlerinin içerikleri [20]

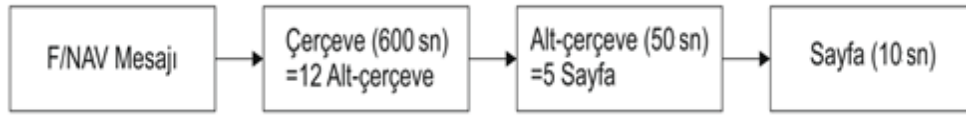
Mesaj Tipi	F/NAV	I/NAV		G/NAV	C/NAV
Hizmet	OS	OS/CS/SoL		PRS	CS
Frekans Bandı	E5a-I	E1B	E5b-I	E1A E6A	E6B
Veri Hızı (bps)	25	125		50	500
Seyrüsefer	✓	✓	✓	✓	
Bütünlük		✓	✓	✓	
İlave Bilgi					✓
Genel Düzenleme				✓	
Arama Kurtarma		✓			

Çizelgede belirtilen bütünlük bilgisi, zaman uyarısı ve SoL uygulamalarını desteklemek üzere bütünlük riskinin hesaplanmasında kullanılacak parametreleri kapsamaktadır. İlave bilgi, öngörülen farklı ticari hizmetleri desteklemek üzere bilgi sağlanıp sağlanamayacağının göstergesidir (Örneğin; hassas konum belirleme hizmeti için diferansiyel düzeltmeler ve meteoroloji, trafik bilgisi vb gibi farklı tipteki bilgiler). Bu bilgi, hizmet sağlayıcılar tarafından onaylanan kullanıcılar tarafından alınabileceğinden şifrelidir. Genel düzenleme bilgisi, devlet kontrollüdedir ve bu bilgi PRS hizmeti için tahsis edilmiştir. Hizmetin sürekliliği, şifreli erişimle güvence altına alınacaktır. Arama-kurtarma bilgisi ise uygun Galileo ekipmanı olan Beacon'a SAR mesajı alındı bilgisi gönderme kabiliyeti sağlayacaktır [20].

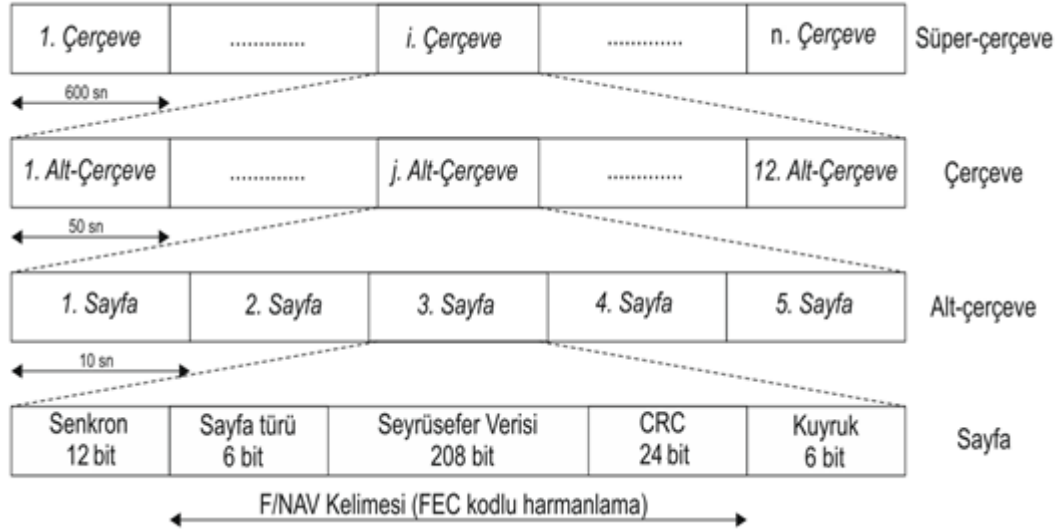
2.6.1. F/NAV mesaj yapısı

F/NAV seyrüsefer mesajı, E5a-I kanalı üzerinden saniyede 25 bitlik bir hızla iletilir. Şekil 2.11'de de görüldüğü üzere F/NAV mesajındaki bir çerçeve (frame) her biri 50 sn süren 12 alt-çerçeveden (sub-frame) oluşur ve toplamda bir çerçevenin süresi 600 sn'dir. Alt-çerçeveler ise her biri 10 sn süren 5 sayfanın birleşiminden oluşur [18]. Sayfalar senkronizasyon, F/NAV kelimesi ve kuyruk biti olarak adlandırılan üç bölümden oluşmaktadır (Şekil 2.12). Bu bölümler şu şekilde açıklanabilir:

- *Senkronizasyon*: 12 bit uzunluğundadır. Bu bitler alıcının sayfa sınırını senkronize edebilmesi için her zaman 101101110000 şeklindedir.
- *F/NAV Kelimesi*: 238 bitten oluşur. Aralıklı olan ve sayfa tipi, seyrüsefer mesajı ve Döngüsel Artıklık Denetimi (CRC-Cyclic Redundancy Check)'nin kodlandığı diğer bir deyişle İleri Hata Düzeltme (FEC-Forward Error Correction) kodlamasının yapıldığı bölümdür.
- *Kuyruk*: 6 bit uzunluğundadır. Her bir sayfanın FEC kod çözme işleminin yapılabilmesi için 6 bitin de değeri 0'dır [20].



Şekil 2.11. F/NAV seyrüsefer mesaj yapısı [18]



Şekil 2.12. F/NAV seyrüsefer detaylı mesaj yapısı [20]

2.6.2. I/NAV mesaj yapısı

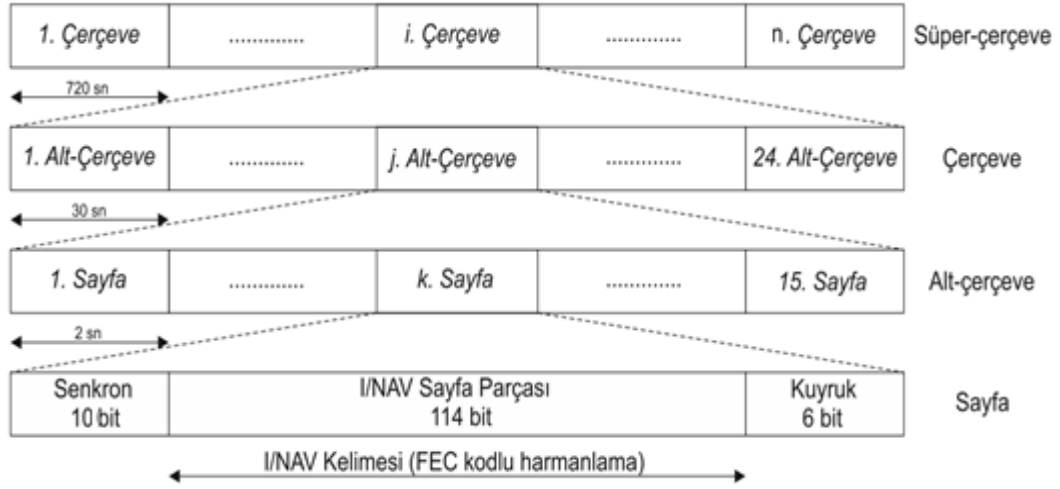
I/NAV seyrüsefer mesajı, hem E1B hem de E5b-I kanalı üzerinden saniyede 125 bitlik hızla iletilir [20]. I/NAV mesajı genel olarak çerçeve, alt çerçeve ve sayfalardan oluşur (Şekil 2.13). Her bir alt çerçeve, uzunluğu 2 saniye olan 15 sayfadan oluşur ve toplam 30 saniyedir. Her bir çerçeve 24 alt çerçeveden meydana gelir ve bir çerçeve 720 saniyelik zaman dilimini kapsar [18].



Şekil 2.13. I/NAV seyrüsefer mesaj yapısı [18]

I/NAV mesajının detaylı yapısı Şekil 2.14’te verilmiştir. Her bir sayfa F/NAV mesajı sayfa yapısı ile benzer şekilde temel olarak üç bölümden oluşur. Bu bölümler:

- *Senkronizasyon*: 10 bit uzunluğundadır. Bu bitler alıcının sayfa sınırını senkronize edebilmesi için her zaman 0101100000 şeklindedir.
- *I/NAV Kelimesi*: 114 bitten oluşur. Aralıklı FEC kodlamasının yapıldığı, seyrüsefer verisinin iletildiği sayfa bölümüdür.
- *Kuyruk*: 6 bit uzunluğundadır. Her bir sayfanın FEC çözülmesinin yapılabilmesi için 6 bitin de değeri 0’ dır [20].



Şekil 2.14. I/NAV seyrüsefer detaylı mesaj yapısı [20]

Mesajın sayfa bölümü tek ya da çift olabilir. Her iki bölümde daima birbiri ardına yayınlanır. E1B kanalında çift bölüm ilk olarak iletilirken, E5b-I kanalında sonra iletilir. İki sayfanın birleşimi seyrüsefer mesajının elde edilebilmesi için çözümlenmesi gereken geçerli bir veri seti (Nominal Page) oluşturur. Bu konfigürasyonun avantajı, her iki frekans üzerinden I/NAV mesajını çözen alıcıların aynı sayfaları tek frekans bandı üzerinden işlem yapan alıcılara göre yarı sürede çözebilmesidir [20].

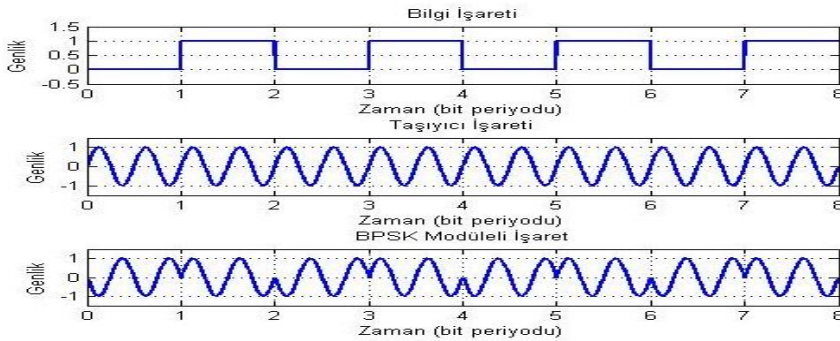
2.7. Uydu Seyrüsefer Sistemlerinde Kullanılan Modülasyon Teknikleri

Çalışmanın bu bölümünde uyduya dayalı seyrüsefer sistemlerinde kullanılmakta olan İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama (BPSK-Binary Phase-Shift Keying), Dört Evreli Faz Kaydırmalı Anahtarlama (QPSK-Quadrature Phase-Shift Keying), İkili Ofset Taşıyıcı (BOC-Binary Offset Carrier), Alternatif İkili Ofset Taşıyıcı (AltBOC-Alternate Binary Offset Carrier), Çoklanmış İkili Ofset Taşıyıcı (MBOC-Multiplexed Binary Offset Carrier) ve Bileşik İkili Ofset Taşıyıcı (CBOC-Composite Binary Offset Carrier) modülasyon teknikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu modülasyon tekniklerinin kullanım amaçları şu şekilde özetlenebilir:

- Seyrüsefer uydularındaki uygulama kayıplarının minimize edilmesi,
- Uydulardaki güç verimliliğinin artırılması,
- Birbirinden farklı sistemlerin alıcılarında, diğer sistemlerin sebep olabileceği sinyal karışmasının en aza indirgenmesi ve
- Alıcılarının karmaşıklığının azaltılması ve performanslarının en iyi hale getirilmesidir [22].

2.7.1. BPSK modülasyonu

BPSK modülasyonu, uydu seyrüsefer sistemlerinde kullanılan önemli bir modülasyon tekniğidir [2]. Bu modülasyon tekniğinde taşıyıcı sinyal ve kod bilgisi modülasyon işlemine tabi tutulmaktadır. Bu modülasyon işlemi sırasında kod bilgisi üzerinde 1 olan durumlar taşıyıcı sinyalin fazını değiştirmezken, 0 veya -1 olan durumlar taşıyıcı sinyalin fazını 180° değiştirerek BPSK modüle edilmiş taşıyıcı sinyalini oluştururlar (Şekil 2.15) [22].

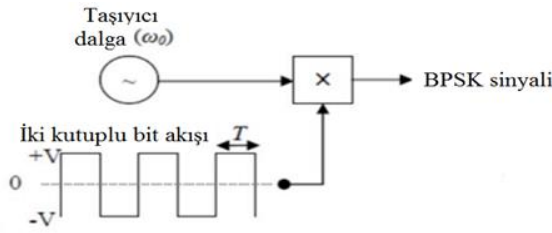


Şekil 2.15. BPSK modülasyonu [23]

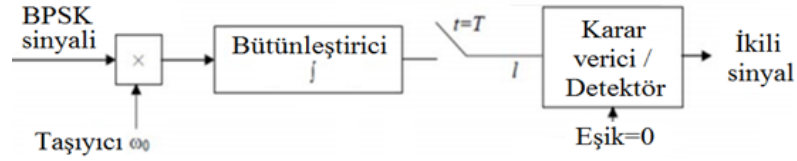
BPSK modülasyonu matematiksel ifadesi (2.3)'de verilmiştir.

$$m(t) = \begin{cases} A \sin(2\pi f_t t) & \text{sembol 1 ise} \\ -A \sin(2\pi f_t t) & \text{sembol 0 ise} \end{cases} \quad (2.3)$$

Burada $m(t)$, BPSK modüledi işaretini, f_t taşıyıcı frekansını ve t zamanı temsil etmektedir. $m(t)$ bilgi işaretinin genliği "1" olduğunda $A \sin(2\pi f_c t)$, "0" olduğunda ise $-A \sin(2\pi f_t t)$ olarak değişmektedir. BPSK verici ve alıcı yapısı, sırasıyla Şekil 2.16 ve Şekil 2.17'de gösterilmiştir.



Şekil 2.16. BPSK verici yapısı [24]



Şekil 2.17. BPSK alıcı yapısı [24]

Giriş sinyali $+\sin(2\pi f_t t)$ ya da $-\sin(2\pi f_t t)$ olabilir. Alıcıda dengeli modülatör bir çarpım detektörüdür ve çıkış iki girişin çarpımıdır. Alçak geçiren filtre sayesinde tekrar elde edilmiş ikili veriler, karmaşık demodüle edilmiş verilerden ayrılır [22].

2.7.2. QPSK modülasyonu

QPSK, faz modülasyonu tabanlı bir modülasyon tekniğidir. Bu modülasyon tekniğinde BPSK modülasyonundaki gibi kod bilgisi teker teker modülasyon işlemine alınmaz bunun aksine ikili gruplar halinde modülasyon işlemine alınır. İşleme alınan bu gruplar toplamda dört farklı sembol için ayrı ayrı durumlar oluşturmaktadır. Her sembol [00], [01], [10], [11] şeklinde iki bit ile

ifade edilmektedir ve her sembol için farklı fazda işaret gönderilmektedir (Çizelge 2.9) [22]. QPSK modülasyonunun matematiksel denklemi Eşitlik (2.4)'de verilmiştir.

$$s_i(t) = A \cos(2\pi f_t t + \theta_i), \quad 0 \leq t \leq T, \quad i=1,2,3,4 \quad (2.4)$$

Burada $s_i(t)$, QPSK modüleli işareti, f_t taşıyıcı frekansını, t zamanı ve θ_i vektörün koordinat düzleminde yatay ile yaptığı açığı temsil etmektedir.

Çizelge 2.9. QPSK sinyal koordinatları [22]

Sembol	Faz θ_i	$s_{i1} = \sqrt{E} \cos \theta_i$	$s_{i2} = \sqrt{E} \sin \theta_i$
11	$\pi/4$	$+\sqrt{E/2}$	$+\sqrt{E/2}$
01	$3\pi/4$	$-\sqrt{E/2}$	$+\sqrt{E/2}$
00	$-3\pi/4$	$-\sqrt{E/2}$	$-\sqrt{E/2}$
10	$-\pi/4$	$+\sqrt{E/2}$	$-\sqrt{E/2}$

\sqrt{E} : Vektör uzunluğu

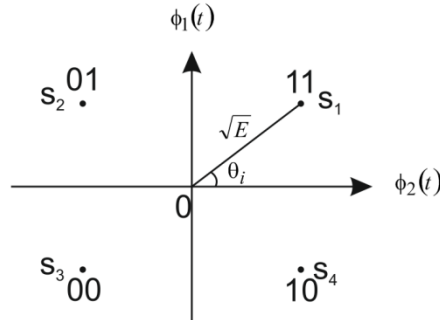
Burada:

$$\theta_i = \frac{(2i-1)\pi}{4} \quad (2.5)$$

Başlangıç sinyal fazları $\frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}$ ve $\frac{7\pi}{4}$ dür. Eşitlik (2.4) düzenlenerek (2.6) denklemi elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} s_i(t) &= A \cos \theta_i \cos 2\pi f_t t - A \sin \theta_i \sin 2\pi f_t t \\ &= s_{i1}\phi_1(t) + s_{i2}\phi_2(t) \end{aligned} \quad (2.6)$$

Burada $\phi_1(t)$ ve $\phi_2(t)$ koordinat sistemini ve $s_i = \begin{bmatrix} s_{i1} \\ s_{i2} \end{bmatrix}$, $i=1,2,3,4$ olmak üzere s_i vektör numarasını, temsil etmektedir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. QPSK sinyal kümesi [22]

$\phi_1(t)$ ve $\phi_2(t)$ bileşenlerinin matematiksel eşitlikleri (2.7)'de gösterilmiştir;

$$\phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} \cos 2\pi f_t t, \quad \phi_2(t) = -\sqrt{\frac{2}{T}} \sin 2\pi f_t t, \quad 0 \leq t \leq T \quad (2.7)$$

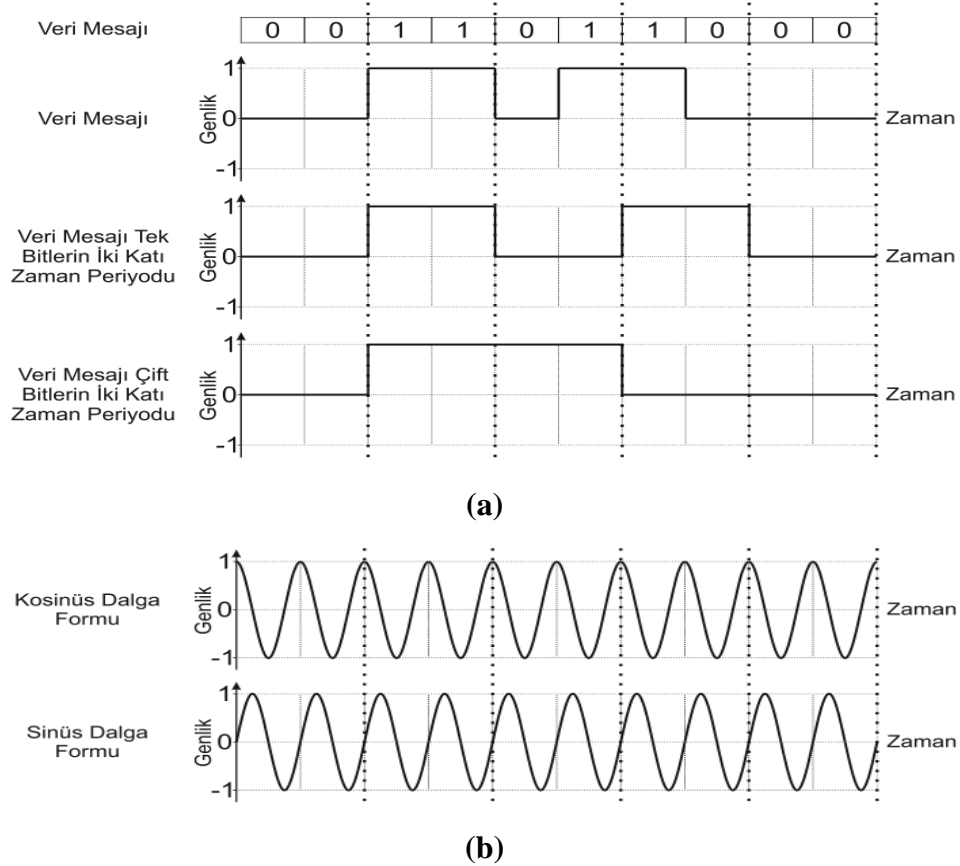
Eşitlik (2.6)'da verilen matematiksel denklemin bileşenleri Eşitlik (2.8) ve (2.9)'da verilmiştir.

$$s_{i1} = \sqrt{E} \cos \theta_i \quad s_{i2} = \sqrt{E} \sin \theta_i \quad (2.8)$$

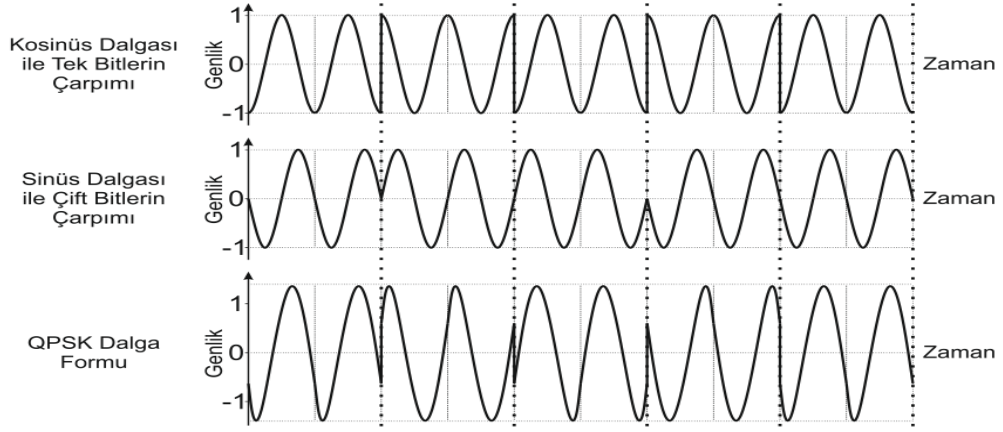
ve

$$\theta_i = \tan^{-1} \frac{s_{i2}}{s_{i1}} \quad (2.9)$$

Giriş sinyalinin her 2 bitlik kısmı değiştiğinde, çıkış fazı da değişmektedir. Dolayısıyla QPSK'da, çıkış değişim hızı giriş değişim hızının iki katıdır [22]. Şekil 2.19'da QPSK modülasyonu için bir örnek verilmiştir.



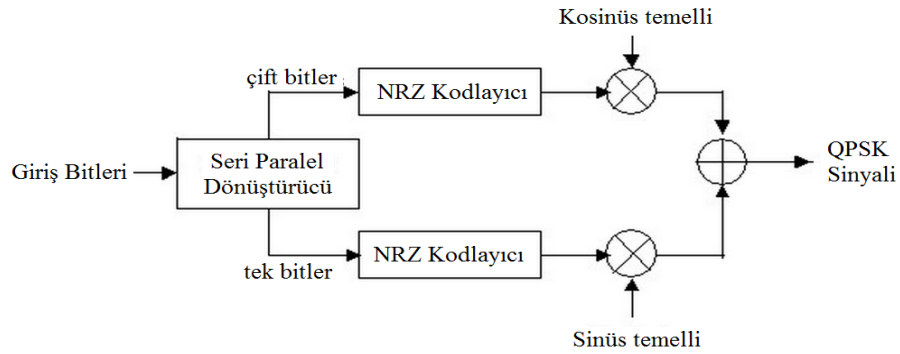
Şekil 2.19. QPSK modülasyonu [25]



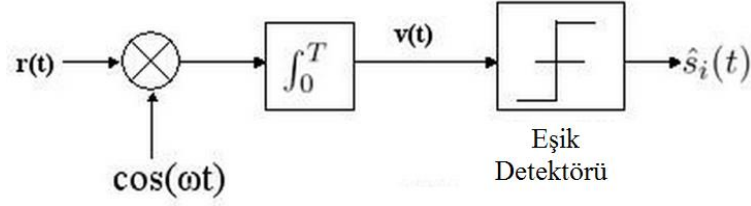
(c)

Şekil 2.19. (Devamı) QPSK modülasyonu [25]

Şekil 2.19 (a)'da görüldüğü üzere rastgele veri mesajı [0011011000] olarak seçilmiş ve seçilen bu kod dizilimin genlik-zaman değişimi gösterilmiştir. Bu durumda seçilen veri mesajının tek bitleri [01010] ve çift bitleri [01100] olmaktadır. Sinyallerin zaman aralıklarının birbirine eşit olması için elde edilen tek ve çift bitler zaman aralığında iki katı oranda genişletilmiş ve grafiksel olarak gösterilmiştir. Taşıyıcı sinyal olarak kullanılan sinüs ve kosinüs sinyalleri Şekil 2.19 (b)'de grafiksel olarak verilmiştir. Tek bitler ile kosinüs, çift bitler ile sinüs dalga formlarının çarpılması sonucunda elde edilen grafikler ise Şekil 2.19 (c)'de gösterilmiştir. Şekilden anlaşılacağı üzere tek ve çift bitlerde bit değeri '1' olduğu zaman taşıyıcı sinyaller aynı şekilde kalmakta iken, bit değeri '0' olduğunda taşıyıcı sinyaller 180° faz kaymasına uğramaktadır. QPSK dalga formu elde edilen tek ve çift bit grafiklerinin toplamı sonucunda oluşmaktadır. QPSK modülasyonu için verici ve alıcı yapıları sırasıyla Şekil 2.20 ve Şekil 2.21'de gösterilmiştir.



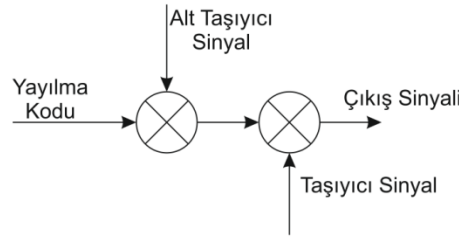
Şekil 2.20. QPSK verici yapısı [26]



Şekil 2.21. QPSK alıcı yapısı [26]

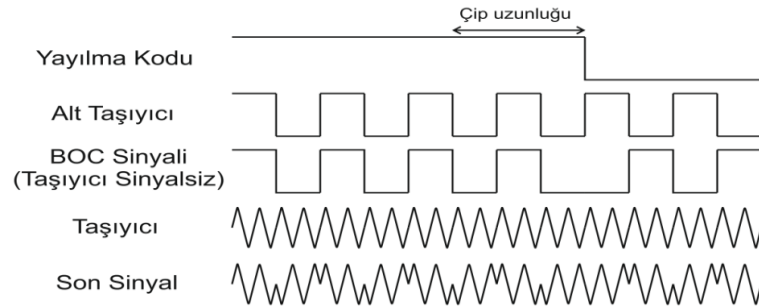
2.7.3. BOC modülasyonu

BOC, Galileo sinyalleri ve modernize edilmesi planlanan GPS sinyalleri için geliştirilmiş bir modülasyon tekniğidir [27]. BOC modülasyonu, genişletilmiş bir BPSK modülasyonudur. Bu modülasyon tekniğinde veri mesajı, önce sinüs veya kosinüs biçiminde bir kare alt taşıyıcı frekansı ile daha sonrada sinüs taşıyıcı sinyali ile çarpılır. Sinyalin bir kare alt taşıyıcı ile çarpılması sinyal spektrumunu iki parçaya bölmektedir. Bu durum aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmıştır. BOC modülasyonunun genel üretim şeması Şekil 2.22’de verilmiştir [28].



Şekil 2.22. BOC modülasyonu genel üretim şeması [28]

Şekil 2.22’de verilen BOC modülasyonunun genel üretim şemasına bağlı olarak BOC sinyali üretim adımları Şekil 2.23’de gösterilmiştir.



Şekil 2.23. BOC modülasyonu [27]

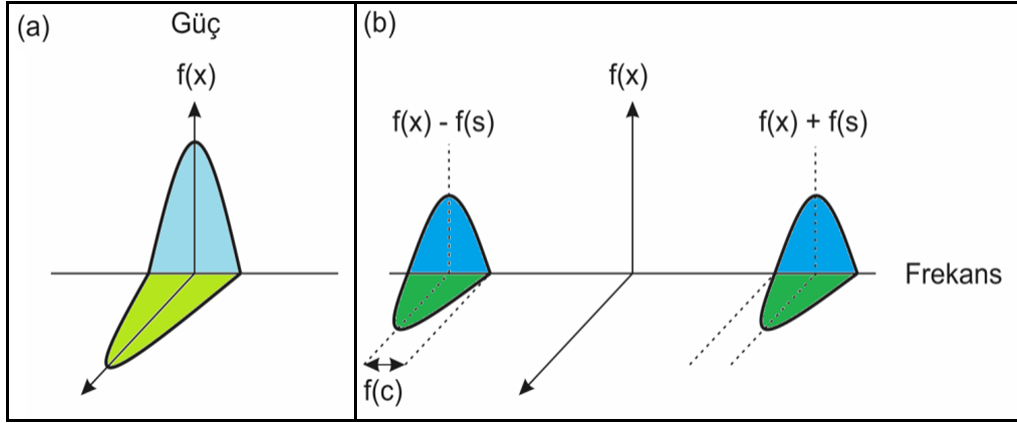
BOC modülasyonu tanımlanırken matematiksel işlemlerde sinüs taşıyıcı sinyali işleme dahil edilmemektedir [28].

BOC modülasyonunda iki bağımsız tasarım parametresi önerilmektedir. Bu parametreler, alt taşıyıcı frekansı f_s (MHz) ve yayınlanan kod (spreading code) oranı veya Sözde Rastgele Gürültü (PRN-Pseudorandom Noise) kodu f_c (Mchip/s)'dir. Bu iki parametre, yayınlanan diğer uydu sinyalleriyle karışmayı azaltmak için sinyal gücünün tahsis edilen frekans bandının belirli bir bölümü içerisinde toplanmasını sağlar. Buna ek olarak BOC modülasyonunun alt ve üst yan bantlarında sinyal yoğunluğunun artması da sinyal kazancı, kod izleme, taşıyıcı sinyalin izlenmesi ve veri demodülasyonu gibi alıcıda gerçekleşen işlemler için bazı avantajlar sunar. Ancak taşıyıcı frekansının kod oranının çok fazla olması durumunda sinyalde çok yakın aralıklarla pik noktaları oluşmakta ve bu durum kod izlemeyi zorlaştırmaktadır [27].

GNSS uydularında nominal referans frekansı $f_0 = 1.023 \text{ MHz}$ olan atom saati bulunmaktadır. Uydu sinyalinin tüm bileşenleri bu referans frekansı üzerinden elde edilmektedir. Bu durumda BOC sinyalinde alt taşıyıcı frekansı f_s ve PRN kod oranı f_c , referans frekansının katları olarak seçilmektedir (2.10) [29].

$$\begin{aligned} \frac{1}{T_s} &= f_s = m \cdot f_0 \\ \frac{1}{T_c} &= f_c = n \cdot f_0 \end{aligned} \quad (2.10)$$

BOC modülasyonu, bir kare alt taşıyıcı modülasyonudur. Burada veri sinyali $c(t)$ kare alt taşıyıcı sinyali ile çarpılarak sinyal spektrumu iki parçaya bölünmektedir [29]. Bu durum Şekil 2.24 (a)'da örnek olarak verilen BPSK modülasyonu sonucunda elde edilmiş bir sinyal çıktısı ile şu şekilde açıklanabilir. BPSK modülasyonunda veri mesajı, sinüs veya kosinüs taşıyıcısı ile çarpıldığı zaman güç-frekans alanında $f(x)$ merkezli tek bir sinyal dalgası oluşmaktadır. Fakat veri mesajı bir kare alt taşıyıcısı ile çarpıldığı zaman sinyal, $-f_s + f(x)$ ve $+f_s + f(x)$ merkezli iki parçaya bölünmekte ve her bir parçanın bant genişliği $2 \cdot f_c$ olmaktadır (Şekil 2.24 (b)) [30].



Şekil 2.24. BPSK ve BOC sinyali [30]

BOC sinyali için yaygın kullanılan gösterim, $BOC(f_s, f_c)$ şeklindedir. Burada $f_s = m \cdot 1.023 \text{ MHz}$ ve $f_c = n \cdot 1.023 \text{ MHz}$ olarak kabul edilmektedir [31]. Modülasyon işlemini daha genel ve daha basit bir şekilde göstermek için $BOC(m, n)$ ifadesi kullanılmakta, m ve n genellikle doğal tamsayı olarak seçilmektedir.

BOC modülasyonunda her çip başına örneklem sayısı N_{BOC} olarak tanımlanmış ve Eşitlik (2.11)'de gösterilmiştir [29].

$$N_{BOC} = 2 \frac{f_s}{f_c} = 2 \frac{m}{n} \quad (2.11)$$

Burada denklemde yer alan 2 çarpanı, m/n işleminin tamsayı çıkmadığı durumlarda oluşacak hataları gidermek içindir [32].

BOC modülasyonu, $SinBOC$ ve $CosBOC$ olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu iki modülasyon tekniği arasındaki temel fark, kullanılan alt taşıyıcı sinyallerinin sinüs veya kosinüs çarpanlarını kullanmasıdır. BOC modülasyonu denildiğinde genellikle $SinBOC$ modülasyonunun matematiksel eşitliği kullanılmaktadır. BOC modüle edilmiş sinyalleri, (2.12) eşitliğinde gösterildiği üzere $s_{SinBOC}(t)$ ve $s_{CosBOC}(t)$ şeklinde ifade edilir.

$$\begin{aligned}
s_{SinBOC}(t) &= c(t) * \text{sign} \left[\sin \left(\frac{N_{BOC} \pi t}{T_c} \right) \right], 0 \leq t \leq T_c \\
s_{SinBOC}(t) &= c(t) * \text{sign} [\sin(2\pi f_s t)] \\
s_{CosBOC}(t) &= c(t) * \text{sign} \left[\cos \left(\frac{N_{BOC} \pi t}{T_c} \right) \right], 0 \leq t \leq T_c \\
s_{CosBOC}(t) &= c(t) * \text{sign} [\cos(2\pi f_s t)]
\end{aligned} \tag{2.12}$$

Burada $T_c = 1/f_c$ çip periyodu ve f_s alt taşıyıcı frekansını temsil etmektedir. sign matematiksel fonksiyonu ise sinüs veya kosinüs dalga formlarını kare alt taşıyıcı dalga formuna dönüştürmek için kullanılmaktadır [33].

Sign fonksiyonunun matematiksel ifadesi eşitlik (2.13)'de verilmiştir [34].

$$\begin{aligned}
\text{sign}(x) &= 1 \quad \text{eğer } x > 0 \\
\text{sign}(x) &= -1 \quad \text{eğer } x < 0 \\
\text{sign}(x) &= 0 \quad \text{eğer } x = 0
\end{aligned} \tag{2.13}$$

$c(t)$ veri sinyalinin genel matematiksel ifadesi eşitlik (2.14)'te gösterilmiştir.

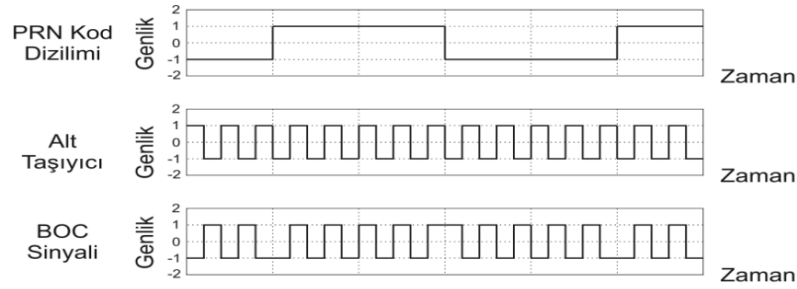
$$c(t) = \sum_k c_k h(t - kT_c) \tag{2.14}$$

Burada c_k kod dizisi dalga formunu, $h(t)$ sifıra dönüşsüz kodu (NRZ-Non Return to Zero) temsil etmektedir. $h(t)$ 'nin alacağı değerler $[0, T_c]$ arasında 1, diğer durumlarda 0'dır [31].

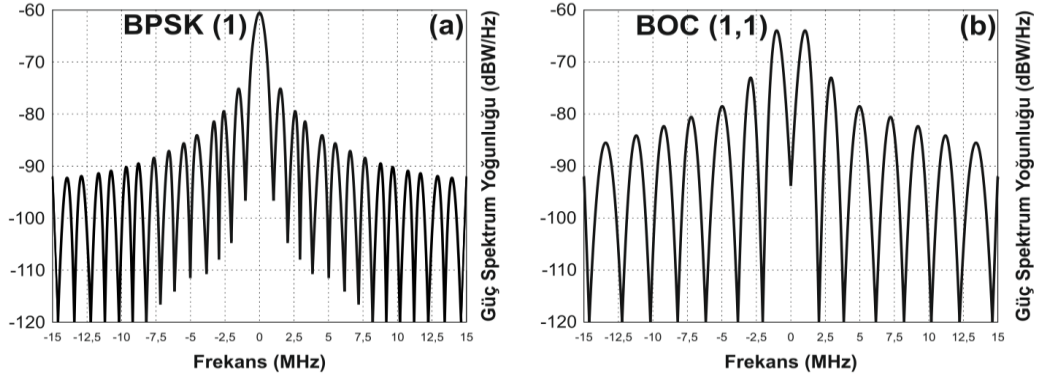
SinBOC ve CosBOC modüle edilmiş sinyallerinin güç spektrum yoğunluğu (PSD-Power Spectral Density), eşitlik 2.15'de gösterilmiştir [33].

$$\begin{aligned}
G_{SinBOC(m,n)}(f) &= \frac{1}{T_c} \left(\frac{\sin \left(\pi f \frac{T_c}{N_{BOC}} \right) \sin(\pi f T_c)}{\pi f \cos \left(\pi f \frac{T_c}{N_{BOC}} \right)} \right)^2 \\
G_{CosBOC(m,n)}(f) &= \frac{1}{T_c} \left(\frac{\cos(\pi f T_c) \left(\cos \left(\pi f \frac{T_c}{N_{BOC}} \right) - 1 \right)}{\pi f \cos \left(\pi f \frac{T_c}{N_{BOC}} \right)} \right)^2
\end{aligned} \tag{2.15}$$

$BOC(5,2)$ modülasyonunu örneklemek amacıyla PRN kod dizilimi, $[-1 +1 +1 -1 -1 +1]$ şeklinde seçilerek buna bağlı alt taşıyıcı sinyalini içeren fakat taşıyıcı sinyali içermeyen BOC sinyalinin genlik-zamana bağlı değişimi Şekil 2.25'te grafiksel olarak gösterilmiştir. $BOC(5,2)$ modülasyonu için eşitlik (2.11) denklemine göre $N_{BOC} = 5$ olmaktadır. Buradan anlaşılacağı üzere veri sinyalinin her bir bitine karşılık kare alt taşıyıcı aynı zaman diliminde 5 kez genlik değiştirmektedir [28].

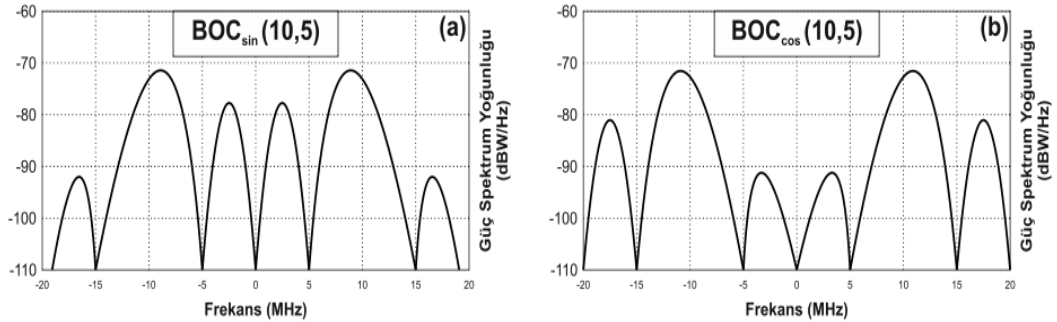


Şekil 2.25. $BOC(5,2)$ modülasyonu [28]



Şekil 2.26. BPSK ve BOC modülasyonu frekans spektrumları [29]

Şekil 2.26 (a)'da genel bir BPSK (1) modülasyonu ve (b)'de BOC(1,1) modülasyonunun frekans spektrumları arasındaki farklar görülebilmektedir.



Şekil 2.27. SinBOC (10,5) ve CosBOC (10,5) modülasyonu frekans spektrumları [28]

Şekil 2.27 (a)'da SinBOC (15,10) ve (b)'de CosBOC (15,10) modülasyonlarının frekans spektrumları gösterilmiştir.

2.7.3.1. MBOC modülasyonu

MBOC modülasyonu, GPS L1C ve Galileo E1 OS sinyalleri için tasarlanmış bir modülasyon tekniğidir. Bu modülasyon tekniği sinyal izleme performansını artırmak için yüksek frekanslarda ufak bir miktar güç ilavesi sağlamaktadır. MBOC modülasyonunun güç spektrum yoğunluğuna göre matematiksel ifadesi (2.16) eşitliği ile gösterilmektedir. Bu eşitlik, veri - pilot sinyallerinin tamamının güç spektrum yoğunluğunu kapsamaktadır. Sinyal izlemeyi kolaylaştırmak için denkleme eklenen güç ilavesi *SinBOC* (6,1) modülasyonudur.

$$G_{MBOC(6,1,1/11)}(f) = \frac{10}{11} G_{SinBOC(1,1)}(f) + \frac{1}{11} G_{SinBOC(6,1)}(f) \quad (2.16)$$

MBOC sinyali, standart *SinBOC*(1,1)'in *SinBOC*(6,1) ile çoklanması sonucu elde edilir. MBOC sinyalinin güç spektrum yoğunluğu, *MBOC*(6,1,1/11) olarak ifade edilir. Burada (6,1) ifadesi *SinBOC*(6,1)'i, (1/11) oranı ise toplam gücün *SinBOC*(6,1) için olan çarpan katsayısını temsil etmektedir [2].

SinBOC(1,1) ve *SinBOC*(6,1)'in güç spektrumlarının hesaplanması için gerekli olan matematiksel ifadeler eşitlik 2.17'de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} N_{BOC(1,1)} &= 2 \frac{fs}{fc} = 2 \frac{m}{n} = 2 & T_c &= \frac{1}{fc} \\ N_{BOC(6,1)} &= 2 \frac{fs}{fc} = 2 \frac{m}{n} = 12 & & \end{aligned} \quad (2.17)$$

Eşitlik 2.15 kullanılarak *SinBOC*(1,1) ve *SinBOC*(6,1) için güç spektrum yoğunlukları sırasıyla eşitlik 2.18 ve 2.19'da gösterilmiştir [35].

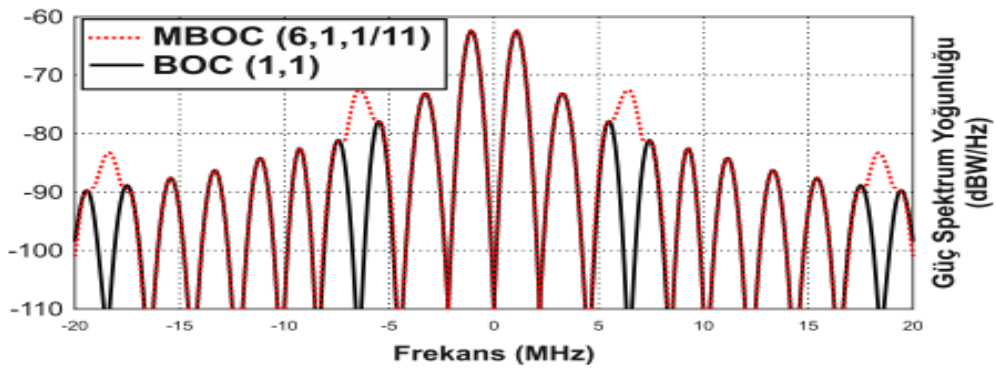
$$G_{SinBOC(1,1)} = f_c \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi f}{f_c}\right) \sin\left(\frac{\pi f}{2f_c}\right)}{\pi f \cos\left(\frac{\pi f}{2f_c}\right)} \right]^2 \quad (2.18)$$

$$G_{SinBOC(6,1)} = f_c \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi f}{f_c}\right) \sin\left(\frac{\pi f}{12f_c}\right)}{\pi f \cos\left(\frac{\pi f}{12f_c}\right)} \right]^2 \quad (2.19)$$

Burada PRN kod oranı f_c , 1.023 MHz olarak alınmaktadır. (2.17), (2.18) ve (2.19) eşitlikleri kullanılarak elde edilen $G_{MBOC(6,1,1/11)}(f)$ ' in PSD matematiksel gösterimi eşitlik 2.20'de verilmiştir [35].

$$\begin{aligned} G_{MBOC(6,1,1/11)}(f) &= \frac{10}{11} G_{SinBOC(1,1)}(f) + \frac{1}{11} G_{SinBOC(6,1)}(f) \\ &= \frac{10}{11} f_c \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi f}{f_c}\right) \sin\left(\frac{\pi f}{2f_c}\right)}{\pi f \cos\left(\frac{\pi f}{2f_c}\right)} \right]^2 + \frac{1}{11} f_c \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi f}{f_c}\right) \sin\left(\frac{\pi f}{12f_c}\right)}{\pi f \cos\left(\frac{\pi f}{12f_c}\right)} \right]^2 \\ &= \frac{f_c}{11\pi^2 f^2} \sin^2\left(\frac{\pi f}{f_c}\right) \left[10 \tan^2\left(\frac{\pi f}{2f_c}\right) + \tan^2\left(\frac{\pi f}{12f_c}\right) \right] \end{aligned} \quad (2.20)$$

Şekil 2.28'de MBOC (6,1,1/11) ve BOC (1,1) modülasyonlarının frekans spektrumları gösterilmiştir. MBOC modülasyonundaki güç ilavesi açık bir şekilde görülebilmektedir.



Şekil 2.28. MBOC (6,1,1/11) ve BOC (1,1) modülasyonu frekans spektrumları [28]

2.7.3.2. CBOC modülasyonu

CBOC modülasyonu, E1 bandındaki Galileo açık hizmeti için öngörülmuş bir modülasyon tekniğidir. CBOC modülasyon tekniğini BOC modülasyon tekniğinden ayıran temel fark modülasyona giren sinyalin ikiye ayrılmasıdır. Bu sinyaller veri ve pilot sinyali olarak adlandırılmaktadır [28]. CBOC uygulamasında $SinBOC(1,1)$ ve $SinBOC(6,1)$ 'in ağırlıklandırılmış toplamlarıyla oluşturulan dört seviyeli yayınlanan sembolleri esas alınmaktadır ($SinBOC(1,1)$ ve $SinBOC(6,1)$ için ayrı ayrı veri-pilot sinyalleri) [2]. Bu uygulama matematiksel olarak şu şekilde gösterilebilir:

$$S_{CBOC}(t) = w_1 S_{SinBOC(1,1),held}(t) \mp w_2 S_{SinBOC(6,1)}(t) \quad (2.21)$$

Burada $SinBOC(1,1),held$ ifadesi, CBOC modülasyonu için belirli bir zaman gecikmesi eklenerek düzenlenen veya diğer bir deyişle yukarı örneklenen $SinBOC(1,1)$ sinyalini temsil etmektedir. w_1 ve w_2 , ağırlıklandırılmış genlik faktörleridir [36]. Veri ve pilot kanalları ele alındığında MBOC PSD eşitliğine göre $w_1^2 + w_2^2 = 1$ olmaktadır. Veri ve pilot bileşenlerinin güç dağılımı % 50 ve % 50 olarak düşünüldüğünde $w_1 = \sqrt{\frac{10}{11}}$ ve $w_2 = \sqrt{\frac{1}{11}}$ olmaktadır [3].

CBOC modülasyonu genel olarak $CBOC(+')$, $CBOC(-')$ ve $CBOC(+/-')$ şeklinde üç ayrı model kullanılarak uygulanmaktadır [3]. Bu modellerin matematiksel ifadesi (2.22), (2.23) ve (2.24)'te verilmiştir.

- $CBOC(+')$;

$$S_{CBOC(+')}(t) = w_1 S_{SinBOC(1,1),held}(t) + w_2 S_{SinBOC(6,1)}(t) \\ w_1 \sum_{i=0}^{N_{BOC1}-1} \sum_{k=0}^{N_{BOC2}-1} (-1)^i c\left(t - i \frac{T_c}{N_{BOC1}} - k \frac{T_c}{N_{BOC2}}\right) \\ + w_2 \sum_{i=0}^{N_{BOC2}-1} (-1)^i c\left(t - i \frac{T_c}{N_{BOC2}}\right) \quad (2.22)$$

Burada ağırlıklandırılmış genlik faktörlerinin değerleri $w_1 = \sqrt{10/11}$ ve $w_2 = \sqrt{1/11}$ 'dir. N_{BOC1} ve N_{BOC2} sırasıyla $SinBOC(1,1)$ ve $SinBOC(6,1)$ için her çip başına örneklem sayısıdır. Bu durumda $N_{BOC1} = 2 \cdot f_s / f_c = 2$ ve $N_{BOC2} = 2 \cdot f_s / f_c = 12$ olmaktadır. f_s alt taşıyıcı frekansını, f_c taşıyıcı frekansını, c ışık hızını, T_c çip periyodunu ($1/f_c$) ve k çip numarasını temsil etmektedir [3].

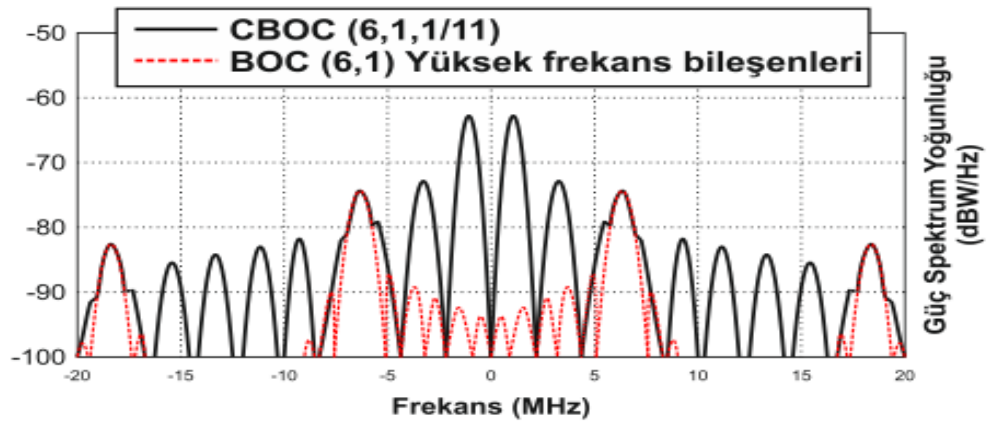
- $CBOC(' - ');$

$$S_{CBOC(' - ')}(t) = w_1 S_{SinBOC(1,1),held}(t) - w_2 S_{SinBOC(6,1)}(t) \quad (2.23)$$

- $CBOC(' + / - ');$

$$S_{CBOC(' + / - ')}(t) = \begin{cases} w_1 S_{SinBOC(1,1),held}(t) + \\ w_2 S_{SinBOC(6,1)}(t) \text{ çift çipler} \\ w_1 S_{SinBOC(1,1),held}(t) - \\ w_2 S_{SinBOC(6,1)}(t) \text{ tek çipler} \end{cases} \quad (2.24)$$

Şekil 2.29'da CBOC (6,1,1/1) modülasyonunun frekans spektrumu gösterilmiştir.

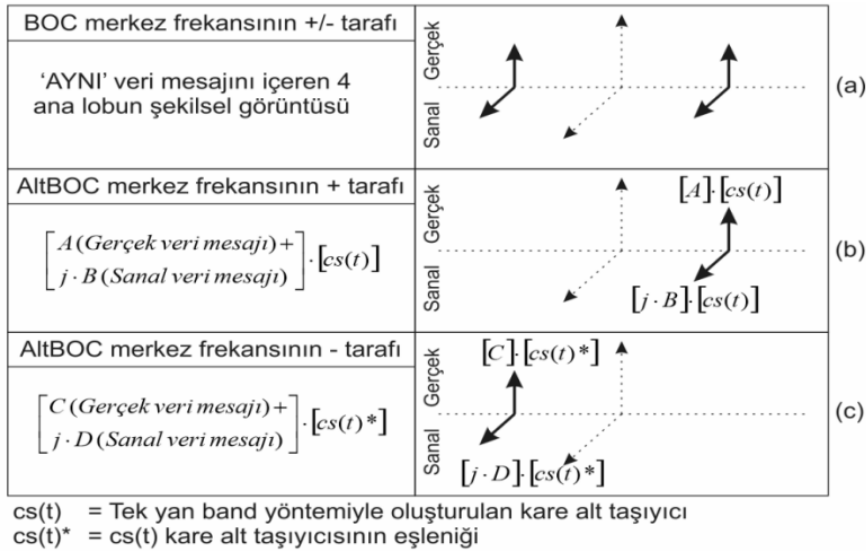


Şekil 2.29. CBOC (6,1,1/1) modülasyonu frekans spektrumu [19]

2.7.3.3. AltBOC modülasyonu

AltBOC modülasyonu kavramsal olarak BOC modülasyonu ile benzerlik göstermektedir. Ancak BOC modülasyonun aksine AltBOC modülasyonunda, sinyalin gerçek ve sanal kısımları ayrı ayrı dikkate alınarak oluşan iki üst ana lob ve iki alt ana lob arasında yüksek enterferans izolasyonu sağlanabilir. Ana loblar arasındaki bu yüksek enterferans izolasyonu her bir ana lob için farklı kod girişleri kullanılmasıyla gerçekleştirilir [37].

AltBOC modülasyonunu diğer modülasyon tekniklerinden ayıran temel özellik, veri mesajlarının gerçek veya sanal olarak ayrı ayrı işlenebilmesidir. BOC modülasyonunun genlik-zaman grafiksel gösterimi Şekil 2.24'te verilmiştir. Daha önce de belirtildiği üzere veri mesajı toplamda gerçek kısımda bir üst ve bir alt banttan oluşmaktadır. Bunun sebebi sistemde kare alt taşıyıcının kullanılmasıdır. Aynı sinyalin eşleniği, sanal kısımda da bir üst ve bir alt banttan oluşmaktadır. Dolayısıyla sinyal, toplamda dört ana lobdan oluşur. AltBOC modülasyonunda ise dört farklı veri mesajı, birbirinden farklı ana loblara yüklenebilmektedir. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için AltBOC modülasyonunda tek yan band tekniği ile üretilen kare alt taşıyıcı kullanılmaktadır. Bu kare alt taşıyıcısının bileşenleri *CosBOC* ve *SinBOC* modülasyon tekniklerinde kullanılan kare alt taşıyıcılardır [32]. Bu durum Şekil 2.30'da görselleştirilmiştir.



Şekil 2.30. AltBOC modülasyonu dört farklı veri mesajının yüklenmesi

Şekil 2.30 (a)'da BOC modülasyonunda tek bir veri mesajını yüklemek için kullanılan alt taşıyıcının güç-frekans alanında oluşturduğu ana loblar gösterilmiştir. Şekil 2.30 (b)'de ise veri mesajları gerçek ve sanal olmak üzere ayrı ayrı tanımlanmıştır. Burada veri mesajlarıyla çarpılan aynı kare alt taşıyıcısı, tek yan bant tekniği kullanılarak üretilmektedir. Bu sayede güç-frekans alanında farklı ana loblar oluşmakta ve bu ana loblar birbirinden bağımsız veriler içermektedir. Şekil 2.30 (c)'de Şekil 2.30 (b)'de kullanılan kare alt taşıyıcının eşleniği ile güç-frekans alanının negatif tarafına geçilmiştir. Burada da Şekil 2.30 (b)'de olduğu gibi gerçek ve sanal veri mesajları ayrı ayrı aynı kare alt taşıyıcı ile çarpıldığında farklı ana loblar oluşmakta ve bu ana loblar birbirinden bağımsız veriler içermektedir.

AltBOC modülasyonu genel olarak $AltBOC(f_s, f_c)$ ifadesi ile gösterilmektedir. Burada $f_s = m \cdot 1.023 MHz$ ve $f_c = n \cdot 1.023 MHz$ 'dir. Kısaca $AltBOC(m, n)$ olarak gösterilebilir. AltBOC sinyali, iki (sadece veri sinyali) ya da dört (veri ve pilot sinyali) koddan oluşmaktadır. Sadece iki kod varsa oluşan sinyalin matematiksel ifadesi Eşitlik (2.25)'de tanımlandığı şekilde gösterilmektedir [37].

$$S_{AltBOC}(t) = c_L c_S(t) + c_U c_S^*(t) \quad (2.25)$$

Burada c_L ve c_U sırasıyla alt ve üst banda yüklenen veri mesajlarıdır. $c_S(t)$, kosinüs ve sinüs fazlı kare alt taşıyıcılarının tek yan bant tekniği ile oluşturulan kare alt taşıyıcısıdır. $c_S^*(t)$, $c_S(t)$ 'nin eşleniğidir ve bu kare alt taşıyıcılarının matematiksel ifadeleri eşitlik (2.26)'da gösterilmiştir [38].

$$\begin{aligned} c_S(t) &= 1/\sqrt{2} \{sign[\cos(2\pi f_s t)] + jsign[\sin(2\pi f_s t)]\} = c_r(t) + js_r(t) \\ c_S^*(t) &= 1/\sqrt{2} \{sign[\cos(2\pi f_s t)] - jsign[\sin(2\pi f_s t)]\} = c_r(t) - js_r(t) \end{aligned} \quad (2.26)$$

(2.25) eşitliği ile verilen AltBOC modülasyonu tanımına pilot kanalları eklendiğinde oluşan genişletilmiş AltBOC modülasyonu matematiksel ifadesi Eşitlik (2.27)'de gösterilmiştir [37].

$$S_{AltBOC}(t) = (c_L^D + jc_L^P)c_s(t) + (c_U^D + jc_U^P)c_s^*(t) \quad (2.27)$$

Burada c_L^D alt bant verisini (gerçek), c_L^P alt bant pilot verisini (sanal), c_U^D üst bant verisini (gerçek) ve c_U^P üst bant pilot verisini (sanal) temsil etmektedir [37].

(2.27) denklemi ile gösterilen eşitlikteki tek problem, kompleks değerler içeren bir alt taşıyıcı ile veri ve pilot kanalları için kompleks kodların ortaya çıkmasıdır. Yapılan literatür araştırması bu problemin çözümü için akademik çalışmalarda M. Soellner ve P. Erhard tarafından [38] 2003 yılında öngörülen modifiye edilmiş AltBOC modülasyonu (2.28) eşitliğinin kullanıldığını göstermektedir.

$$S_{AltBOC}(t) = \begin{cases} (c_L^D + jc_L^P) \left[sc_d(t) - jsc_d\left(t - \frac{T_s}{4}\right) \right] + \\ (c_U^D + jc_U^P) \left[sc_d(t) + jsc_d\left(t - \frac{T_s}{4}\right) \right] + \\ (\overline{c_L^D} + j\overline{c_L^P}) \left[sc_p(t) - jsc_p\left(t - \frac{T_s}{4}\right) \right] + \\ (\overline{c_U^D} + j\overline{c_U^P}) \left[sc_p(t) + jsc_p\left(t - \frac{T_s}{4}\right) \right] \end{cases} \quad (2.28)$$

Burada $T_s = 1/f_s$, kare alt taşıyıcı periyodudur. $\overline{c_L^D}$, $\overline{c_L^P}$, $\overline{c_U^D}$ ve $\overline{c_U^P}$ sırasıyla $\overline{c_L^D} = c_U^P c_U^D c_L^P$; $\overline{c_L^P} = c_U^D c_U^P c_L^D$; $\overline{c_U^D} = c_L^D c_U^P c_L^P$; $\overline{c_U^P} = c_U^D c_L^D c_L^P$ şeklinde gösterilmektedir. Veri ve pilot alt taşıyıcıları $sc_d(t)$ ve $sc_p(t)$ ise sırasıyla (2.29) ve (2.30) eşitlikleri ile ifade edilmektedir [39].

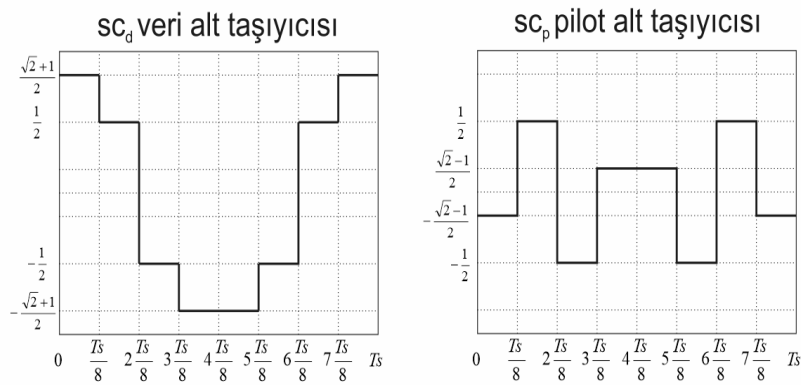
$$sc_d(t) = \begin{cases} \frac{\sqrt{2}}{4} \text{sign} \left[\cos\left(2\pi f_s t - \frac{\pi}{4}\right) \right] + \frac{1}{2} \text{sign}[\cos(2\pi f_s t)] + \\ \frac{\sqrt{2}}{4} \text{sign} \left[\cos\left(2\pi f_s t + \frac{\pi}{4}\right) \right] \end{cases} \quad (2.29)$$

$$sc_p(t) = \begin{cases} -\frac{\sqrt{2}}{4} \text{sign} \left[\cos \left(2\pi f_s t - \frac{\pi}{4} \right) \right] + \frac{1}{2} \text{sign} [\cos(2\pi f_s t)] - \\ \frac{\sqrt{2}}{4} \text{sign} \left[\cos \left(2\pi f_s t + \frac{\pi}{4} \right) \right] \end{cases} \quad (2.30)$$

Burada t değişkeni zamana göre sonucu değiştirmektedir ve sign fonksiyonun özelliğinden dolayı her bir kosinüs denkleminin sonucu 0, -1 veya +1 değerini almaktadır. Buna göre (2.29) ve (2.30) eşitliklerinin her bir zaman aralığında alacağı değerler Çizelge 2.10'da verilerek, Şekil 2.31'de grafiksel olarak gösterilmiştir [40].

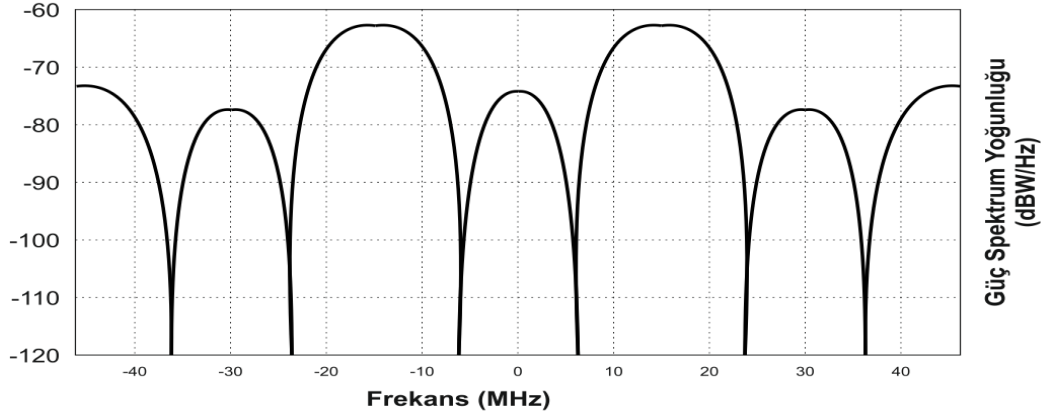
Çizelge 2.10. $sc_d(t)$ ve $sc_p(t)$ değerlerinin zamanla değişimleri [40]

Zaman	$sc_d(t)$	$sc_p(t)$	Zaman	$sc_d(t)$	$sc_p(t)$
$\left[0, \frac{T_s}{8} \right]$	$\frac{\sqrt{2}+1}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}-1}{2}$	$\left[4\frac{T_s}{8}, 5\frac{T_s}{8} \right]$	$-\frac{\sqrt{2}+1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}-1}{2}$
$\left[\frac{T_s}{8}, 2\frac{T_s}{8} \right]$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\left[5\frac{T_s}{8}, 6\frac{T_s}{8} \right]$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$
$\left[2\frac{T_s}{8}, 3\frac{T_s}{8} \right]$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$\left[6\frac{T_s}{8}, 7\frac{T_s}{8} \right]$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
$\left[3\frac{T_s}{8}, 4\frac{T_s}{8} \right]$	$-\frac{\sqrt{2}+1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}-1}{2}$	$\left[7\frac{T_s}{8}, T_s \right]$	$\frac{\sqrt{2}+1}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}-1}{2}$



Şekil 2.31. Veri ve pilot alt taşıyıcıların grafiksel görünümü [40]

Şekil 2.32'de AltBOC (15,10) modülasyonunun frekans spektrumu gösterilmiştir.



Şekil 2.32. AltBOC (15,10) frekans spektrumu [28]

2.7.3.4. Galileo’da kullanılan modülasyon tekniklerine genel bir bakış

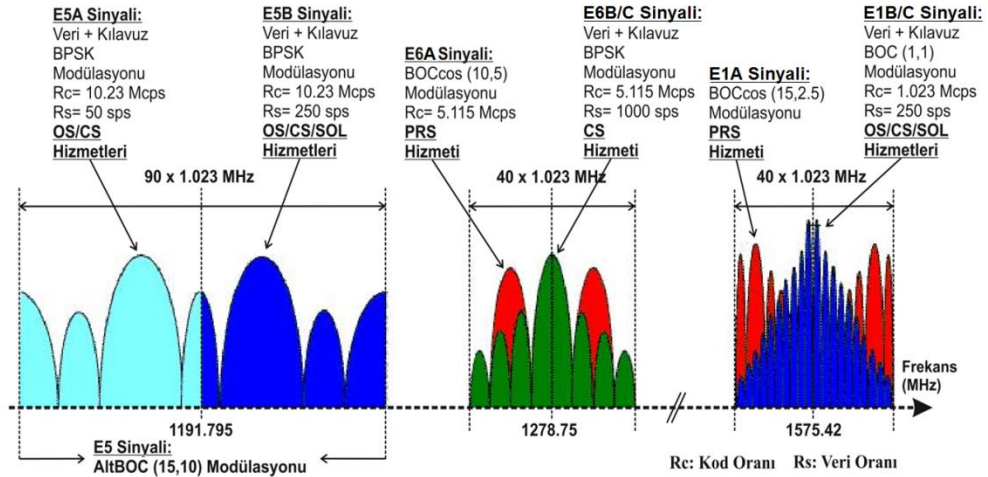
Galileo’da E1, E5 ve E6 sinyalleri için kullanılması planlanan modülasyon teknikleri Çizelge 2.11’de özet olarak verilmiş ve Şekil 2.33’te grafiksel olarak gösterilmiştir. Galileo için öngörülen hizmet tiplerine göre sinyal parametreleri ise Çizelge 2.12’de detaylandırılmıştır.

Çizelge 2.11. Sinyal özellikleri [41]

Sinyal	PRN Kod	Kanal	Kod Oranı $\left(\frac{1}{T_c}\right)$	Modülasyon Tekniği
E1	E1A	Veri	f_0	$BOC \cos (15, 2.5)$
	E1B	Veri	$f_0/2$	$MBOC (6, 1, 1/11)$
	E1C	Pilot	$f_0/10$	$MBOC (6, 1, 1/11)$
E6	E6A	Veri	f_0	$BOC \cos (10, 5)$
	E6B	Veri	$f_0/2$	$BPSK (5)$
	E6C	Pilot	$f_0/10$	$BPSK (5)$
E5	E5a-I	Veri + Pilot	f_0	$BPSK (10)$
	E5a-Q	Pilot	f_0	$BPSK (10)$
	E5b-I	Veri + Pilot	f_0	$BPSK (10)$
	E5b-Q	Pilot	f_0	$BPSK (10)$

f_0 : Ana frekans (10.23 MHz)

T_c : Çip periyodu



Şekil 2.33. Galileo sinyali ve kullanılan modülasyon çeşitleri [42]

Çizelge 2.12. Galileo sinyal parametreleri [43]

Hizmet	E1		E5		E6	
	OS	PRS	OS/CS	CS/SOL	CS	PRS
Modülasyon	BOC/CBOC	BOC	AltBOC		BPSK	BOC
Kod Oranı [Mcps]	1.023	2.5575	10.23		5.115	5.115
Alt taşıyıcı [MHz]	1.023	15.335	15.335		-	10.23
Veri Hızı [bps]	250	100	50	250	1000	100
Bant Genişliği [MHz]	16.368	40.92	92.07		10.23	30.69
Taşıyıcı [MHz]	15575.42		1176.45	1207.14	1278.75	

2.8. Galileo Kod Üretimi

Galileo’da yayınlanan kodlar (spreading code) üretilirken GPS’te olduğu gibi Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA-Code Division Multiple Access) tekniği kullanılmaktadır.

Uydulardan yayınlanan sinyaller tasarlanırken birbirinden farklı uyduların sinyalleri arasındaki etkileşimleri önlemek gerekir. Bu sayede alıcılar farklı uydulardan gelen sinyalleri ayırt edebileceklerdir. CDMA tekniği, aynı frekans bandına birbirinden farklı veri mesajlarının yüklenmesine izin vermektedir. Bu sayede farklı uydulardan aynı frekans bandı üzerinden birbirinden farklı veri mesajlarının yayınlanması sağlanmaktadır [8].

Her bir Galileo sinyalinin katmanlı kod periyot uzunluğu, birincil ve ikincil kod çipleri ve şifreleme özelliği Çizelge 2.13'te gösterilmiştir [43]. Katmanlı kodlar, Galileo uydularında üretilen kodların çeşitliliğini arttırmak için kullanılmaktadır.

Çizelge 2.13. Galileo kod uzunlukları [43]

Sinyal	Katmanlı Kod Periyodu (ms)	Kod Uzunlukları (Çip)		Şifreleme
		Birincil	İkincil	
E1-A	10	25575	-	Var
E1-B	4	4092	-	-
E1-C	200	8184	200	-
E5a-I	20	10230	20	-
E5a-Q	100	10230	100	-
E5b-I	4	10230	4	-
E5b-Q	100	10230	100	-
E6-A	12	51150	-	Var
E6-B	1	5115	-	Var
E6-C	100	10230	50	Var

2.8.1. Kod üretiminde kullanılan elemanlar

2.8.1.1. XoR kapısı

Girişindeki işaretler birbirinden farklı olduğu zaman çıkış değerini 1 diğer tüm durumlarda 0 değerini veren mantıksal işlem kapısıdır (Çizelge 2.14). XoR işleminin matematiksel ifadesi Eşitlik (2.31)'de gösterilmiştir [44].

$$A \text{ xor } B = A'B + AB' \quad (2.31)$$

Çizelge 2.14. XoR kapısı [44]

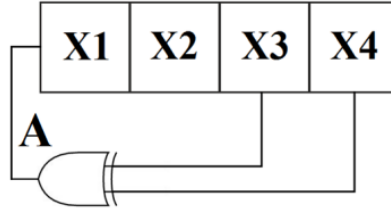
A	B	Çıkış	A	B	Çıkış
0	0	0	1	0	1
0	1	1	1	1	0

2.8.1.2. Doğrusal geri beslemeli kaymalı kaydediciler

Doğrusal Geri Beslemeli Kaymalı Kaydediciler (LFSR-Linear Feedback Shift Registers) birçok anahtar dizisi üreticinde kullanılmaktadır. Bunun nedeni

donanımsal uygulamalarda uygunlukları, geniş periyoda sahip olmaları, üretilen serinin iyi istatistiksel özellikler göstermesi ve cebirsel tekniklerle kolayca analiz edilebilmeleridir [45]. Sistemin genel yapısı XoR kapısıyla beraber Şekil 2.34'te örnek olarak gösterilmiştir. LFSR, ikili tabandaki sayılar üzerinden çalışır ve aşağıda maddeler halinde verilen üç adımdan oluşur:

- Mevcut sayılar üzerinden yeni bir sayı üreten fonksiyonun çalışması,
- Mevcut sayıların kaydırılması ve açılan boşluğa bir önceki adımda elde edilen fonksiyon sonucunun yerleştirilmesi,
- İlk adım tekrar edilerek bir sonraki sayının üretilmesi.

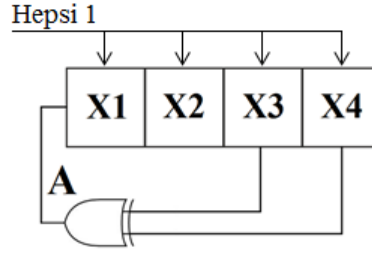


Şekil 2.34. LFSR devresi örneği

Şekil 2.34'te görüldüğü üzere örnek olarak verilen bir LFSR devre elemanı dört bitten oluşmaktadır. Bu sistemin ilk geri besleme adımında gerçekleşen eleman atamaları aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- $A = X3 \text{ XoR } X4$
- $X4 = X3$
- $X3 = X2$
- $X2 = X1$
- $X1 = A$ 'dır.

İlk geri besleme adımında bütün bitler birer kere sağa kaydırılır ve en başta açılan boşluğa sistemde tanımlı olan $A = X3 \text{ XoR } X4$ değeri atanır. Bir LFSR devresinin oluşturabileceği maksimum dizi sayısı $2^n - 1$ denklemi ile bulunur. Buna göre dört elemanlı bir LFSR devresi için maksimum dizi miktarı 15 olacaktır [46]. Başlangıç değeri her zaman 1 olacak şekilde alındığında (Şekil 2.35), elde edilecek 15 tane 4 bitten oluşan dizi Çizelge 2.15'te verilmiştir.



Şekil 2.35. Örnek bir LFSR için başlangıç değerlerine 1 ataması

Çizelge 2.15. Başlangıç değeri 1 için LFSR'nin 4 bitlik çip dizisi

	X1	X2	X3	X4		X1	X2	X3	X4
1.Tur	1	1	1	1	9.Tur	1	1	0	0
2.Tur	0	1	1	1	10.Tur	0	1	1	0
3.Tur	0	0	1	1	11.Tur	1	0	1	1
4.Tur	0	0	0	1	12.Tur	0	1	0	1
5.Tur	1	0	0	0	13.Tur	1	0	1	0
6.Tur	0	1	0	0	14.Tur	1	1	0	1
7.Tur	0	0	1	0	15.Tur	1	1	1	0
8.Tur	1	0	0	1					

Eğer kaymalı kaydedici bir tur sayısı ile sınırlı ise üretilen dizi belirlenen tur sayısına ulaştığı zaman durur ve başlangıç değerleri yeniden kaydedicilere yüklenir.

2.8.1.3. Sayı sistemleri ve birbirlerine dönüşümleri

Uyduların elektronik devrelerinde ikili (Binary) sayı sistemi kullanılmaktadır. Ancak uydular üzerinde üretilen sinyallerin başlangıç değerleri olan kaynak kodları, sekizli (Oktal) ve onaltılı (Heksadesimal) sayı sisteminde ifade edilmektedir. Uydularda üretilen sinyallere yüklenecek seyrüsefer mesajlarının ikili sayı sistemlerine dönüştürülmesi için de 7 bitlik Bilgi Değişimi için Amerikan Standart Kodlama Sistemi (ASCII- American Standard Code for Information Interchange) kullanılmaktadır. Bu kapsamda çalışmanın bu bölümünde kaynak kodlarının sayı sistemi dönüşümleri aşağıda maddeler halinde kısaca açıklanmıştır.

- **Sekizli sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüşüm:**

Sekizli sayı sistemleri, ikili sayı sistemlerine dönüştürülürken 3 bitlik ikili sayı sistemi olarak ifade edilirler. Bu dönüşüm işlemi, Çizelge 2.16’da verilmiş ve dönüşüm işleminin matematiksel gösterimine ait örnek bir ifade (2.32)’de gösterilmiştir.

$$(2\ 5\ 1\ 0\ 6)_8 = (010\ 101\ 001\ 000\ 110)_2 \quad (2.32)$$

Çizelge 2.16. Sekizli sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüşüm [47]

Sekizli Sayı Sistemi	0	1	2	3	4	5	6	7
İkili Sayı Sistemi	000	001	010	011	100	101	110	111

- **Onaltılı sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüşüm:**

Onaltılı sayı sistemleri, ikili sayı sistemlerine dönüştürülürken 4 bitlik ikili sayı sistemi olarak ifade edilirler. Bu dönüşüm işlemi, Çizelge 2.17’de verilmiş ve dönüşüm işleminin matematiksel gösterimine ait örnek bir ifade (2.33)’de gösterilmiştir.

$$(0\ A\ 8\ F)_8 = (0000\ 1010\ 1000\ 1111)_2 \quad (2.33)$$

Çizelge 2.17. Onaltılı sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüşüm [47]

Onaltılı Sayı Sistemi	0	1	2	3	4	5	6	7
İkili Sayı Sistemi	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111
Onaltılı Sayı Sistemi	8	9	A	B	C	D	E	F
İkili Sayı Sistemi	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111

- **ASCII kodlarının ikili sayı sistemine dönüşümü:**

ASCII kod dizilimi, sistemler arasında bilgi alış verişinin sağlanması için kullanılmaktadır [47]. Bu doğrultuda ASCII kod diziliminde verilen her bir karakter 7 bitlik ikili sayı sistemine dönüştürülmektedir. ASCII kod dizilimdeki her bir karakterin 7 bitlik ikili sayı sistemi dönüşümleri Ek-1’de verilmiş ve bu kodlardan bazıları Çizelge 2.18’de örnek olarak gösterilmiştir.

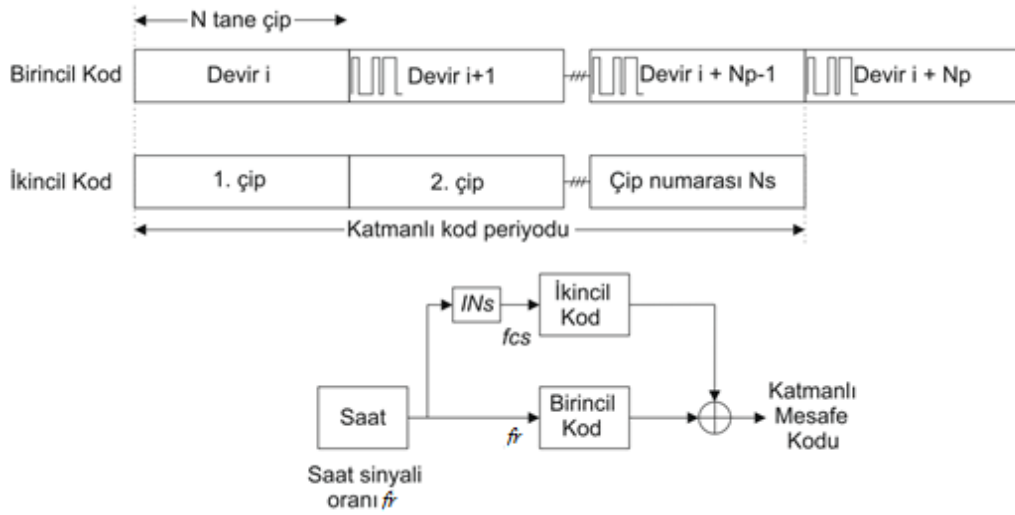
Çizelge 2.18. ASCII kodlarının 7 bitlik ikili sayı sistemine dönüşüm örnekleri [47]

ASCII Kodları	!	0	A	a	%
İkili Sayı Sistemi	0100001	0110000	1000001	1100001	0100101

2.8.2. Katmanlı kodlar

Galileo uyduya dayalı seyrüsefer sisteminde katmanlı kodlar, birincil ve ikincil kod üretimi, uydulara kod ataması ve E1-E5-E6 sinyallerin üretilmesi ile ilgili bölümler Avrupa Birliği tarafından yayınlanan “Galileo Open Service Signal in Space Interface Control Document” [18]’den yararlanılarak açıklanmıştır [18].

Galileo’da birincil ve ikincil olmak üzere iki tip kod üretimi söz konusudur. Yayınlanan kodlar, ikincil kod dizisinin birincil kod periyotlarının ardışık tekrarlarını değiştirmek üzere kullanılmasıyla oluşturulur (Şekil 2.36).



Şekil 2.36. Katmanlı kod üretim adımları [18]

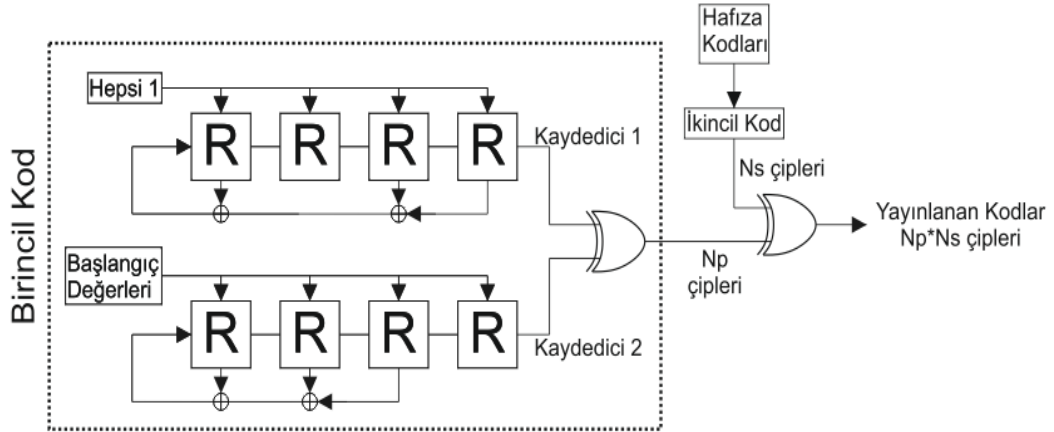
Birincil kod uzunluğu Np , çip oranı f_r , ikincil kod uzunluğu Ns ve çip oranı $f_{cs} = f_r/Np$ ’dir. Şekilde görüldüğü üzere ikincil kod çipleri, birincil kodlar ile sırasıyla eleman elemana XoR işlemine tabi tutulmaktadır ve daima her bir birincil kod dizilimine karşılık ikincil kodun bir çipi birincil kod diziliminin uzunluğu kadar genişletilerek işleme alınmaktadır [18].

2.8.2.1. Birincil kod üretimi

Birincil kodlar, ya sözde gürültü dizisi (pseudo-noise sequences) esaslı LFSR ya da sözde gürültü dizisinin en iyilenmesi yöntemi kullanılarak iki şekilde üretilebilir. En iyilenmiş kodların hafızada saklanması gerekmektedir. Bu nedenle

bu kodlar genellikle “hafıza kodları” olarak adlandırılırlar. Kod esaslı kaydediciler, uygun uzunlukta kesilmiş olan iki M -dizinin kombinasyonlarını üretmektedir.

İki LFSR'nin çıkışlarından elde edilen kod dizilimlerinin istenilen uzunlukları alındıktan sonra bu iki kod dizilimi XoR işlemine tutulmaktadır (Şekil 2.37).



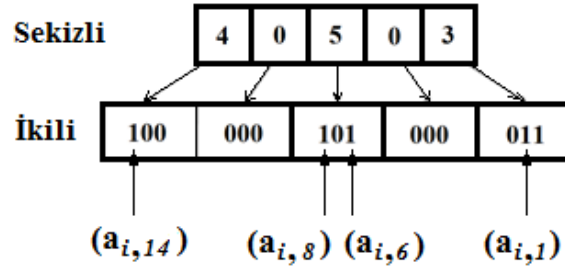
Şekil 2.37. Sadeleştirilmiş yayınlanan kodu üretim şeması

Çalışmanın bu bölümünde E5 sinyali için birincil kod özellikleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Galileo E5 sinyalinin her bir bandındaki Kaymalı Kaydedici uzunlukları, kaydedici 1 ve kaydedici 2 için geri beslemenin yapılacağı bacak numaraları ile Çizelge 2.19'da verilmiştir.

Çizelge 2.19. E5 birincil kod özellikleri

Sinyal Bileşenleri	Kaymalı Kaydedici Uzunlukları	Geri Besleme Bacakları (oktal)	
		Kaydedici 1	Kaydedici 2
E5a-I	14	40503	50661
E5a-Q	14	40503	50661
E5b-I	14	64021	51445
E5b-Q	14	64021	51445

Burada öncelikle sekizli sayı sisteminde verilen sayılar, ikili sayı sistemine dönüştürülür. Bu dönüşüm işlemi Şekil 2.38'de E5a-I ve E5a-Q sinyal bileşenlerindeki kaydedici 1 değeri için örnek olarak verilmiştir.



Şekil 2.38. E5a-I ve E5a-Q için kaydedici 1'in sekizli sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüşümü ve geri besleme bacakları

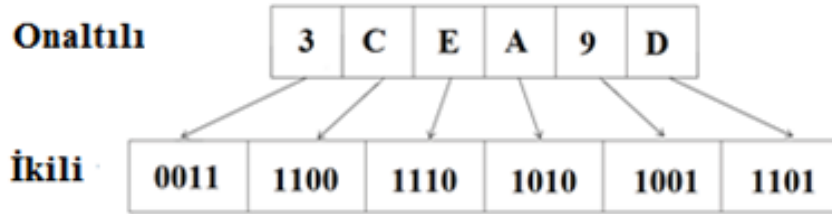
Şekilde görüldüğü üzere 40503'ün ikili sayı sistemindeki karşılığı 100000101000011'dir. Bu sayının ilk değeri en büyük değerlikli sayı (MSB-Most Significant Bit) ve son değeri de en küçük değerlikli sayı (LSB-Least Significant Bit) olarak adlandırılmaktadır. Bu sayı matematiksel olarak $\{a_{i,j}\}$ ile gösterilebilir. Burada j değeri ($j=1, \dots, R$) bit sayısını temsil etmektedir. Dolayısıyla R , kod kaydedici uzunluğudur. Bit değerleri, sağdan sola doğru LSB ($j=0$)'den başlar ve MSB ($j=R$)'ye kadar gider. Kaydedici numaraları hesaplanırken LSB değeri dikkate alınmamaktadır. Bu durumda E5a-I için kaydedici 1 geri besleme basamakları [14, 8, 6, 1] olmaktadır. Benzer şekilde E5a-I ve E5a-Q ile E5b-I ve E5b-Q sinyal bileşenleri için kaydedici 1 ve kaydedici 2 değerlerinin sekizli sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüşümleri ve geri besleme bacakları Çizelge 2.20'de verilmiştir.

Çizelge 2.20. E5 alt sinyal bantlarında kaydedici-1 ve kaydedici-2 için geri besleme bacakları

Sinyal Bileşeni	Kaydedici Numarası	Sekizli Sayı Sistemi Formatı	İkili Sayı Sistemi Formatı	Elde Edilen Geri Besleme Bacakları
E5a-I ve E5a-Q	1	40503	100000101000011	14,8,6,1
E5b-I ve E5b-Q	1	64021	110100000010001	14,13,11,4
E5a-I ve E5a-Q	2	50661	101000110110001	14,12,8,7,5,4
E5b-I ve E5b-Q	2	51445	101001100100101	14,12,9,8,5,2

Şekil 2.37'de de görüldüğü üzere kaydedici 1'lerin başlangıç değerleri her zaman 1 olmaktadır. E5a-I, E5a-Q, E5b-I ve E5b-Q sinyal bileşenleri için kaydedici 2 başlangıç değerlerine ve dizilerine ait kod atamalarının detaylarına "Galileo Open Service Signal in Space Interface Control Document [18]" dokümanından ulaşılabilir.

E5a-I için kaydedici 2'nin 30305 olan sekizli sayı sistemindeki başlangıç değeri ikili sayı sisteminde 011000011000101'dir. Bu sayı matematiksel olarak $s_{i,j}$ ile gösterildiğinde j kaydedicilerin sayısını temsil etmektedir. Bit değerleri sağdan sola doğru sayılmaktadır ve başlangıç değerleri hesaplanırken MSB değeri dikkate alınmamaktadır. Bu durumda E5a-I için kaydedici 2'nin başlangıç değeri 11000011000101'dir. E5a-I sinyal bileşeni için kaydedici 2'nin başlangıç dizi değerlerinin onaltılı sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüşümü Şekil 2.39'da örnek olarak gösterilmiştir. Oluşturulan bu ikili sayı sistemi dizisi, kaydedici 2'nin oluşturduğu dizinin başına konulmaktadır.



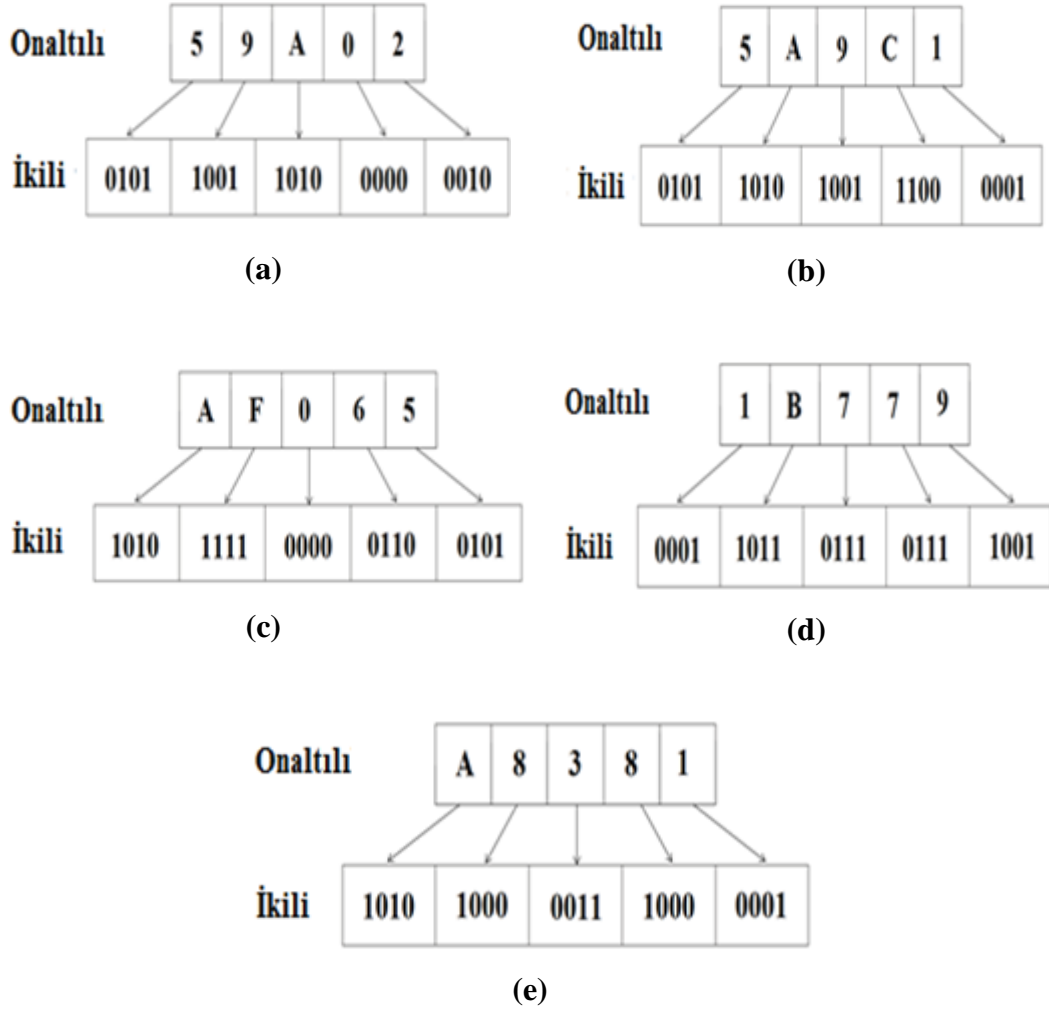
Şekil 2.39. E5a-I kaydedici 2'nin başlangıç dizisinin onaltılı sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüşümü

2.8.2.2. İkincil kod üretimi

İkincil kodlar, sabit yani değişmeyen dizilerdir ve onaltılı sayı sisteminde tanımlanmışlardır. Bu kodların hepsi belirli bir sinyale tahsis edilir. Her bir uyduda üretilen ve onaltılı sayı sisteminde tanımlanan ikincil kod dizilerine “Galileo Open Service Signal in Space Interface Control Document [18]” dokümanından ulaşılabilir.

Bu kodlardan örnek olarak $CS100_3$ kod dizisi ele alınmıştır. Buna göre CS kodun ikincil kod olduğunu, 100 rakamı o kodun sahip olduğu çip sayısını ve indis olarak gösterilen 3 rakamı da o kodun $CS100$ 'e bağlı kaçınıcı kod olduğunu temsil etmektedir.

$CS100_3$ kod dizisinin onaltılı sayı sistemindeki karşılığı 59A025A9C1AF0651B779A8381'dir. Bu kod dizisinin ikili sayı sistemine dönüşümü gösterim kolaylığı açısından Şekil 2.40 (a), (b), (c), (d) ve (e)'de beşerli gruplar şeklinde gösterilmiştir.



Şekil 2.40. CS100₃ kod dizisinin onaltılı sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüşümü

İkincil kodların amacı birincil kodların üzerinde değişiklik yapmaktır. Örnek olarak E5b-I sinyali incelendiğinde, birincil çip uzunluğu (N_p) 10230 ve ikincil çip uzunluğu (N_s) 4' tür. Bunlara bağlı olarak katmanlı kod uzunluğu 4 ms ve çip oranı 10.230 Mcps'dir. Toplam dizi uzunluğu ise 10230 çip x 4 çip = 40920 çip olarak hesaplanmaktadır. Kısacası toplam çip sayısı, ikincil kodun her bir çipi ile birincil kodun bütün çipleri çarpılarak bulunmaktadır ($N_s \cdot N_p$).

E1, E5 ve E6 sinyal bileşenlerine göre kod atamaları Çizelge 2.21'de gösterilmiştir. 4, 20 ve 25 bitlik ikincil kodlar, ilgili tüm birincil kodlar ile aynı kod dizilimini kullanılırken, 100 bitlik ikincil kod için her bir birincil koda bağımsız bir ikincil kod atanmaktadır.

Çizelge 2.21. İkincil kod ataması

Sinyal Bileşenleri	İkincil Kod Ataması	Sinyal Bileşenleri	İkincil Kod Ataması
E5a-I	CS20 ₁	E6-B	N/A
E5a-Q	CS100 ₁₋₅₀	E6-C	CS100 ₁₋₅₀
E5b-I	CS4 ₁	E1-B	N/A
E5b-Q	CS100 ₅₁₋₁₀₀	E1-C	CS25 ₁

E5a-I, E5a-Q, E5b-I ve E5b-Q sinyal bileşenlerinin birincil ve ikincil kodlarının, uydu kimliklerine (SVID-Space Vehicle IDs) atanmasında kullanılan kodlara “Galileo Open Service Signal in Space Interface Control Document [18]” dokümanından ulaşılabilir.

2.9. Galileo Sinyal Üretimi

Galileo uyduya dayalı seyrüsefer sisteminde veri iletimi amacıyla E5, E6 ve E1 sinyal bantları tahsis edilmiştir. Bu kapsamda çalışmanın bu bölümünde belirlenen sinyal bantlarında sinyal üretim işlemlerinin matematiksel adımları açıklanmıştır.

2.9.1. E5 sinyali

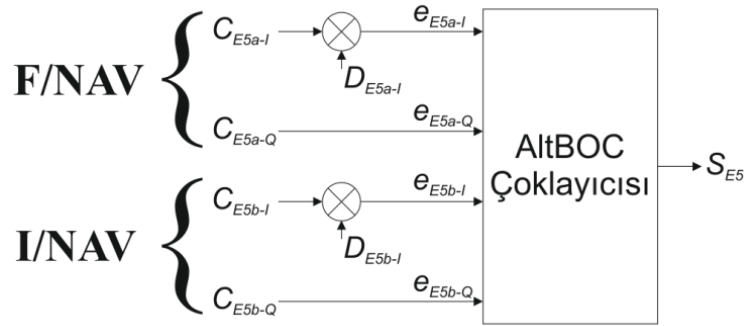
Galileo E5 sinyali, E5a ve E5b sinyallerinden oluşur ve 1164 – 1215 MHz bant aralığında yayınlanır. E5a ve E5b sinyallerinin ortak üretimi bazı avantajlar sunmaktadır. Bu avantajlar şu şekilde açıklanmaktadır;

- Korelasyon kayıpları düşüktür.
- Geniş bir bant aralığında iletim nedeniyle hassasiyet artmaktadır. Tek sinyal bandını kullanan alıcılar için maliyet düşük olmasına rağmen çift bant kullanıcıları açısından performans artışı söz konusu olmaktadır.
- Bir hizmet için sadece bir frekans bandı tanımlı iken belirli koşullarda ikinci bir frekans bandı kullanılabilir. Bu sayede hizmet esnekliği sağlanmaktadır [48].

E5 bandında yeni seyrüsefer sinyallerinin yayınlanması için AltBOC modülasyonu kullanılır. AltBOC (10,15) modülasyonunda E5 sinyali modüle edilerek iki ayrı yan bant haline dönüştürülür. Oluşturulan bu iki yan bant dört farklı kanaldan yayın yapar. Yayınlanan bu sinyaller E5a-I, E5a-Q, E5b-I ve E5b-Q sinyalleridir. E5 sinyali mesafe kodu çip oranı ve sembol oranı Çizelge 2.22’de gösterilmiştir. E5 sinyalinin AltBOC modülasyonu ile üretiminin genel yapısı Şekil 2.41’de verilmiştir.

Çizelge 2.22. E5 çip ve sembol oranları

Sinyal (X Parametresi)	Bileşen (Y Parametresi)	Mesafe Kodu Çip Oranı RC, X-Y (Mchip/s)	Sembol Oranı RD, X-Y (sembol/s)
E5a	I	10.230	50
	Q	10.230	Veri yok (pilot bileşen)
E5b	I	10.230	250
	Q	10.230	Veri yok (pilot bileşen)



Şekil 2.41. E5 sinyali üretim şeması

Şekil 2.41’de verilen AltBOC çoklayıcısına gelen sinyal bileşenlerinden $C_{X-Y}(t)$ ikili mesafe kodu, $D_{X-Y}(t)$ ise ikili sayı sistemi seyrüsefer mesaj sinyalini temsil etmektedir. İndeks değeri olarak gösterilen X, ilgili taşıyıcı (E5a veya E5b) ve Y, X sinyalindeki sinyal bileşeni (I veya Q)’dir [21].

D_{E5a-I} ve D_{E5b-I} veri kanalları sırasıyla saniyede 50 ve 250 sembol ile yayın yaparlar. E5 sinyal bileşenleri aşağıda maddeler halinde açıklanan kriterlere göre üretilir:

- e_{E5a-I} , D_{E5a-I} 'nın şifresiz mesafe kodu C_{E5a-I} ile modüle edilmesiyle,
- e_{E5a-Q} , şifresiz mesafe kodu C_{E5a-Q} 'dan,
- e_{E5b-I} , D_{E5b-I} 'nın şifresiz mesafe kodu C_{E5b-I} ile modüle edilmesiyle ve
- e_{E5b-Q} , şifresiz mesafe kodu C_{E5b-Q} 'den elde edilir.

AltBOC çoklayıcısında işleme alınan bu sinyal bileşenlerinin matematiksel ifadeleri Eşitlik (2.34)'te verilmiştir.

$$\begin{aligned}
e_{E5a-I}(t) &= \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \left[c_{E5a-I,|i|_{L_{E5a-I}}} \cdot d_{E5a-I,[i]_{D_{C_{E5a-I}}}} \text{rect}_{T_{C,E5a-I}}(t-i \cdot T_{C,E5a-I}) \right] \\
e_{E5a-Q}(t) &= \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \left[c_{E5a-Q,|i|_{L_{E5a-Q}}} \cdot \text{rect}_{T_{C,E5a-Q}}(t-i \cdot T_{C,E5a-Q}) \right] \\
e_{E5b-I}(t) &= \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \left[c_{E5b-I,|i|_{L_{E5b-I}}} \cdot d_{E5b-I,[i]_{D_{C_{E5b-I}}}} \text{rect}_{T_{C,E5b-I}}(t-i \cdot T_{C,E5b-I}) \right] \\
e_{E5b-Q}(t) &= \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \left[c_{E5b-Q,|i|_{L_{E5b-Q}}} \cdot \text{rect}_{T_{C,E5b-Q}}(t-i \cdot T_{C,E5b-Q}) \right]
\end{aligned} \tag{2.34}$$

Burada $|i|_L$ i sayısının L ile olan bağlantısını, $\text{rect}_T(t)$ dikdörtgen fonksiyonu ($0 < t < T$ için 1'e, diğer her durum için 0'a eşittir.), $T_{C,X-Y}$ mesafe kodu çip uzunluklarını ve $d_{X-Y,k}$ seyrüsefer mesajının k 'nci sembolünü göstermektedir [21].

E5a ve E5b sinyalleri, alıcı tarafından 1176.45 MHz ve 1207.14 MHz taşıyıcı frekansları ile iki ayrı QPSK sinyaliymiş gibi de bağımsız bir şekilde işleme tabi tutulabilir. AltBOC modülasyonu içerisinde verilen Eşitlik (2.19)'daki sinyal bileşenleri yerine (2.34)'te verilen e_{E5a-I} , e_{E5a-Q} , e_{E5b-I} ve e_{E5b-Q} 'nun matematiksel ifadeleri yazılarak geniş bant E5 sinyali $S_{E5}(t)$ 'nin genel denklemi şu şekilde gösterilmektedir.

$$\begin{aligned}
S_{E5}(t) &= \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(e_{E5a-I}(t) + j e_{E5a-Q}(t) \right) \left[s_{C_{E5-S}}(t) - j s_{C_{E5-S}}(t - T_{S,E5}/4) \right] + \\
&\frac{1}{2\sqrt{2}} \left(e_{E5b-I}(t) + j e_{E5b-Q}(t) \right) \left[s_{C_{E5-S}}(t) + j s_{C_{E5-S}}(t - T_{S,E5}/4) \right] + \\
&\frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\bar{e}_{E5a-I}(t) + j \bar{e}_{E5a-Q}(t) \right) \left[s_{C_{E5-P}}(t) - j s_{C_{E5-P}}(t - T_{S,E5}/4) \right] + \\
&\frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\bar{e}_{E5b-I}(t) + j \bar{e}_{E5b-Q}(t) \right) \left[s_{C_{E5-P}}(t) + j s_{C_{E5-P}}(t - T_{S,E5}/4) \right]
\end{aligned} \tag{2.35}$$

Burada eşitlikte verilen sinyal parametreleri; $T_{s,x}$, alt taşıyıcı periyodu ve $sc_{x-y}(t)$, ikili (binary) alt taşıyıcıyı temsil etmektedir. (2.35)'te yer alan \bar{e}_{E5a-I} , \bar{e}_{E5a-Q} , \bar{e}_{E5b-I} ve \bar{e}_{E5b-Q} sinyal bileşenleri Eşitlik (2.36)'da verilmiştir [21].

$$\begin{aligned}
\bar{e}_{E5a-I} &= e_{E5a-Q}e_{E5b-I}e_{E5b-Q} \\
\bar{e}_{E5a-Q} &= e_{E5a-I}e_{E5b-I}e_{E5b-Q} \\
\bar{e}_{E5b-I} &= e_{E5b-Q}e_{E5a-I}e_{E5a-Q} \\
\bar{e}_{E5b-Q} &= e_{E5b-I}e_{E5a-I}e_{E5a-Q}
\end{aligned} \tag{2.36}$$

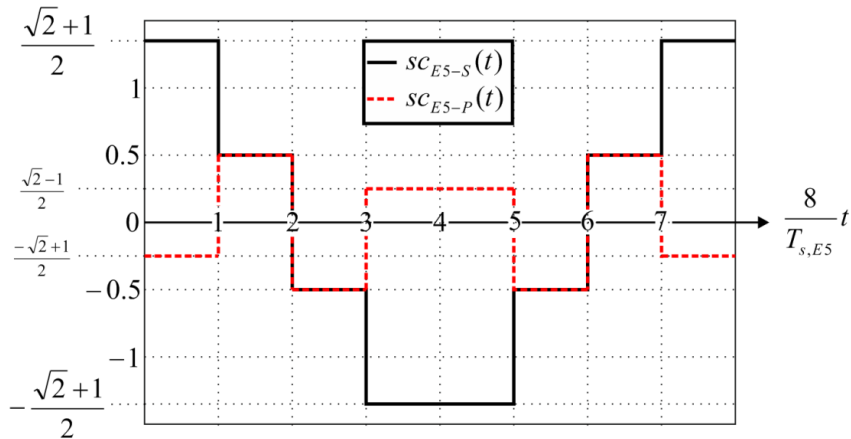
sc_{E5-S} ve sc_{E5-P} parametreleri, dört değerli alt taşıyıcı fonksiyonlarını ifade etmektedir ve üretilen sinyallerin matematiksel gösterimi Eşitlik (2.37)'de verilmiştir.

$$\begin{aligned}
sc_{E5-S}(t) &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} AS_{|i|_8} \text{rect}_{T_{s,E5}/8}(t - iT_{s,E5}/8) \\
sc_{E5-P}(t) &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} AP_{|i|_8} \text{rect}_{T_{s,E5}/8}(t - iT_{s,E5}/8)
\end{aligned} \tag{2.37}$$

AS_i ve AP_i katsayıları, Çizelge 2.23'te verilmiştir. sc_{E5-S} ve sc_{E5-P} alt taşıyıcı fonksiyonlarının bir periyodu Şekil 2.42'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 2.23. AltBOC alt taşıyıcı katsayıları

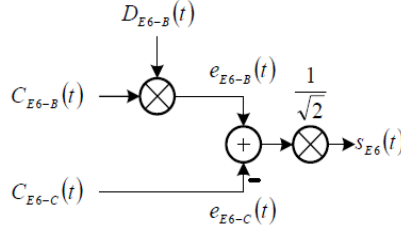
i	0	1	2	3	4	5	6	7
$2AS_i$	$\sqrt{2} + 1$	1	-1	$-\sqrt{2} - 1$	$-\sqrt{2} - 1$	-1	1	$\sqrt{2} + 1$
$2AP_i$	$-\sqrt{2} + 1$	1	-1	$\sqrt{2} - 1$	$\sqrt{2} - 1$	-1	1	$-\sqrt{2} + 1$



Şekil 2.42. İki alt taşıyıcı fonksiyonun bir periyodu [18]

2.9.2. E6 sinyali

E6 sinyal üretiminin genel şeması Şekil 2.43'te gösterilmiştir.



Şekil 2.43. E6 sinyali için modülasyon şeması

E6 sinyalindeki B ve C bileşenleri aşağıda maddeler halinde açıklanan kriterlere göre üretilir:

- e_{E6-B} , D_{E6-B} 'nin şifreli mesafe kodu C_{E6-B} ile modüle edilmesiyle,
- e_{E6-C} Pilot bileşeni ise mesafe kodu C_{E6-C} 'den elde edilir.

Bu bileşenlerin matematiksel ifadesi (2.38)'de verilmiştir.

$$e_{E6-B}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \left[c_{E6-B,|i|_{L_{E6-B}}} \cdot d_{E6-B,[i]_{D_{C_{E6-B}}}} \cdot \text{rect}_{T_{C,E6-B}}(t - i \cdot T_{C,E6-B}) \right]$$

$$e_{E6-C}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \left[c_{E6-C,|i|_{L_{E6-C}}} \cdot \text{rect}_{T_{C,E6-C}}(t - i \cdot T_{C,E6-C}) \right]$$
(2.38)

E6 sinyali, e_{E6-B} ve e_{E6-C} ikili sayı sistemi bileşenleri ile Eşitlik (2.39)'da verilen denkleme göre üretilir. Bu eşitlikten anlaşılacağı üzere veri ve pilot bileşenleri aynı taşıyıcı üzerinde birleştirilmiştir ve gereken gücü yarı yarıya paylaşmaktadır. E6 sinyalinin B ve C bileşenlerinin mesafe kod çip ve sembol oranları Çizelge 2.24'te verilmiştir.

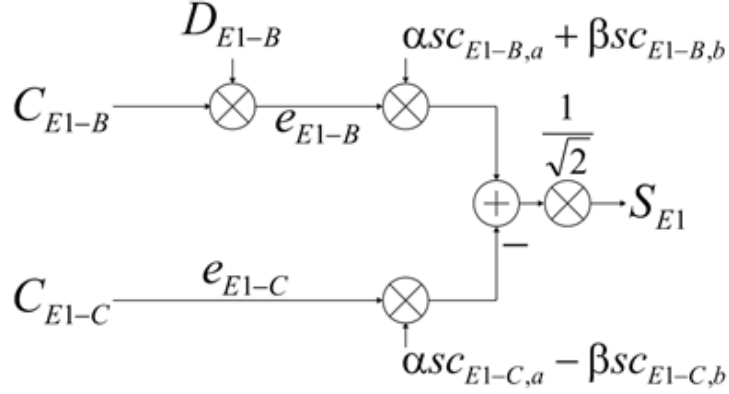
$$S_{E6}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} [e_{E6-B}(t) - e_{E6-C}(t)]$$
(2.39)

Çizelge 2.24. E6 çip ve sembol oranları

Bileşen (Parametre Y)	Mesafe kod çip Oranı	Sembol Oranı
	$R_{C,E6-Y}$ (MChip/s)	$R_{D,E6-Y}$ (sembol/s)
B	5.115	1000
C	5.115	Veri yok (pilot bileşen)

2.9.3. E1 sinyali

E1 sinyal üretiminin genel şeması Şekil 2.44'te gösterilmiştir.



Şekil 2.44. E1 sinyali için modülasyon şeması

E1 sinyalinde B ve C bileşenleri aşağıda maddeler halinde verilen kriterlere göre üretilir:

- e_{E1-B} , D_{E1-B} ve mesafe kodu C_{E1-B} 'in modüle edilmesi ile elde edilir. Daha sonra elde edilen e_{E1-B} ve alt taşıyıcı bileşen olan $\alpha sc_{E1-B,a} + \beta sc_{E1-B,b}$ modülasyon işlemine tabi tutulur.
- e_{E1-C} pilot bileşeni elde edilirken mesafe kodu C_{E1-C} ve alt taşıyıcı $\alpha sc_{E1-C,a} - \beta sc_{E1-C,b}$ ile modülasyon işlemine tabi tutulur.

e_{E1-B} ve e_{E1-C} matematiksel ifadeleri Eşitlik (2.40)'ta verilmiştir.

$$e_{E1-B}(t) = \begin{cases} \sum_{i=-\infty}^{+\infty} [c_{E1-B,|i|_{L_{E1-B}}} \cdot d_{E1-B,|i|_{D_{E1-B}}} \cdot \text{rect}_{T_{C,E1-B}}(t - i \cdot T_{C,E1-B}) \cdot \\ \text{sign}[\sin(2\pi \cdot R_{S,E1-B} \cdot t)] \end{cases} \quad (2.40)$$

$$e_{E1-C}(t) = \begin{cases} \sum_{i=-\infty}^{+\infty} [c_{E1-C,|i|_{L_{E1-C}}} \cdot \text{rect}_{T_{C,E1-C}}(t - i \cdot T_{C,E1-C}) \cdot \\ \text{sign}[\sin(2\pi \cdot R_{S,E1-C} \cdot t)] \end{cases}$$

E1 sinyali, $e_{E1-B}(t)$ ve $e_{E1-C}(t)$ ikili sayı sistemi bileşenleri ile Eşitlik (2.41)'de verilen matematiksel denkleme göre üretilmektedir. Buradan

anlaşılacağı üzere E6 sinyaline benzer şekilde veri ve pilot bileşenleri aynı taşıyıcı üzerinde birleştirilmiştir ve gereken gücü yarı yarıya paylaşmaktadır.

$$S_{E1}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} e_{E1-B}(t) (\alpha s_{C_{E1-B,a}}(t) + \beta s_{C_{E1-B,b}}(t)) \\ e_{E1-C}(t) (\alpha s_{C_{E1-C,a}}(t) - \beta s_{C_{E1-C,b}}(t)) \end{pmatrix}$$

$$s_{C_X}(t) = \text{sgn}(\sin(2\pi R_{s,X} t)) \quad (2.41)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{10}{11}} \quad \beta = \sqrt{\frac{1}{11}}$$

E1 sinyalinin B ve C bileşenlerinin mesafe kod çip, alt taşıyıcı ve sembol oranları Çizelge 2.25’de verilmiştir.

Çizelge 2.25. E1 SoL CBOC çip ve alt taşıyıcı oranları

Bileşen (Parametre Y)	Alt Taşıyıcı Çeşidi	Alt Taşıyıcı Oranı		Mesafe kod çip Oranı $R_{C,E1-Y}$ (Mcps)
		$R_{S,E1-Y,a}$ (MHz)	$R_{S,E1-Y,b}$ (MHz)	
B	CBOC, fazda	1.023	6.138	1.023
C	CBOC, Zıt fazda	1.023	6.138	1.023

2.10. Galileo Sistem Performans Değerlendirmesi

Günümüzde kara, hava ve deniz taşımacılığında gerek ekonomik açıdan, gerekse güvenilirlik açısından değerlendirildiğinde yüksek doğrulukta hizmet sağlamaları nedeni ile küresel uydu seyrüsefer sistemlerinin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Bu doğrultuda halen geliştirilme aşamasında olan Galileo’nun tam operasyonel sistemler olarak kullanılmakta olan GPS ve GLONASS ile birlikte kullanılabilir olması küresel uydu seyrüseferine önemli katkılar sağlayacaktır [49].

Çizelge 2.26’da GPS ve Galileo sistemleri teknik özellikleri, sinyal yapısı ve diğer bazı işlevleri açısından karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 2.26. GPS ve Galileo sistemlerinin karşılaştırılması [50,51]

	Özellikler	GPS	GALILEO
Teknik Özellikler	Uydular (MEO + GEO)	24+0	30+0
	Yörünge Sayısı	6	3
	Ekvatorla açı	55°	56°
	Yörünge yüksekliği	20.180 km	23.222 km
	Seyrüsefer Hizmetleri (Sivil Bantlarda)	SPS (Standart Konum Belirleme Hizmeti)	OS, CS
Sinyal Özellikleri	Kodlama Tekniği	CDMA	CDMA
	Modülasyon Tekniği	BPSK+BOC	BPSK+BOC+AltBOC
	Data Oranı (Sivil Bantlar)	50 bps, 100 sps'a kadar	50 bps, 1000 sps'a kadar
	Hata Miktarı (Sivil Bantlar)	5-20 m	1 m'ye kadar
	Hizmet Bantları	L1, L2, L5	E1, E5, E6
Diğer Özellikler	Kontrol	Askeri	Sivil
	Ücret	Yok	Bazı Hizmetlerinde
	İletişim Fonksiyonu	Yok	Çift Yönlü

Galileo hizmet garantisi, küresel bütünlük ve hizmet performansı açısından incelendiğinde kullanıcılar açısından öngörülen belli başlı avantajlar aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

- *Hizmet Garantisi:* GPS sistemi ücretsiz bir hizmet olmasına rağmen şimdiye kadar kullanıcılara herhangi bir garanti verilememiştir. Galileo sisteminde ise özellikle ticari ve yaşam emniyeti hizmetlerinde doğruluk, mevcutluk, süreklilik ve bütünlük gibi gerekli seyrüsefer parametrelerinin sağlanacağı teminatı verilmektedir. Teknik olarak bu hizmet garantisi, sistemin normal koşullar altında operasyonel olduğunun veya sistemde oluşan bir hata durumunda alarm bilgisinin bütünlük bilgisi ile kullanıcılara sağlanabilmesidir. Bu hizmet teminatına Galileo operatörü, servis sağlayıcılar ve son kullanıcılar arasında yapılan yasal anlaşmalar ile erişilebilecektir.

- *Küresel Bütünlük:* Uydulardan gönderilen sinyaller şayet kullanılabilir değilse Galileo sistemi kullanıcıları uarmaktadır. Bir hata meydana gelmesi

durumunda 6 saniye gibi bir sürede alarm mesajı oluşturmaları sayesinde özellikle sivil havacılık ve demiryolu taşımacılığında genel olarak emniyet artırılabilecektir. Buna ek olarak bölgesel ve yerel hizmetler vasıtasıyla da daha hassas bütünlük bilgisi gereksinimleri de karşılanabilecektir. Galileo küresel bütünlük bilgisi, kullanıcılara Uzayda Sinyal Doğruluğu (SISA- Signal in Space Accuracy) ve Bütünlük İşaretleri (IF-Integrity Flags) olarak tanımlanan iki tip veri ile sağlanabilecektir. SISA, gönderilen menzil bilgisindeki belirsizliğin tahmin edilmesinde kullanılacaktır. IF ile de örneğin kategori I hassas yaklaşımları için 6 sn gibi çok kısa bir gecikme zamanı ile kullanıcılara hata bildirimini sağlanabilecektir. Her bir uydu için IF bilgisi, SISA'nın uygun olup olmadığını diğer bir deyişle uydunun kullanılabilir durumda olup olmadığı bilgisini içermektedir.

• *Geliştirilmiş Hizmet Performansı:* Galileo sinyalleri taşımacılık dışında farklı uygulama alanlarında da kullanılmak üzere oldukça yüksek sinyal gücünde tasarlanmıştır. Bu sayede sistem için öngörülen avantajlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- GPS sistemine göre daha yüksek veri oranının kullanılması ve bütünlük bilgisi sayesinde SAR sinyali ve sınırlı ticari verinin yayınlanmasına imkân sağlanacaktır.
- L5 bandına göre daha geniş bant aralığına sahip olan E5A + E5B ile doğruluk artacaktır.
- Sinyal gücünün artırılmış olması sayesinde kapalı alanlardaki uygulamaları da destekleyecektir.
- Büyük ölçüde geliştirilmiş olan iyonosfer modelleme teknikleri ile tek frekanslı kullanıcılar için de konum belirleme hassasiyetinde yüksek doğruluk sağlanacaktır.
- GPS ile karşılaştırıldığında Galileo sinyalleri daha fazla frekans üzerinden yayınlanacaktır ve
- Oluşturulan yetki denetim mekanizması sayesinde operatörün ve kullanıcıların güvenliği arttırılacaktır [52].

Öngörülen hizmetlere göre Galileo sisteminin hizmet performansı Çizelge 2.27'de özet olarak verilmiştir.

Çizelge 2.27. Galileo hizmet performansları [53]

Kapsama	Açık Hizmet	Ticari Hizmet		Kamu Asayiş Hizmeti		Yaşam Emniyeti Hizmeti
	Küresel	Küresel	Yerel	Küresel	Yerel	Küresel
Doğruluk Yatay (H) Dikey (V)	Çift Frekans H=4 m V=8 m Tek Frekans H=15 m V=35 m	Çift Frekans < 1 m	< 10 cm yerel olarak genişletilmiş sinyaller	H=6.5 m V=12 m	1 m yerel olarak genişletilmiş sinyaller	Çift Frekans 4 - 6 m
Mevcutluk	% 98.8	% 98.8		% 99 - 99.9		% 98.8
Bütünlük	Hayır	Evet		Evet		Evet

Galileo sisteminin GPS'e göre avantajları şu şekilde özetlenebilir:

- Galileo, tüm güvenlik tedbirlerini içerecek şekilde askeri olmayan uygulamalar için tasarlanmış ve geliştirilmiş bir sistem özelliği taşımaktadır. Özellikle askeri uygulamalar için tasarlanan GPS sisteminden farklı olarak yüksek düzeyde süreklilik gerektiren bazı hizmetler için karşılıklı sözleşme esasına dayanmaktadır.

- GPS sistemi ile benzer teknolojiye sahip olsa da gerek uyduların yerleşimi, gerekse planlanan yer esaslı kontrol ve yönetim yapısı ile daha yüksek doğruluk ve hassasiyet sağlaması öngörülmektedir.

- Herhangi bir hata durumunda kullanıcılara kısa bir süre içerisinde bütünlük mesajı gönderebilecek olmasıyla daha yüksek güvenilirliktedir. Buna ek olarak özellikle yüksek enlemlerde kalan bölgelerde de Galileo sinyallerini almak mümkün olacaktır.

- GPS sinyalleri son yıllarda planlı veya sistemde oluşan arızalar nedeniyle plansız bir şekilde herhangi bir uyarı olmadan kullanım dışı kalmıştır. Galileo sisteminin hizmet sürekliliği ise belirli uygulamalar için garanti altına alınmıştır.

Sonuç olarak Galileo sistemi tamamen aktif hale geçtiğinde GPS sistemi ile beraber kullanılabilir. Bu sayede kullanıcılar aynı alıcı üzerinden hem

GPS hem de Galileo sinyallerini alabileceklerdir. Sistemlerin alt yapılarının birbirleriyle koordineli kullanılması sayesinde iki sistemden herhangi biri kullanım dışı kalsa dahi kullanıcılar hizmet almaya devam edebilecek ve gerek hassasiyet gerekse emniyet açısından önemli avantajlar sağlanacaktır [54].

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Galileo halen gelişim göstermekte olan uyduya dayalı bir seyrüsefer sistemidir. Bu bölümde çalışmanın amacı kapsamında yapılan literatür araştırması, Galileo sinyal üretimi ve sinyal demodülasyonu olarak iki ayrı başlık altında ele alınmıştır. Sistemin alıcı ve verici bölümleri için yapılan araştırmalar sinyal bandlarına, hizmetlere ve kullanılan modülasyon tekniklerine göre sınıflandırılarak Çizelge 3.1’de özet olarak verilmiştir.

3.1. Galileo Sinyal Üretimi Literatür Araştırmaları:

Subedi, P. (2013); çalışmasında iki farklı yazılım uygulamasını analiz etmiştir. Bunlardan ilki Matlab Simulink E1-E5 modelinde üretilen Galileo E5 sinyalinin elde edilmesi ve izlenmesi, diğeri ise Finnish Geodetic Institute (FGI) vasıtasıyla uydulardan alınan gerçek zamanlı Galileo E5b sinyalleridir. Simulink uygulamasında E5 sinyali farklı kanal profilleriyle üretilmiş ve çoğaltılmıştır. Alınan sinyaller, elde edilen ve izlenen sinyallerle test edilerek sonuçlar farklı kanal profilleri ve taşıyıcı-gürültü yoğunluk oranı açısından karşılaştırılmıştır. Benzer şekilde dört uydudan gerçek zamanlı Galileo sinyalleri alınmıştır. Her iki uygulamada da bazı frekanslarda keskin göze çarpan bir üçgen şeklinde pikler gözlenmiştir [2].

Ucar, A. (2010); çalışmasında uyduya dayalı seyrüsefer sistemleri için alt örnekleme etkilerini hem sistem hem de devre seviyesinde dengeleyebilecek yeterlilikte yeni bir CT- $\Delta\Sigma$ modülatör önerisi getirmiştir. Aynı zamanda önerilen CT- $\Delta\Sigma$ modülatörü esasına dayanarak GNSS uygulamaları için alt-örneklem alıcı yapısı ortaya konulmuştur. Simülasyon sonuçlarının önerilen alıcı yapısı ile sivil kullanıcılar için radyo seyrüsefer sinyallerinin başarılı bir şekilde elde edilebileceği ve izlenebileceğini gösterdiği açıklanmıştır [43].

Robustelli, U. ve ark. (2009); çalışmalarında Galileo sisteminde kullanılan BOC modülasyonu üzerinde durmuşlardır. Bu modülasyon tekniği, hem alıcı hem de verici performansları açısından incelenmiştir. Galileo E5 sinyalinde kullanılan AltBOC modülasyonu açıklanarak, bu sinyal için gerekli olan sinyal işleme teknikleri üzerinde durulmuştur [48].

Gao, G.X. ve ark. (2008 ve 2006); 2008 yılında yapmış oldukları çalışmada tüm frekans bandlarında GIOVE-B uydusunun yayınının alınması ve PRN kodlarının çözülmesi sonucu elde edilen sonuçları ortaya koymuşlardır. Burada PRN kod bitlerinin elde edilmesinin yanı sıra kod üreteçleri de türetilmiş ve sonuç bölümünde GIOVE-B sinyalleri ile GIOVE-A sinyalleri karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar 2006 yılındaki çalışmalarında ise GIOVE-A test uydusundan yayınlanan L1 ve E6 sinyallerini analiz etmişlerdir. Burada PRN kodları elde edilerek, Galileo kod üreteçlerine tersine mühendislik yöntemi uygulanmıştır. Bu sayede kod dizilerinin elde edilmesinin yanı sıra kod üreteçlerinin yapısı da ortaya konulmaktadır [55, 56].

Aguilar, J.J.B. (2003); çalışmasında GPS ve Galileo sistemleri için bir sinyal üretici geliştirmiştir. Bu sinyal üretici, Galileo sinyal performansını farklı verici konfigürasyonları, algoritmaları ve teknikleri açısından değerlendirmek üzere prototip olarak kullanılmış ve daha ileri yazılım uygulamaları için ilk tasarım oluşturulmuştur. Bu sinyal üreticinin yüksek işlemci hızı sayesinde daha etkin olacağı ve bu sayede de gerçek zamanlı sinyal üreticisine imkan sağlanabileceği vurgulanmıştır [57].

3.2. Galileo Sinyal Demodülasyonuna Ait Literatür Araştırmaları:

Kovář, P. ve ark. (2012); çalışmalarında üç farklı E5 sinyal işleme metodunu analiz ederek karşılaştırmışlardır. Bu sinyal işleme metotları sırasıyla şu şekilde ifade edilmiştir; E5 sinyalinin tümünün optimum işlenmesi, E5a ve E5b bileşenlerinin parçalı işlenmesi ve ekonomik sinyal işleme. Ekonomik sinyal işleme tekniği ve alıcı yapısının tasarımı bu çalışmanın ana amacını oluşturmaktadır. Üç farklı alıcı ve sinyal işleme tekniği için pseudorange gürültü ve yansıma gibi performans parametrelerini karşılaştırmış olup, önerdikleri ekonomik E5 alıcısında pseudorange gürültü standart sapmasının optimal E5 alıcı performansından % 10-20 daha fazla olduğunu ancak parçalı ölçüm yapılan alıcı performansından daha iyi olduğunu saptamışlardır [58].

Macchi, F. (2010); çalışmasında GPS ve Galileo L1 sinyallerinin elde edilmesi ve izlenmesi ele almış ve aynı uydudan alınan sinyalleri bir araya toplamaya imkân sağlayan yeni teknikleri ortaya koymuştur. Önerilen yeni sinyal elde etme ve izleme teknikleri, bu sinyallerin herbirine adapte edilmiş ve daha sonra hataları azaltmak ve doğruluğu artırmak üzere bu sinyaller alıcıda farklı aşamalarda bir araya getirilmiştir [59].

Sleewaegen, J.M. ve ark. (2010); bu çalışmada AltBOC (15, 10) sinyalinin alıcıda izlenmesine odaklanılmıştır. Bu doğrultuda AltBOC modülasyonu ve demodülasyonu temel prensibi açıklanarak, hem kod hem de taşıyıcı sinyal üzerinde gürültü ve yansıma hataları incelenmiştir. Ayrıca E5 bandında iyonosferik etkiden dolayı sinyal bozulması analiz edilmiştir [60].

Blunt, P. (2007); çalışmasında yeni nesil GNSS (GPS modernizasyonu ve Galileo) sistemlerinin etkilerini analiz etmeyi ve olası yeni yaklaşımlarla yeni sistemlerden avantaj sağlamak üzere alıcı yapısında gerekli ilerlemeleri belirlemeyi amaçlamıştır. Alıcı tekniklerinin karşılaştırmasını sağlamak amacıyla BOC modüleli sinyalin elde edilmesi ve izlenmesi gerçekleştirilmiştir. Çoklayıcıların nasıl uygulanacağı ve alıcılarda ne gibi bir yaklaşım kullanılacağı analiz edilerek verici ve alıcı yapıları üzerinde karmaşık çoklayıcı planlamaların etkisi değerlendirilmiştir. Son olarak BOC modüleli ve yüksek bant genişliğine sahip olan sinyallerin potansiyel yararları ve problemlerinin değerlendirilmesi yapılmıştır [61].

Pany, T. ve ark. (2003); çalışmalarında seyrüsefer sinyallerinin izlenmesi sırasında kullanılan ve örneklenen sinyalin yeniden düzgün bir şekilde geri elde edilebilmesi için örnekleme frekansının örneklenen işaretin frekansının en az iki katı olması gerektiğini tanımlayan Nyquist kriterine gerek olmadığını göstermişlerdir. Bunu konum bilgisi için seyrüsefer mesajının tümünün (PRN kod diziliminin) elde edilmesi yerine oto korelasyon ile sinyalin yapılandırılmasının yeterli olacağı şeklinde ifade etmişlerdir. Sonuç olarak araştırmacılar, GPS ve Galileo sinyallerinin (yüksek bant genişliğindeki) düşük bir örnekleme ile izlenebileceğini vurgulamışlardır [62].

Çizelge 3.1. Galileo sistemi sinyal üretimi ve demodülasyonu üzerine yapılan literatür araştırması.

	Yazar	Makale Başlığı	GNSS Sistemleri	Seyrüsefer Mesajı	PRN	Sinyal Bantları			Hizmetler					Modülasyon Teknikleri				Yıl							
						E5	E6	E1	OS	CS	SOL	PRS	SAR	BOC	AltBOC	CBOC	MBOC			BPSK	QPSK				
1	Prakash Subedi	Software Simulator and Signal Analysis For Galileo E5 Band Signals	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓							2013	VERICI				
2	Alper Ucar	A Subsampling Delta - Sigma Modulator For Global Navigation Satellite Systems	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓		2010		VERICI			
3	Umberto Robustelli, Salvatore Gaglione, Raffaele Santamaria ve Mario Vultaggio	Galileo signal design: State of Art							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					2009			VERICI		
4	Grace Xingxin Gao, Dennis Akos, Todd Walter ve Per Enge	Understanding the GIOVE-B Broadcast Codes of the Galileo System			✓	✓		✓												2008				VERICI	
5	Grace Xingxin Gao, Jim Spilker, Todd Walter ve Per Enge	Code Generation Scheme and Property Analysis of Broadcast Galileo L1 and E6 Signals					✓	✓												2006					VERICI
6	Juan José Borrás Aguilar	Development of a GALILEO Signal Simulator			✓			✓							✓			✓	✓	2003						VERICI
7	Pavel KOVÁŘ, Petr KAČMARÍK ve František VEJRAŽKA	Economic Galileo E5 Receiver				✓														2012	ALICI				
8	Florence Macchi	Development and Testing of an L1 Combined GPS-Galileo Software Receiver	✓	✓				✓	✓			✓	✓	✓		✓				2010		ALICI			
9	Jean-Marie Sleewaegen, Wim De Wilde ve Martin Hollreiser	Galileo AltBOC Receiver				✓									✓					2010			ALICI		
10	Paul Blunt	Advanced Global Navigation Satellite System Receiver Design	✓											✓				✓		2007				ALICI	
11	Thomas Pany, Bernd Eissfeller ve Jón Winkel	Tracking of High Bandwidth GPS/Galileo Signals with a Low Sample Rate Software Receiver	✓																	2003					ALICI

4. GALILEO E5 SİNYALİ ÜRETİMİ VE SİMÜLASYONU

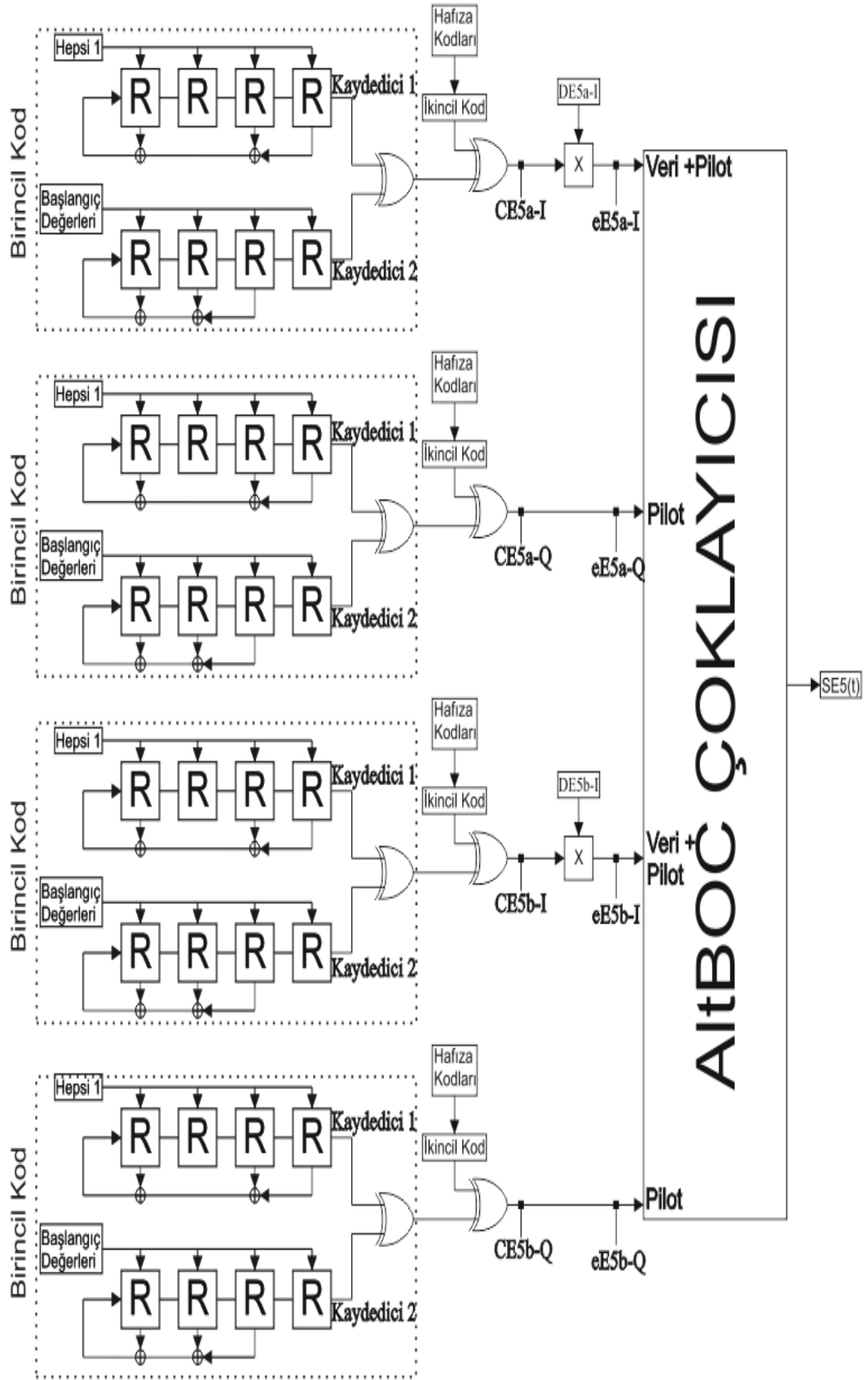
Çalışmanın 2. Bölümünde Galileo sisteminin genel yapısı, frekans bantları, modülasyon teknikleri ve sinyal üretimi ile ilgili detaylı bilgi verilmiştir. Bu bölümde çalışmanın amacı kapsamında uygulama alanı olarak seçilen E5 sinyalinin üretilmesi ile ilgili işlem adımları, elde edilen sinyalin demodülasyon işlemi ve geliştirilen kullanıcı arayüzü detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Galileo sistemi için gerçekleştirilecek bir uygulama aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

- Galileo simülasyonu için gerekli olan matematiksel denklemlerin çıkarılması,
- Sinyal bandının seçilmesi,
- Modülasyon seçimi,
- Verilerin yazılıma aktarılması ve
- Kullanıcı arayüzü tasarımı

Bu çalışmada E5 sinyal bandında şifreleme yapılmaması, Galileo sistemine ait en karmaşık sinyal yapısının E5 bandında olması, AltBOC modülasyonu gibi yeni nesil bir modülasyon tekniğinin kullanılması ve 2. Bölümde sinyal bandının sunduğu diğer avantajlar göz önünde bulundurularak uygulama alanı olarak E5 sinyali seçilmiştir. Bu kapsamda 2. Bölümde açıklanan birincil kod üretimi ve E5 sinyali ile ilgili bilgiler çerçevesinde Şekil 2.37 ve Şekil 2.41’de verilen sistem yapıları birleştirilerek Galileo E5 sinyalinin üretimi için genel bir akış şeması oluşturulmuştur (Şekil 4.1).

Şekil 4.1’de de görüldüğü üzere E5 sinyalinin üretimindeki ilk aşama öncelikle kaydedici 1 ve kaydedici 2’ler tarafından oluşturulan dizilerin XoR işlemine tabi tutularak birincil kod diziliminin oluşturulması ile başlamaktadır. Daha sonra onaltılı sayı sisteminde tanımlanan hafıza kodlarının ikili sayı sistemine dönüştürülerek ikincil kod dizilimi oluşturulur. Üretilen bu birincil ve ikincil kod dizilerinin XoR işlemine tabi tutulmasıyla da C_{E5a-I} , C_{E5a-Q} , C_{E5b-I} ve C_{E5b-Q} mesafe kod dizilimleri elde edilir.



Şekil 4.1. Galileo E5 sinyali üretim şeması

Bu dizilimlerden sadece C_{E5a-I} ve C_{E5b-I} seyrüsefer mesaj sinyali olan D_{E5a-I} ve D_{E5b-I} ile çarpılır ve AltBOC çoklayıcısının girişleri olan e_{E5a-I} , e_{E5a-Q} , e_{E5b-I} ve e_{E5b-Q} elde edilir. Bu doğrultuda Galileo E5 sinyalinin üretim adımları genel olarak üç aşamada özetlenebilir. Bunlar;

- C_{E5} kod dizilimlerinin üretimi,
- e_{E5} kod dizilimlerinin üretimi,
- AltBOC modülasyonu ve E5 sinyallerinin elde edilmesi.

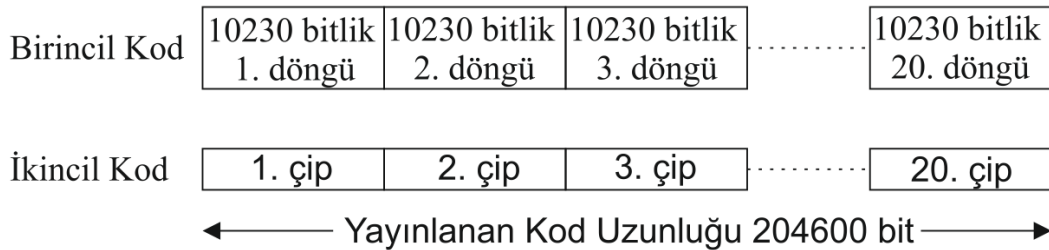
Çalışmanın bu bölümünde yukarıda belirtilen üretim adımları ayrı başlıklar altında detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

4.1. C_{E5} Kod Dizilimlerinin Üretimi

Galileo E5 sinyali üretilirken ilk kısımda toplamda dört farklı C_{E5} kod dizilimi üretilmektedir. Bu kod dizilimleri C_{E5a-I} , C_{E5a-Q} , C_{E5b-I} ve C_{E5b-Q} 'dur. Her bir C_{E5} kod dizilimi, birincil ve ikincil kod dizilimlerinin XoR işlemine tabi tutulması sonucunda elde edilir.

4.1.1. C_{E5a-I} kod dizilimi

$E5a-I$ kod dizilimi bileşeni için birincil kod çip uzunluğu 10230 bit (N_p), ikincil kod çip uzunluğu (N_s) 20 bit ve yayınlanan kod (spreading code) periyodu 20 ms'dir (Çizelge 2.13). Buradan hareketle yayınlanan kod uzunluğu $10230 \times 20 = 204600$ çip olarak hesaplanmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. C_{E5a-I} yayınlanan kod uzunluğu

Çizelge 4.1. *E5a-I* kaydedici 1 ve kaydedici 2 geri besleme bacakları

Kaydedici 1	Sekizli Sayı Sistemi	40503
	İkili Sayı Sistemi	100000101000011
	Geri Besleme Bacakları	$f(x) = 1 + x^1 + x^6 + x^8 + x^{14}$
Kaydedici 2	Sekizli Sayı Sistemi	50661
	İkili Sayı Sistemi	101000110110001
	Geri Besleme Bacakları	$f(x) = 1 + x^4 + x^5 + x^7 + x^8 + x^{12} + x^{14}$

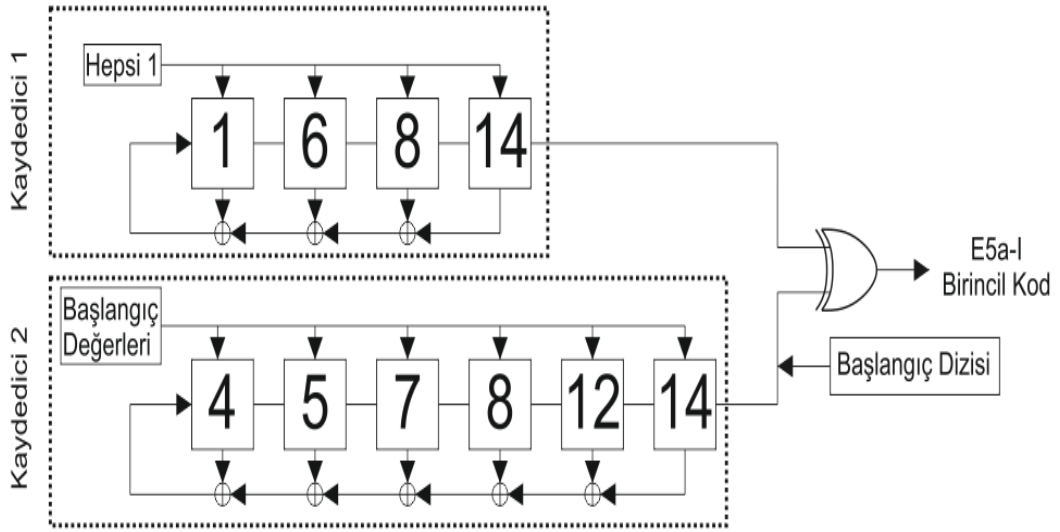
Elde edilen ikili sayı sistemi değerleri için daha önce açıklandığı üzere LSB değerleri dikkate alınmamaktadır. Elde edilen bu matematiksel denklemler, her bir kaydedicinin geri beslenecek bacaklarını temsil etmektedir. Kaydedici 1'lerin başlangıç dizileri her zaman [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1] olmaktadır.

Kaydedici 2'lerin başlangıç değerleri ve başlangıç dizileri [18] numaralı kaynaktan elde edilmiştir. Başlangıç değerlerinden 30305-14234 ile başlangıç dizilerinden 8CEA9D-9D8CF1 örnek olarak ele alınmış ve bu değerlerin sayı sistemi dönüşümleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. *E5a-I* kaydedici 2 başlangıç değerleri ve başlangıç dizileri örnekleri

Başlangıç Değerleri		24 bitlik başlangıç dizisi	
Sekizli Sayı Sistemi	İkili Sayı Sistemi	Onaltılı Sayı Sistemi	İkili sayı sistemi
30305	011000011000101	3CEA9D	001111001110101010011101
14234	001100010011100	9D8CF1	100111011000110011110001

Elde edilen ikili sayı sistemi değerleri için daha önce açıklandığı üzere MSB değerleri dikkate alınmamaktadır. *E5a-I* birincil kod dizileri elde edilirken kaydedici 2'den elde edilen dizilerin başına başlangıç dizileri onaltılı sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüştürülerek eklenmektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda *E5a-I* birincil kod dizisi üretim şeması Şekil 4.4' te gösterilmiştir.

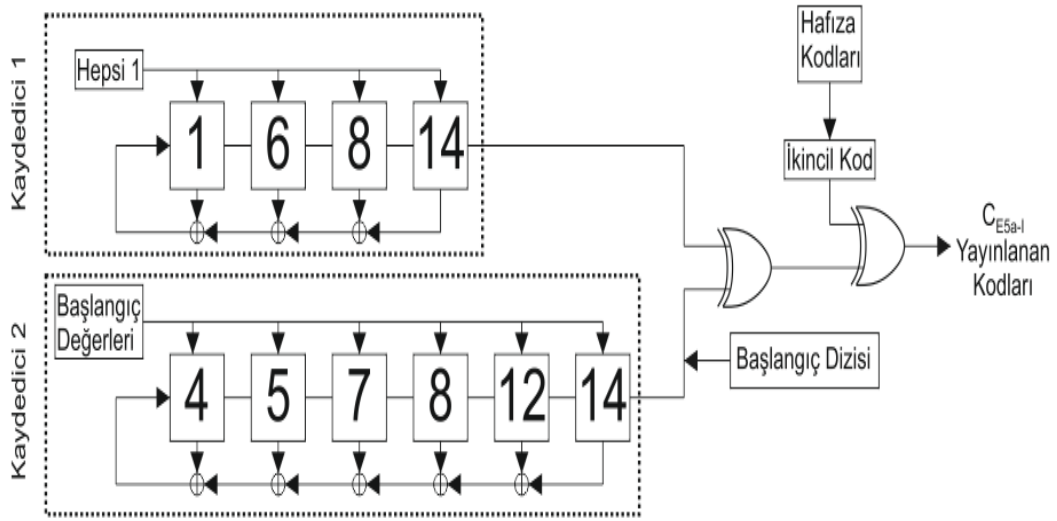


Şekil 4.4. $E5a-I$ birincil kod üretimi

Şekilde de görüldüğü üzere birincil kod dizileri oluşturulurken 14 bitlik iki tane doğrusal geri beslemeli kaymalı kaydedici kullanılmıştır ve bu kaydedicilerden elde edilen maksimum dizi uzunluğu, 10230 bit ile sınırlandırılmıştır. Kaydedici 2’den elde edilen 10230 bitlik dizinin başına 24 bitlik başlangıç dizileri eklenmiştir. Elde edilen kod dizisinin uzunluğu 10254 bit olmaktadır. Kod dizilerinin uzunluğu, Çizelge 2.13’ten de görüleceği üzere 10230 bit ile sınırlandırıldığı için 10230 bitten sonrası işleme tabi tutulmamaktadır. Dolayısıyla kaydedici 1 ve kaydedici 2’den elde edilen kod dizileri XoR işlemine tabi tutularak 10230 bitlik birincil kod dizileri elde edilmiştir.

4.1.1.2. C_{E5a-I} kod dizilimi için ikincil kod üretimi

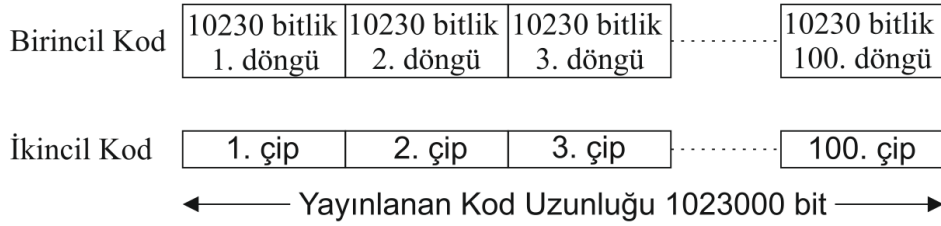
Onaltılı sayı sistemi olarak verilen ikincil kod dizileri [18] numaralı kaynaktan elde edilmiştir. Her bir sinyal bandına göre kod atamaları Çizelge 2.21’de verilmiştir. Buna göre $E5a-I$ ’nin ikincil kod ataması $CS20_1$ olmaktadır. $E5a-I$ için $CS20_1$ değerine karşı gelen, onaltılı sayı sistemindeki 842E9 kodunun ikili sayı sistemine dönüşümü “10000100001011101001” olarak bulunmaktadır. Şekil 4.5’te görüldüğü üzere C_{E5a-I} yayınlanan kod dizisinin elde edilmesi için bulunan birincil ve ikincil kodlar XoR işlemine tabi tutulur.



Şekil 4.5. C_{E5a-l} yayınlanan kod dizisi üretim şeması

4.1.2. C_{E5a-Q} kod dizilimi

$E5a-Q$ kod dizilimi bileşeni için birincil kod çip uzunluğu 10230 bit (N_p), ikincil kod çip uzunluğu (N_s) 100 bit ve yayınlanan kod (spreading code) periyodu 100 ms'dir (Çizelge 2.13). Buradan yayınlanan kod uzunluğu $10230 \times 100 = 1023000$ çip olarak hesaplanmaktadır (Şekil 4.6).

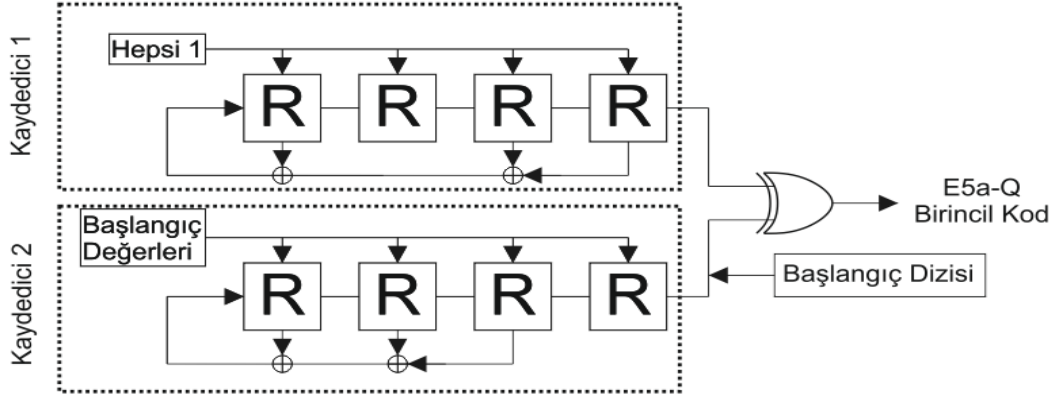


Şekil 4.6. C_{E5a-Q} yayınlanan kod uzunluğu

$E5a-Q$ yayınlanan kodu üretilirken ikincil kodun her bir bitine karşılık birincil kodun bir döngüsü karşılık gelmektedir. Bu işlemin matematiksel olarak yapılabilmesi için ikincil kodun her bir biti 10230 bit uzunluğuna genişletilmelidir. Bu sayede toplamda ikincil kod uzunluğu 1023000 bit olmaktadır. C_{E5a-Q} kod dizilimi, 1023000 bit uzunluğundaki birincil ve ikincil kodların XOR işlemine tabi tutulmasıyla elde edilmektedir.

4.1.2.1. C_{E5a-Q} kod dizilimi için birincil kod üretimi

$E5a-Q$ birincil kod üretim şeması Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. $E5a-Q$ birincil kod şeması

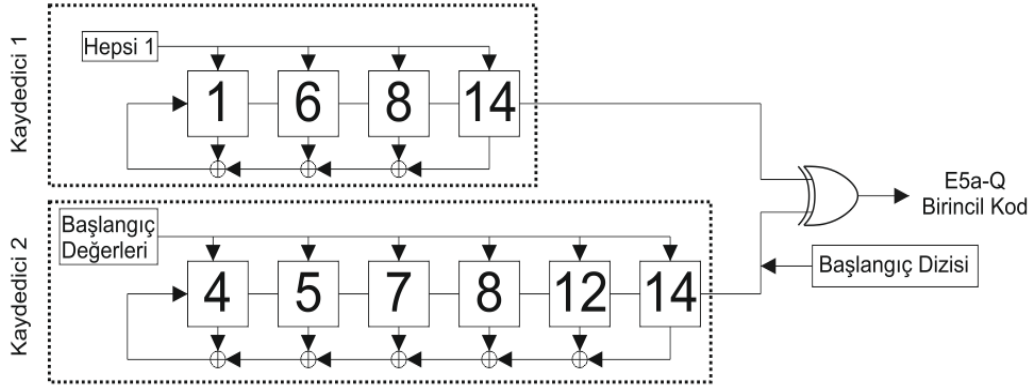
$E5a-Q$ kod dizilimi bileşeni için kaydedici 1 ve kaydedici 2 için geri besleme bacaları $E5a-I$ ile aynı olup, sekizli sayı sistemindeki değerleri sırasıyla 40503 ve 50661’dir. Dolayısıyla elde edilen geri besleme bacaları kaydedici 1 için [14, 8, 6, 1] ve kaydedici 2 için [14, 12, 8, 7, 5, 4]’tür.

Kaydedici 2’lerin başlangıç değerleri ve başlangıç dizileri [18] numaralı kaynaktan elde edilmiştir. Başlangıç değerlerinden 25652-05142 ile başlangıç dizilerinden 515537-D67539 örnek olarak ele alınmış ve bu değerlerin sayı sistemi dönüşümleri Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3. $E5a-Q$ kaydedici 2 başlangıç değerleri ve 24 bitlik başlangıç dizi örnekleri

Başlangıç Değerleri		24 bitlik başlangıç dizisi	
Sekizli Sayı Sistemi	İkili Sayı Sistemi	Onaltılı sayı sistemi	İkili sayı sistemi
25652	010101110101010	515537	0101000101010100110111
05142	000101001100010	D67539	110101100111010100111001

$E5a-Q$ birincil kod dizileri elde edilirken kaydedici 2’den elde edilen dizilerin başına başlangıç dizileri onaltılı sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüştürülerek eklenmektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda $E5a-Q$ birincil kod dizisi üretim şeması Şekil 4.8’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. E5a-Q birincil kod üretimi

Şekilde de görüldüğü üzere birincil kod dizileri oluşturulurken 14 bitlik iki tane doğrusal geri beslemeli kaymalı kaydedici kullanılmıştır ve bu kaydedicilerden elde edilen maksimum dizi uzunluğu, 10230 bit ile sınırlandırılmıştır. Kaydedici 2'den elde edilen 10230 bitlik dizinin başına 24 bitlik başlangıç dizileri eklenmiştir. Elde edilen kod dizisinin uzunluğu, 10254 bit olmaktadır. Kod dizilerinin uzunluğu Çizelge 2.13'ten de görüleceği üzere 10230 bit ile sınırlandırıldığından 10230 bitten sonrası işleme tabi tutulmamaktadır. Kaydedici 1 ve kaydedici 2'den elde edilen kod dizilerinin XoR işlemine tabi tutulmasıyla 10230 bitlik birincil kod dizileri elde edilmektedir.

4.1.2.2. C_{E5a-Q} kod dizilimi için ikincil kod üretimi

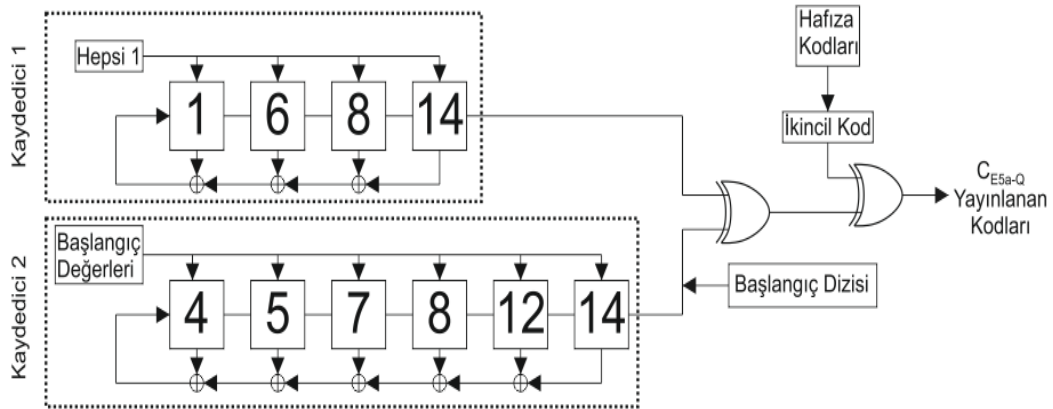
Onaltılı sayı sistemi olarak verilen ikincil kod dizileri [18] numaralı kaynaktan elde edilmiştir. Her bir sinyal bandına göre kod atamaları Çizelge 2.21'de verilmiştir. Buna göre E5a-Q'nun ikincil kod atamaları $CS100_{1-50}$ olmaktadır. E5a-Q için bu kod dizilimi her uyduda farklıdır.

Bu çalışmada Matlab programında toplamda 4 uydu üzerinden E5 sinyali üretildiği için 4 farklı uyduya ait ikincil kod dizileri kullanılmıştır. E5a-Q için [18] numaralı kaynaktan alınan ve onaltılı sayı sistemindeki değerleri kapalı formatta gösterilen ikincil kodların ikili sayı sistemine dönüştürülmüş biçimleri Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. $E5a-Q$ için seçilen 4 uyduya ait ikincil kod dizilerinin onaltılı sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüşümü

Uydu Numarası	Onaltılı Sayı Sistemi	İkili Sayı Sistemi
1. Uydu	8.....C	1000 0011 1111 0110 1111 0110 1001 1101 1000 1111 0110 1110 0001 0101 0100 0001 0001 1111 1011 1000 1100 1001 1011 0001 1100
2. Uydu	6.....5	0110 0110 0101 0101 1000 1011 1101 0011 1100 1110 0000 1100 0111 0111 1001 0010 1110 1000 0011 0011 0101 0000 0101 0010 0101
3. Uydu	5.....1	0101 1001 1010 0000 0010 0101 1010 1001 1100 0001 1010 1111 0000 0110 0101 0001 1011 0111 0111 1001 1010 1000 0011 1000 0001
4. Uydu	D.....7	1101 0011 1010 0011 0010 0110 0100 0000 0111 1000 0010 1111 0111 1011 0001 1000 1110 0100 1101 1111 0111 0101 0100 1011 0111

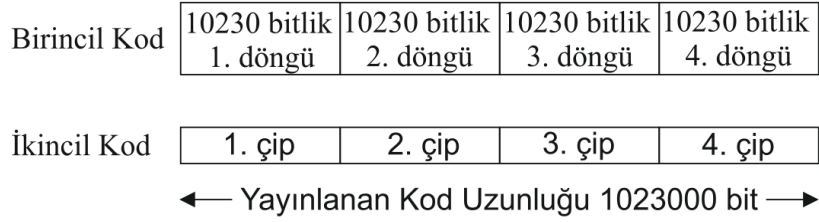
Şekil 4.9’da görüldüğü üzere C_{E5a-Q} yayınlanan kod dizisi birincil ve ikincil kodların XoR işlemine tabi tutulmasıyla elde edilmektedir.



Şekil 4.9. C_{E5a-Q} yayınlanan kod dizisi üretim şeması

4.1.3. C_{E5b-I} kod dizilimi

$E5b-I$ kod dizilimi bileşeni için birincil kod çip uzunluğu 10230 bit (N_p), ikincil kod çip uzunluğu (N_s) 4 bit ve yayınlanan kod (spreading code) periyodu 4 ms’dir (Çizelge 2.13). Buradan hareketle yayınlanan kod uzunluğu $10230 \times 4 = 40920$ çip olarak hesaplanmaktadır (Şekil 4.10).

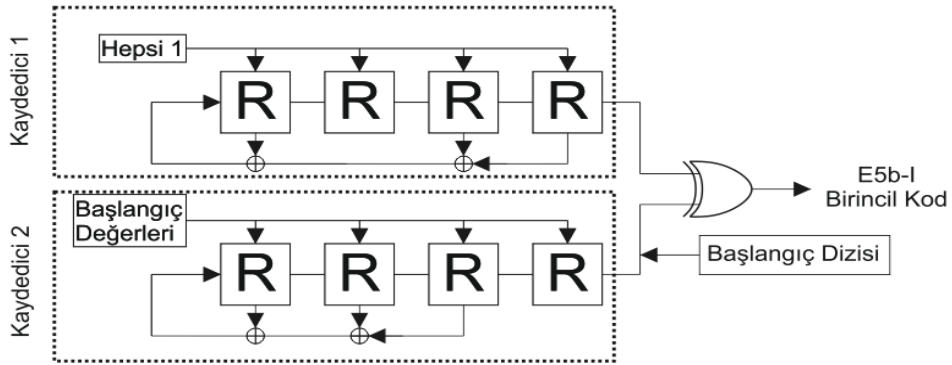


Şekil 4.10. C_{E5b-I} yayınlanan kod uzunluğu

Şekil 4.10’da da görüldüğü üzere $E5b-I$ yayınlanan kodu üretilirken ikincil kodun her bir bitine karşılık birincil kodun bir döngüsü karşılık gelmektedir. Bu işlemin matematiksel olarak yapılabilmesi için ikincil kodun her bir biti 10230 bit uzunluğuna genişletilmelidir. Bu sayede toplamda ikincil kod uzunluğu 40920 bit olmaktadır. Bu doğrultuda elde edilen 40920 bit uzunluğundaki birincil ve ikincil kodlar XoR işlemine tabi tutularak C_{E5b-I} kod dizilimi elde edilmektedir.

4.1.3.1. C_{E5b-I} kod dizilimi için birincil kod üretimi

$E5b-I$ birincil kod üretim şeması Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11. $E5b-I$ birincil kod şeması

2. Bölümde açıklandığı üzere $E5b-I$ kod dizilimi bileşeni için kaydedici 1 ve kaydedici 2 için geri besleme bacalarının sekizli sayı sistemindeki değerleri, sırasıyla 64021 ve 51445’dir. Sekizli sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüşüm yöntemi kullanılarak kaydedici 1 ve kaydedici 2 için elde edilen geri besleme bacaları Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. *E5b-I* kaydedici 1 ve kaydedici 2 geri besleme bacakları

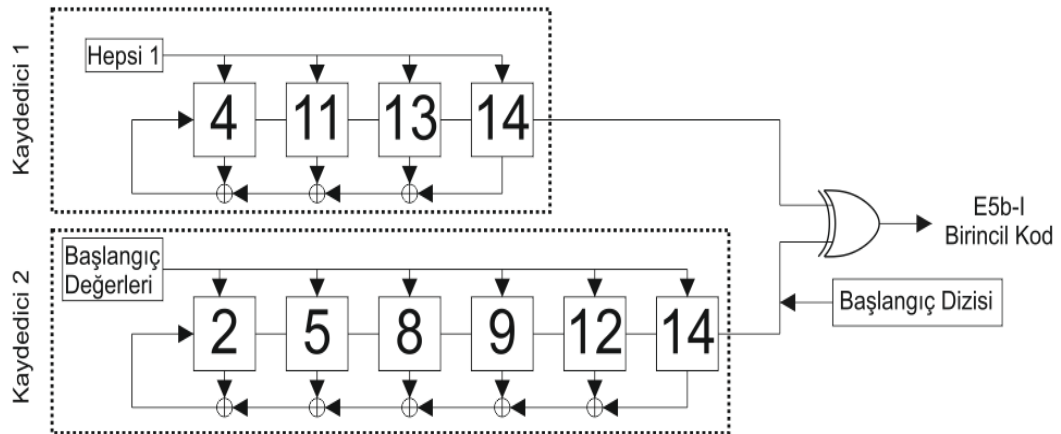
Kaydedici 1	Sekizli Sayı Sistemi	64021
	İkili Sayı Sistemi	110100000010001
	Geri Besleme Bacakları	$f(x) = 1 + x^4 + x^{11} + x^{13} + x^{14}$
Kaydedici 2	Sekizli Sayı Sistemi	51445
	İkili Sayı Sistemi	101001100100101
	Geri Besleme Bacakları	$f(x) = 1 + x^2 + x^5 + x^8 + x^9 + x^{12} + x^{14}$

Kaydedici 2'lerin başlangıç değerleri ve başlangıç dizileri [18] numaralı kaynaktan elde edilmiştir. Başlangıç değerlerinden 07220-26047 ile başlangıç dizilerinden C5BEA1-4F6248 örnek olarak ele alınmış ve bu değerlerin sayı sistemi dönüşümleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. *E5b-I* kaydedici 2 başlangıç değerleri ve başlangıç dizileri örnekleri

Başlangıç Değerleri		24 bitlik başlangıç dizisi	
Sekizli Sayı Sistemi	İkili Sayı Sistemi	Onaltılı sayı sistemi	İkili sayı sistemi
07220	000111010010000	C5BEA1	110001011011111010100001
26047	011110000100111	4F6248	010011110110001001001000

Elde edilen ikili sayı sistemi değerleri için daha önce açıklandığı üzere MSB değerleri dikkate alınmamaktadır. *E5b-I* birincil kod dizileri elde edilirken kaydedici 2'den elde edilen dizilerin başına başlangıç dizileri onaltılı sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüştürülerek eklenmektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda *E5b-I* birincil kod dizisi üretim şeması Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

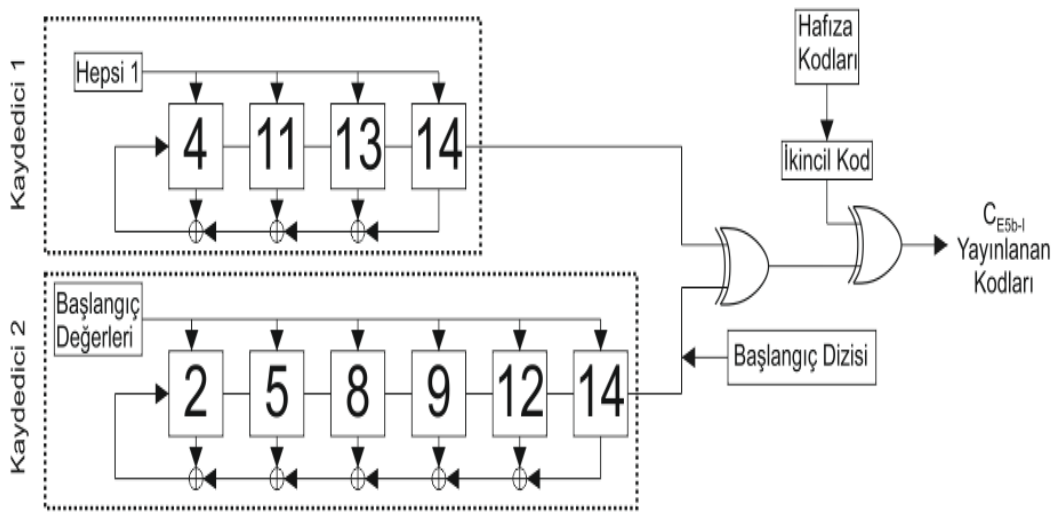


Şekil 4.12. *E5b-I* birincil kod üretimi

Şekilde de görüldüğü üzere birincil kod dizileri oluşturulurken 14 bitlik iki tane doğrusal geri beslemeli kaymalı kaydedici kullanılmıştır ve bu kaydedicilerden elde edilen maksimum dizi uzunluğu, 10230 bit ile sınırlandırılmıştır. Kaydedici 2'den elde edilen 10230 bitlik dizinin başına 24 bitlik başlangıç dizileri eklenmiştir. Elde edilen kod dizisinin uzunluğu 10254 bit olmaktadır. Kod dizilerinin uzunluğu, Çizelge 2.13'ten de görüleceği üzere 10230 bit ile sınırlandırıldığı için 10230 bitten sonrası işleme tabi tutulmamaktadır. Dolayısıyla kaydedici 1 ve kaydedici 2'den elde edilen kod dizileri XoR işlemine tabi tutularak 10230 bitlik birincil kod dizileri elde edilmiştir.

4.1.3.2. C_{E5b-I} kod dizilimi için ikincil kod üretimi

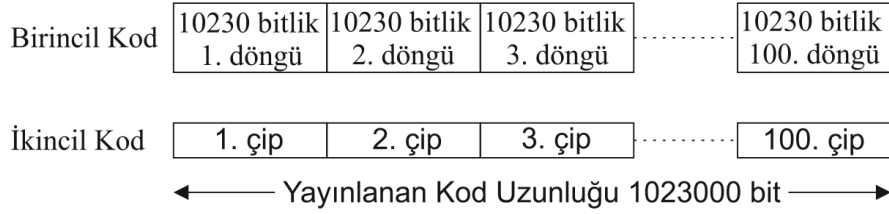
Onaltılı sayı sistemi olarak verilen ikincil kod dizileri [18] numaralı kaynaktan elde edilmiştir. Her bir sinyal bandına göre kod atamaları Çizelge 2.21'de verilmiştir. Buna göre $E5b-I$ 'nin ikincil kod ataması $CS4_1$ olmaktadır. $E5b-I$ için $CS4_1$ değerine karşı gelen, onaltılı sayı sistemindeki E kodunun ikili sayı sistemine dönüşümü "1110" olarak bulunmaktadır. Şekil 4.13'te görüldüğü üzere C_{E5b-I} yayınlanan kod dizisinin elde edilmesi için bulunan birincil ve ikincil kodlar XoR işlemine tabi tutulur.



Şekil 4.13. C_{E5b-I} yayınlanan kod dizisi üretim şeması

4.1.4. C_{E5b-Q} kod dizilimi

$E5b-Q$ kod dizilimi bileşeni için birincil kod çip uzunluğu 10230 bit (N_p), ikincil kod çip uzunluğu (N_s) 100 bit ve yayınlanan kod (spreading code) periyodu 100 ms'dir (Çizelge 2.13). Buradan yayınlanan kod uzunluğu $10230 \times 100 = 1023000$ çip olarak hesaplanmaktadır (Şekil 4.14).

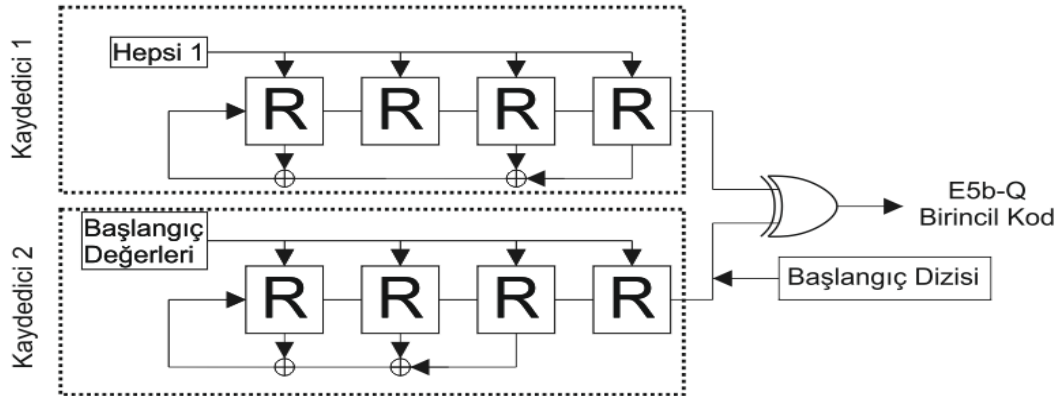


Şekil 4.14. C_{E5b-Q} yayınlanan kod uzunluğu

$E5b-Q$ yayınlanan kodu üretilirken ikincil kodun her bir bitine karşılık birincil kodun bir döngüsü karşılık gelmektedir. Bu işlemin matematiksel olarak yapılabilmesi için ikincil kodun her bir biti 10230 bit uzunluğuna genişletilmelidir. Bu sayede toplamda ikincil kod uzunluğu 1023000 bit olmaktadır. C_{E5b-Q} kod dizilimi, 1023000 bit uzunluğundaki birincil ve ikincil kodların XoR işlemine tabi tutulmasıyla elde edilmektedir.

4.1.4.1. C_{E5b-Q} kod dizilimi için birincil kod üretimi

$E5b-Q$ birincil kod üretim şeması Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



Şekil 4.15. $E5b-Q$ birincil kod şeması

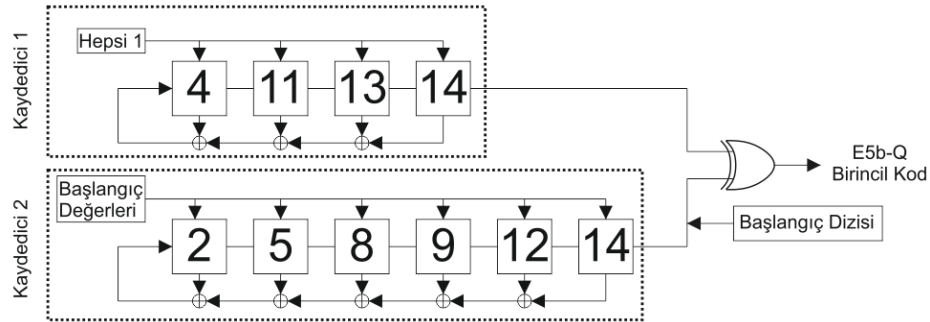
E5b-Q kod dizilimi bileşeni için kaydedici 1 ve kaydedici 2 için geri besleme bacaları *E5b-I* ile aynı olup, sekizli sayı sistemindeki değerleri sırasıyla 64021 ve 51445'dir. Dolayısıyla elde edilen geri besleme bacaları kaydedici 1 için [14, 13, 11, 4] ve kaydedici 2 için [14, 12, 9, 8, 5, 2]'dir.

Kaydedici 2'lerin başlangıç değerleri ve başlangıç dizileri [18] numaralı kaynaktan elde edilmiştir. Başlangıç değerlerinden 03331-06143 ile başlangıç dizilerinden E49AF0-CE701F örnek olarak ele alınmış ve bu değerlerin sayı sistemi dönüşümleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. *E5b-Q* kaydedici 2 başlangıç değerleri ve 24 bitlik başlangıç dizi örnekleri

Başlangıç Değerleri		24 bitlik başlangıç dizisi	
Sekizli Sayı Sistemi	İkili Sayı Sistemi	Onaltılı sayı sistemi	İkili sayı sistemi
03331	000011011011001	E49AF0	111001001001101011110000
06143	000110001100011	CE701F	110011100111000000011111

E5b-Q birincil kod dizileri elde edilirken kaydedici 2'den elde edilen dizilerin başına başlangıç dizileri onaltılı sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüştürülerek eklenmektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda *E5b-Q* birincil kod dizisi üretim şeması Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. *E5b-Q* birincil kod üretimi

Şekilde de görüldüğü üzere birincil kod dizileri oluşturulurken 14 bitlik iki tane doğrusal geri beslemeli kaymalı kaydedici kullanılmıştır ve bu kaydedicilerden elde edilen maksimum dizi uzunluğu, 10230 bit ile sınırlandırılmıştır. Kaydedici 2'den elde edilen 10230 bitlik dizinin başına 24 bitlik başlangıç dizileri eklenmiştir. Elde edilen kod dizisinin uzunluğu, 10254 bit olmaktadır. Kod dizilerinin uzunluğu Çizelge 2.13'ten de görüleceği üzere 10230

bit ile sınırlandırıldığından 10230 bitten sonrası işleme tabi tutulmamaktadır. Kaydedici 1 ve kaydedici 2'den elde edilen kod dizilerinin XoR işlemine tabi tutulmasıyla 10230 bitlik birincil kod dizileri elde edilmektedir.

4.1.4.2. C_{E5b-Q} kod dizilimi için ikincil kod üretimi

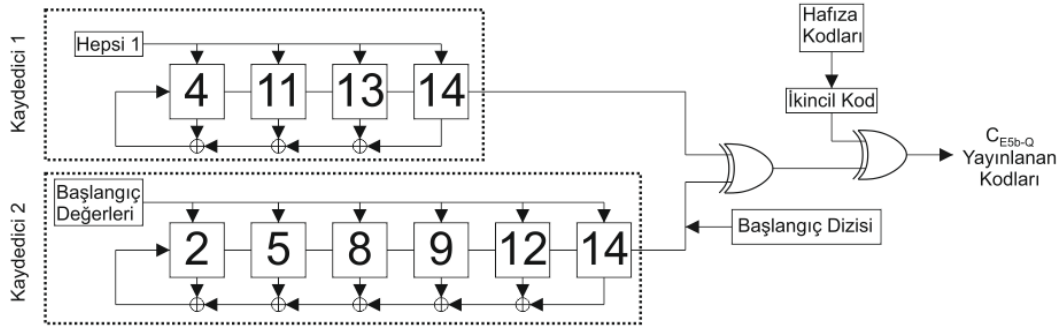
Onaltılı sayı sistemi olarak verilen ikincil kod dizileri [18] numaralı kaynaktan elde edilmiştir. Her bir sinyal bandına göre kod atamaları Çizelge 2.21'de verilmiştir. Buna göre $E5b-Q$ 'nun ikincil kod atamaları $CS100_{51-100}$ olmaktadır. $E5b-Q$ için bu kod dizilimi her uyduda farklıdır.

Bu çalışmada Matlab programında toplamda 4 uydu üzerinden E5 sinyali üretildiği için 4 farklı uyduya ait ikincil kod dizileri kullanılmıştır. $E5b-Q$ için [18] numaralı kaynaktan alınan ve onaltılı sayı sistemindeki değerleri kapalı formatta gösterilen ikincil kodların ikili sayı sistemine dönüştürülmüş biçimleri Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. $E5b-Q$ için seçilen 4 uyduya ait ikincil kod dizilerinin onaltılı sayı sisteminden ikili sayı sistemine dönüşümü

Uydu Numarası	Onaltılı Sayı Sistemi	İkili Sayı Sistemi Dönüşümü
1. Uydu	C.....4	1100 1111 1111 1001 0001 0100 1110 1110 0011 1100 0110 0001 0010 0110 1010 0100 1001 1111 1101 0101 1110 0101 1100 1001 0100
2. Uydu	F.....3	1111 1100 0011 0001 0111 1100 1001 1010 1001 1011 1111 1000 1100 0110 0000 0011 1000 1011 0101 1100 1010 1101 1010 1011 0011
3. Uydu	A.....9	1010 0010 1110 1010 1101 0111 0100 1011 0110 1111 1001 1000 0110 0110 1110 0100 0001 0100 0011 1001 0011 1111 0010 0011 1001
4. Uydu	7.....7	0111 0010 1111 0010 1011 0001 0001 1000 0000 1111 1010 0110 1011 1000 0000 0010 1100 1011 1000 0100 1101 1111 1001 1001 0111

Şekil 4.17'de görüldüğü üzere C_{E5b-Q} yayınlanan kod dizisi birincil ve ikincil kodların XoR işlemine tabi tutulmasıyla elde edilmektedir.



Şekil 4.17. C_{E5b-Q} yayınlanan kod dizisi üretim şeması

4.1.5. C_{E5} kod dizilimlerinin Matlab programlama dilinde üretilmesi

C_{E5a-I} , C_{E5a-Q} , C_{E5b-I} ve C_{E5b-Q} dizilerinin kodlarının nasıl elde edildiği ayrı başlıklar altında detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Çalışmanın bu bölümünde elde edilen verilerin Matlab programına aktarılması için gerçekleştirilen işlem basamakları açıklanmıştır.

Bu çalışmada Matlab'ın R2013a versiyonu kullanılmıştır. MATLAB programı, Windows 7 Ultimate 64 bit işletim sisteminde Intel(R) Core(TM) i7-4770 3.90 Ghz işlemci, 16 GB RAM ve 120 GB Samsung SSD 840 EVO 540 MB/s okuma - 520 MB/s yazma harddisk ile çalıştırılmıştır.

Kod dizilerinin üretilmesi ile elde edilen çip sayıları Çizelge 4.9'da özet olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Elde edilen sinyallerin çip sayıları

C_{E5} Sinyalleri	Çip Sayıları (bit)
C_{E5a-I}	204600
C_{E5a-Q}	1023000
C_{E5b-I}	40920
C_{E5b-Q}	1023000

E5 sinyali için gerekli olan minimum bant genişliği, 51.15 MHz'dir. Bu değer diğer GNSS sistemlerinden oldukça yüksektir. Sistem çift bant yapısıyla çalıştığı için minimum örnekleme frekansı 122.76 MHz olmaktadır. Galileo uydu sisteminde CDMA kod tekniği kullanılmaktadır ve bu tekniğe göre örnekleme oranının denklemi Eşitlik 4.1'de verilmiştir [63].

$$N = \frac{f_{s\text{amp}}}{R_c} \quad (4.1)$$

Burada N değeri örnekleme oranını, $f_{s\text{amp}}$ örnekleme frekansını ve R_c çip oranını temsil etmektedir [63]. Galileo sisteminde çip veya kod oranı 10.23 Mcps'dır. Bu durumda E5 sinyali için kullanılacak minimum örnekleme oranı $N=122.76/10.23=12$ olmaktadır. Matlab programında sinyalin kalitesinin ve anlaşılabilirliğinin artırılması için örnekleme oranı 30 olarak seçilmiştir. Bu örnekleme oranına bağlı olarak E5 sinyali örnekleme frekansı 306.9 MHz olmaktadır. Ancak üretilen veri miktarı yüksek oranda artacağı için bu kadar yüksek örnekleme frekansı sinyal işlemeyi zorlaştırmaktadır. Örnekleme oranı 30 seçildiği için Çizelge 4.9'da gösterilen her bir değer 30 katı alınarak Çizelge 4.10'daki değerlere ulaşılmıştır.

Çizelge 4.10. Genişletilen sinyallerin çip sayıları

C_{E5} Sinyalleri	Çip Sayıları (bit)
C_{E5a-I}	6138000
C_{E5a-Q}	30690000
C_{E5b-I}	1227600
C_{E5b-Q}	30690000

Elde edilen bu değerler ışığında pilot ve pilot + veri kanallarının her birinin kod uzunluklarının eşit olabilmesi için Çizelge 4.10'daki minimum değer olan 6138000 bite sabitlenmesi gerekmektedir. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için C_{E5a-I} ve C_{E5b-I} kod dizilimleri 30 katı oranında genişletildiğinde sırasıyla 6138000 ve 1227600 bit değerine ulaşılmıştır. C_{E5b-I} kod diziliminin 6138000 bit değerine ulaştırılabilmesi için kod dizilimi 5 kez tekrarlanmıştır.

C_{E5a-Q} ve C_{E5b-Q} kod dizilimleri de 30 katı oranında genişletilerek 30690000 bit değerine ulaşılmıştır. Daha sonra elde edilen bu kod dizilimleri 6138000 bit değerine kısaltılarak simülasyondaki bütün pilot ve pilot + veri kanallarındaki kod dizilimlerinin uzunluklarının eşit olması sağlanmıştır.

Yukarıda söz edilen 30 katı oranında genişletilme işlemi sırasında Matlab programlama dilinde kullanılan kodlar Eşitlik 4.2 ve 4.3'te verilmiştir.

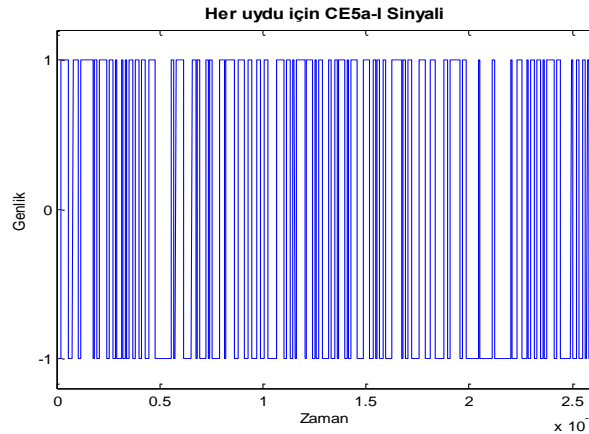
$$\begin{aligned}
X_I &= \text{repmat}(CE5aI,30,1); & X_Q &= \text{repmat}(CE5aQ,30,1); \\
\text{Sonuc}X_I &= X_I(:); & \text{Sonuc}X_Q &= X_Q(:); \\
CE5a_I &= \text{Sonuc}X_I'; & CE5a_Q &= \text{Sonuc}X_Q';
\end{aligned} \tag{4.2}$$

$$\begin{aligned}
Y_I &= \text{repmat}(CE5bI,30,1); & Y_Q &= \text{repmat}(CE5bQ,30,1); \\
\text{Sonuc}Y_I &= Y_I(:); & \text{Sonuc}Y_Q &= Y_Q(:); \\
CE5b_I &= \text{Sonuc}Y_I'; & CE5b_Q &= \text{Sonuc}Y_Q';
\end{aligned} \tag{4.3}$$

Üretilen bu kod dizilimlerinin dizi uzunluklarının eşitlenmesi sağlamak amacıyla kullanılan Matlab kodları (4.4)'te gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
CE5a_QQ &= CE5a_Q(1:1:6138000); \\
CE5b_II &= [CE5b_I \ CE5b_I \ CE5b_I \ CE5b_I \ CE5b_I] \\
CE5b_QQ &= CE5b_Q(1:1:6138000);
\end{aligned} \tag{4.4}$$

Matlab programında kodlama işlemi sadece 1 uydu için örnek olarak gösterilmiştir. Diğer 3 uydu için de benzer şekilde işlem gerçekleştirilmiş olup, toplam dört uydu için kod dizilimlerine ait grafikler elde edilmiştir. Bu grafiklerden her uydu için aynı C_{E5a-I} kod dizilimi Şekil 4.18'de örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Her uydu için $C_{E5a-I}(t)$ kod diziliminin grafiksel gösterimi

Şekil 4.18'de verilen C_{E5a-I} kod diziliminin ± 1 'lerden oluşun ve toplamda 6138000 bitlik kod dizilimlerinin veya diğer bir ifadeyle 6138000 bitten

oluşan matrislerin genlik - zaman aralığındaki sıralamalarını grafiksel gösterimini temsil etmektedir.

4.2. e_{E5} Kod Dizilimlerinin Üretimi

Galileo E5 sinyali elde edilirken ikinci adımda toplamda dört farklı e_{E5} sinyali üretilmektedir. Elde edilen bu sinyaller e_{E5a-I} , e_{E5a-Q} , e_{E5b-I} ve e_{E5b-Q} 'dur. C_{E5a-Q} ve C_{E5b-Q} kod dizilimleri herhangi bir işleme tabi tutulmadan AltBOC çoklayıcısının girişlerini oluşturmaktadır. Bu kod dizilimleri, pilot olarak adlandırılır ve seyrüsefer bilgisini içermez ancak AltBOC çoklayıcısında işleme alınırken sırasıyla e_{E5a-Q} ve e_{E5b-Q} olarak adlandırılırlar.

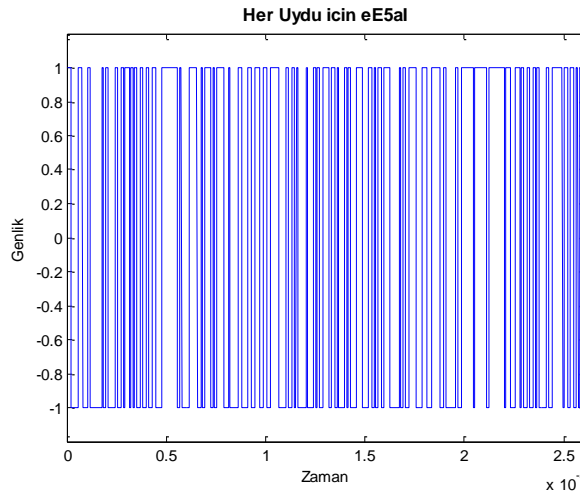
C_{E5a-I} ve C_{E5b-I} kod dizilimleri sırasıyla D_{E5a-I} (F/NAV) ve D_{E5b-I} (I/NAV) seyrüsefer verileriyle eleman elemana çarpılarak e_{E5a-I} ve e_{E5b-I} kod dizilimlerini oluşturmaktadırlar. Elde edilen bu kod dizilimleri, seyrüsefer verilerini içeren veri + pilot AltBOC çoklayıcısı girişleridir. Çalışmanın bu aşamasında seyrüsefer verileri olmadan E5 sinyalinin ham halinin elde edilebilmesi için D_{E5a-I} ve D_{E5b-I} kod dizilimleri '-1' yanı boş veri olarak alınmıştır. Seyrüsefer mesajının C_{E5} kodlarıyla eleman elemana çarpılabilmeleri için kod uzunluklarının eşit olması gerekmektedir. 6138000 bit boyunca D_{E5} kodlarının '-1' olarak alınabilmesi ve e_{E5} kodlarının elde edilebilmesi için Matlab programlama dilinde kullanılan kodlama işlemi (4.5)'te gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
 DE5a_I &= [-1]; & DE5b_I &= [-1]; \\
 X1 &= \text{ repmat}(DE5a_I, 6138000, 1); & X2 &= \text{ repmat}(DE5b_I, 6138000, 1); \\
 SonucX1 &= X1(:); & SonucX2 &= X2(:); \\
 DE5a_I &= \text{ SonucX1}'; & DE5b_I &= \text{ SonucX2}';
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

$$\begin{aligned}
 C_{E5a-Q} &= e_{E5a-Q} \\
 C_{E5b-Q} &= e_{E5b-Q} \\
 C_{E5a-I} \cdot D_{E5a-I} &= e_{E5a-I} \\
 C_{E5b-I} \cdot D_{E5b-I} &= e_{E5b-I}
 \end{aligned}$$

Seyrüsefer mesajı '-1' yani boş veri olarak alındığı için e_{E5a-I} kod dizilimi her uydu için aynı olmaktadır. Bu kod diziliminin Matlab programından elde edilen grafiksel gösterimi Şekil 4.19'da verilmiştir.

Şekil 4.19'da verilen e_{E5a-I} kod diziliminin ± 1 'lerden oluşan ve toplamda 6138000 bitlik kod dizilimlerinin genlik - zaman aralığındaki sıralamalarının grafiksel gösterimini temsil edilmektedir. Eşitlik 4.5'den de anlaşılacağı üzere AltBOC çoklayıcısının girişleri olan e_{E5a-Q} ve e_{E5b-Q} kod dizilimleri, sırasıyla C_{E5a-Q} ve C_{E5b-Q} ile aynıdır. Ancak e_{E5a-I} ve e_{E5b-I} kod dizilimlerine seyrüsefer mesajı yükleneceği için kod dizilimleri değişim göstermektedir.



Şekil 4.19. Her uydu için $e_{E5a-I}(t)$ sinyali

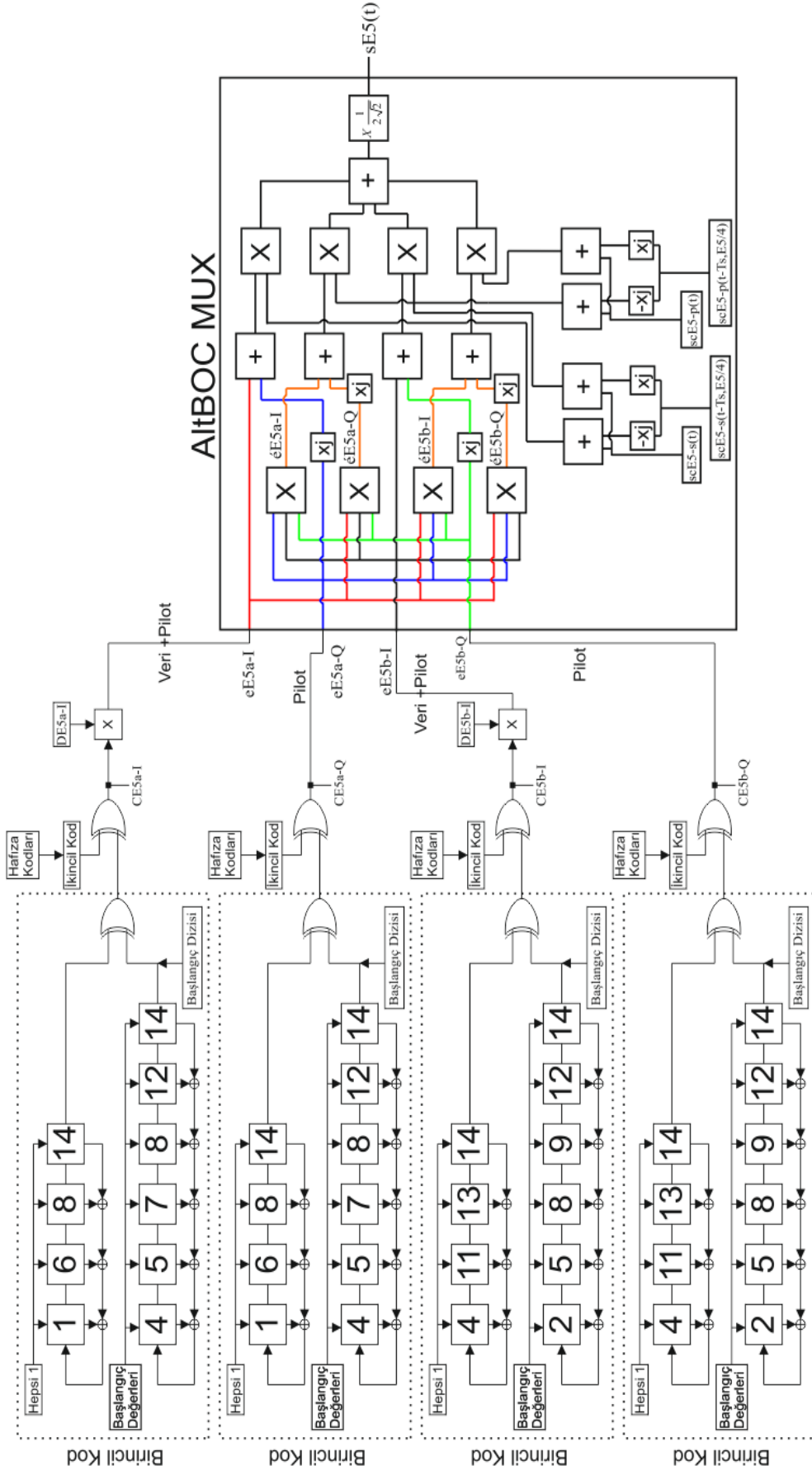
4.3. AltBOC Modülasyonu ve E5 Sinyallerinin Elde Edilmesi

E5 sinyalinin üretim şeması ALTBOC çoklayıcısının içyapısı ile genişletilerek Şekil 4.20'de detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Şekildedeki görüldüğü üzere $S_{E5}(t)$ sinyali AltBOC çoklayıcısında üretilmektedir. AltBOC çoklayıcısına giren sinyaller aşağıda maddeler halinde verilmiştir. Bunları;

- e_{E5a-I} ve e_{E5b-I} pilot ve veri kod dizilimleri,
- e_{E5a-Q} ve e_{E5b-Q} pilot kod dizilimleri.

Bu sinyallere ek olarak, sinyalin taşınması için gerekli olan alt taşıyıcı bileşenleri;

- $sc_{E5-S}(t)$ ve $sc_{E5-P}(t)$ alt taşıyıcıları,
- $sc_{E5-S}(t - T_{S,E5}/4)$ ve $sc_{E5-P}(t - T_{S,E5}/4)$ T/4 zaman kaydırmalı alt taşıyıcılarıdır.



Şekil 4.20. Galileo E5 sinyalinin detaylı üretim şeması

2. Bölümde açıklanan $S_{E5}(t)$ sinyalinin matematiksel denklemi (2.35) düzenlenerek (4.6) eşitliği ile gösterilmiştir.

$$S_{E5}(t) = \frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{pmatrix} e_{E5a-I}(t)sc_{E5-S}(t) + e_{E5a-Q}(t)sc_{E5-S}(t - T_{S,E5}/4) + \\ e_{E5b-I}(t)sc_{E5-S}(t) - e_{E5b-Q}(t)sc_{E5-S}(t - T_{S,E5}/4) + \\ \bar{e}_{E5a-I}(t)sc_{E5-P}(t) + \bar{e}_{E5a-Q}(t)sc_{E5-P}(t - T_{S,E5}/4) + \\ \bar{e}_{E5b-I}(t)sc_{E5-P}(t) - \bar{e}_{E5b-Q}(t)sc_{E5-P}(t - T_{S,E5}/4) \end{pmatrix} \quad (4.6)$$

$$+ \frac{1}{2\sqrt{2}} j \begin{pmatrix} -e_{E5a-I}(t)sc_{E5-S}(t - T_{S,E5}/4) + e_{E5a-Q}(t)sc_{E5-S}(t) \\ + e_{E5b-I}(t)sc_{E5-S}(t - T_{S,E5}/4) + e_{E5b-Q}(t)sc_{E5-S}(t) \\ - \bar{e}_{E5a-I}(t)sc_{E5-P}(t - T_{S,E5}/4) + \bar{e}_{E5a-Q}(t)sc_{E5-P}(t) \\ + \bar{e}_{E5b-I}(t)sc_{E5-P}(t - T_{S,E5}/4) + \bar{e}_{E5b-Q}(t)sc_{E5-P}(t) \end{pmatrix}$$

(4.6) denklemi (4.7) ve (4.8)'de görüldüğü üzere reel ve sanal kısımlara ayrılarak sırasıyla $\text{Re}(S_{E5}(t))$ ve $\text{Im}(S_{E5}(t))$ sinyalleri elde edilir.

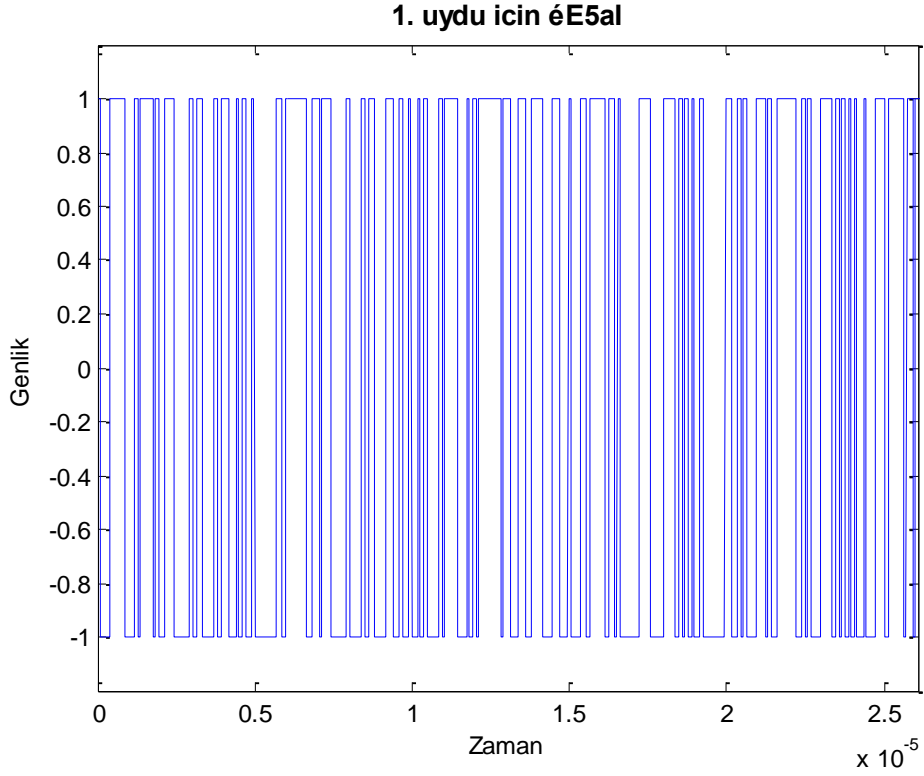
$$\text{Re}(S_{E5}(t)) = \frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{pmatrix} e_{E5a-I}(t)sc_{E5-S}(t) + e_{E5a-Q}(t)sc_{E5-S}(t - T_{S,E5}/4) + \\ e_{E5b-I}(t)sc_{E5-S}(t) - e_{E5b-Q}(t)sc_{E5-S}(t - T_{S,E5}/4) + \\ \bar{e}_{E5a-I}(t)sc_{E5-P}(t) + \bar{e}_{E5a-Q}(t)sc_{E5-P}(t - T_{S,E5}/4) + \\ \bar{e}_{E5b-I}(t)sc_{E5-P}(t) - \bar{e}_{E5b-Q}(t)sc_{E5-P}(t - T_{S,E5}/4) \end{pmatrix} \quad (4.7)$$

$$\text{Im}(S_{E5}(t)) = \frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{pmatrix} -e_{E5a-I}(t)sc_{E5-S}(t - T_{S,E5}/4) + e_{E5a-Q}(t)sc_{E5-S}(t) \\ + e_{E5b-I}(t)sc_{E5-S}(t - T_{S,E5}/4) + e_{E5b-Q}(t)sc_{E5-S}(t) \\ - \bar{e}_{E5a-I}(t)sc_{E5-P}(t - T_{S,E5}/4) + \bar{e}_{E5a-Q}(t)sc_{E5-P}(t) \\ + \bar{e}_{E5b-I}(t)sc_{E5-P}(t - T_{S,E5}/4) + \bar{e}_{E5b-Q}(t)sc_{E5-P}(t) \end{pmatrix} \quad (4.8)$$

Denklem (4.7) ve (4.8)'in çözümü için gerekli olan bileşenlerden $\bar{e}_{E5a-I}(t)$, $\bar{e}_{E5a-Q}(t)$, $\bar{e}_{E5b-I}(t)$ ve $\bar{e}_{E5b-Q}(t)$ sinyallerinin üretimi adımları 2. Bölümde detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bu sinyal bileşenleri Matlab programlama dilindeki gösterimi Eşitlik 4.9'da verilmiştir.

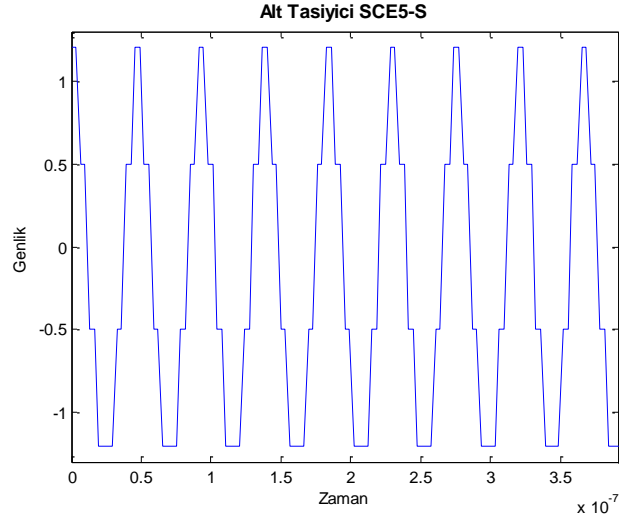
$$\begin{aligned} \bar{e}_{E5a-I} &= e_{E5a-Q} \cdot * e_{E5b-I} \cdot * e_{E5b-Q} \\ \bar{e}_{E5a-Q} &= e_{E5a-I} \cdot * e_{E5b-I} \cdot * e_{E5b-Q} \\ \bar{e}_{E5b-I} &= e_{E5b-Q} \cdot * e_{E5a-I} \cdot * e_{E5a-Q} \\ \bar{e}_{E5b-Q} &= e_{E5b-I} \cdot * e_{E5a-I} \cdot * e_{E5a-Q} \end{aligned} \quad (4.9)$$

Yukarıda verilen eşitliğin çözülmesi sonucunda 1. uydusu için Matlab programında elde edilen $\bar{e}_{E5a-l}(t)$ kod diziliminin grafiksel gösterimi Şekil 4.21’de verilmiştir. Şekilde C_{E5} ve e_{E5} kod dizilimlerinde olduğu gibi ± 1 ’lerden oluşan ve toplamda 6138000 bitlik kod dizilimlerinin genlik - zaman aralığındaki sıralamalarının grafiksel halini temsil edilmektedir.

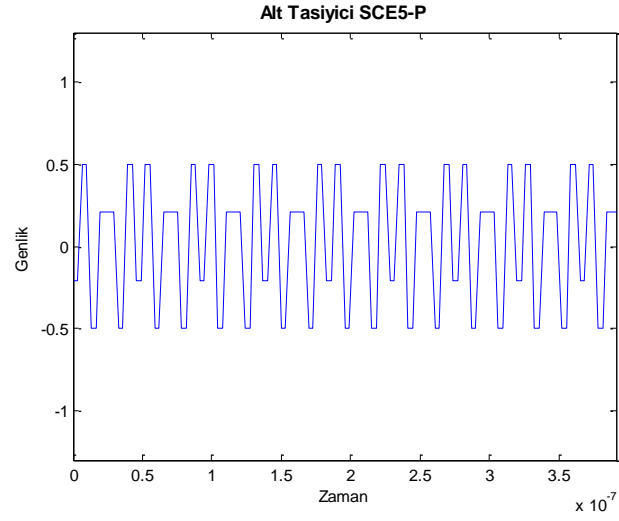


Şekil 4.21. 1. uydusu için $\bar{e}_{E5a-l}(t)$ sinyali

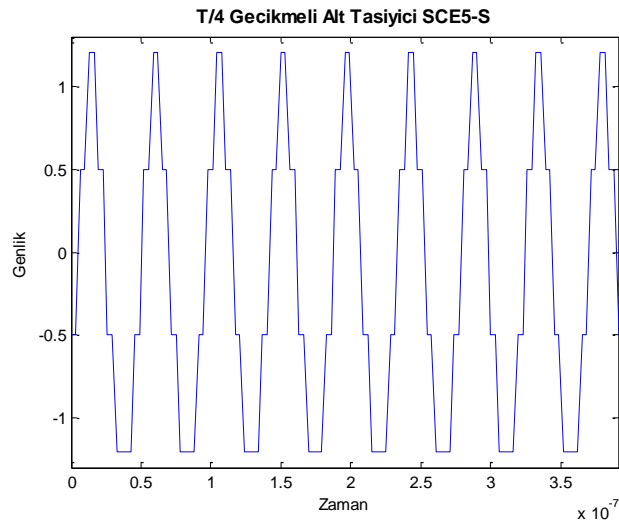
$S_{E5}(t)$ sinyalinin AltBOC çoklayıcısında üretilmesi için gereken son elemanlar, alt taşıyıcı sinyaller ve bu sinyallerin T/4 zaman kaydırmalı durumlarıdır. 2. Bölümde açıklanan $sc_{E5-s}(t)$ ile $sc_{E5-p}(t)$ alt taşıyıcı sinyalleri ve bu sinyallere ait $sc_{E5-s}(t - T_{S,E5}/4)$ ile $sc_{E5-p}(t - T_{S,E5}/4)$ T/4 zaman gecikmeleri için elde edilen grafikler Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’te gösterilmiştir. Bu grafiklerde her uyduda üretilen ve toplamda 6138000 bitlik kod dizilimlerinden oluşan alt taşıyıcı ve T/4 zaman gecikmeli alt taşıyıcı sinyallerinin genlik - zaman aralığındaki sıralamalarının grafiksel gösterimi temsil edilmektedir.



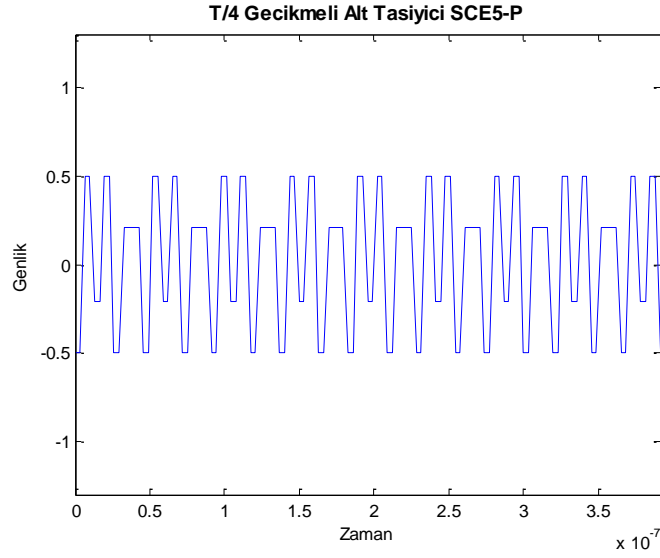
Şekil 4.22. $sc_{E5-S}(t)$ alt taşıyıcı sinyali



Şekil 4.23. $sc_{E5-P}(t)$ alt taşıyıcı sinyali



Şekil 4.24. $sc_{E5-S}(t - T_{s,E5}/4)$ zaman kaymalı alt taşıyıcı sinyali



Şekil 4.25. $sc_{E5-P}(t - T_{S,E5}/4)$ zaman kaymalı alt taşıyıcı sinyali

$S_{E5}(t)$ 'nin üretilebilmesi için gerekli olan tüm sinyaller elde edildikten sonra her bir uyduda elde edilen sinyaller Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da grafiksel olarak verilmiştir. 4 uydu için elde edilen bu sinyal grafikleri reel ve sanal kısım olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sinyalin reel ve sanal kısımlarının oluşturabilmesi için Matlab programında kullanılan eşitlikler (4.10) ve (4.11)'de verilmiştir.

$$\text{Re}_E5 = \frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{pmatrix} e_{E5a-I}(t) * sc_{E5-S}(t) + e_{E5a-Q}(t) * sc_{E5-S}(t - T_{S,E5}/4) + \\ e_{E5b-I}(t) * sc_{E5-S}(t) - e_{E5b-Q}(t) * sc_{E5-S}(t - T_{S,E5}/4) + \\ \bar{e}_{E5a-I}(t) * sc_{E5-P}(t) + \bar{e}_{E5a-Q}(t) * sc_{E5-P}(t - T_{S,E5}/4) + \\ \bar{e}_{E5b-I}(t) * sc_{E5-P}(t) - \bar{e}_{E5b-Q}(t) * sc_{E5-P}(t - T_{S,E5}/4) \end{pmatrix} \quad (4.10)$$

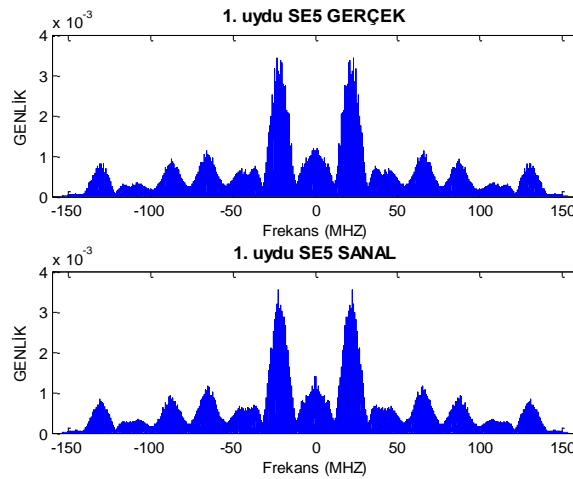
$$\text{Re}(S_{E5}(t)) = \text{fftshift}(\text{fft}(\text{Re}_E5))$$

$$\text{Im}_E5 = \frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{pmatrix} -e_{E5a-I}(t) * sc_{E5-S}(t - T_{S,E5}/4) + e_{E5a-Q}(t) * sc_{E5-S}(t) \\ + e_{E5b-I}(t) * sc_{E5-S}(t - T_{S,E5}/4) + e_{E5b-Q}(t) * sc_{E5-S}(t) \\ - \bar{e}_{E5a-I}(t) * sc_{E5-P}(t - T_{S,E5}/4) + \bar{e}_{E5a-Q}(t) * sc_{E5-P}(t) \\ + \bar{e}_{E5b-I}(t) * sc_{E5-P}(t - T_{S,E5}/4) + \bar{e}_{E5b-Q}(t) * sc_{E5-P}(t) \end{pmatrix} \quad (4.11)$$

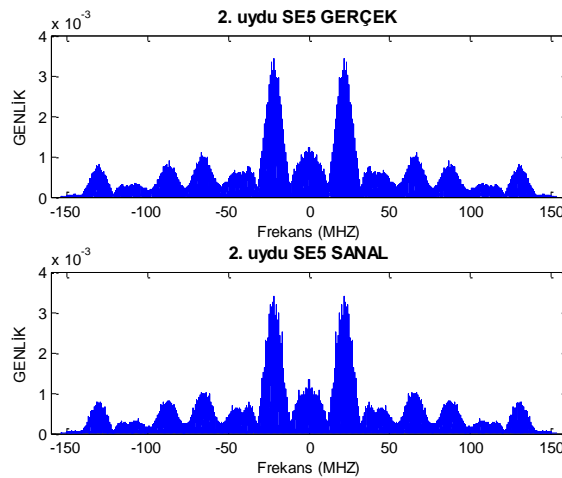
$$\text{Im}(S_{E5}(t)) = \text{fftshift}(\text{fft}(\text{Im}_E5))$$

E5 sinyalinin reel ve sanal kısımlarının grafiksel olarak gösterilebilmesi için sinyallere Hızlı Fourier dönüşümü uygulanması gerekmektedir. Bunun işlemin amacı ilk adımda zaman alanında olan sinyallerin frekans alanına dönüştürülmesi ve hangi frekansta ne şiddetle bir titreşim olduğunun görülebilmesidir. Hızlı Fourier dönüşümünde tekrarlanmayan sinyaller dikkate alınmamaktadır. Fourier dönüşümü periyodik fonksiyonları sonsuz sinüs ve kosinüslerin toplamı olarak ifade edilmektedir [64]. Bu işlemde sonra fftshift komutu ile merkez noktasının sağında ve solunda oluşan noktalar, merkez noktasına göre kaydırılarak son sinyal grafikleri elde edilir.

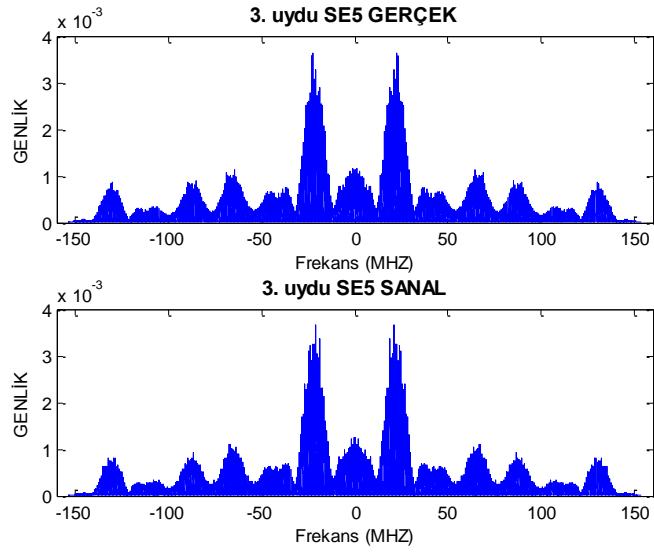
4 farklı uydu için elde edilen bu grafiklerde 6138000 bitlik kod dizilimlerinin genlik – frekans alanına dönüştürülmesi sonucunda 300 MHz’de Galileo E5 sinyalinin reel ve sanal kısımları görülmektedir.



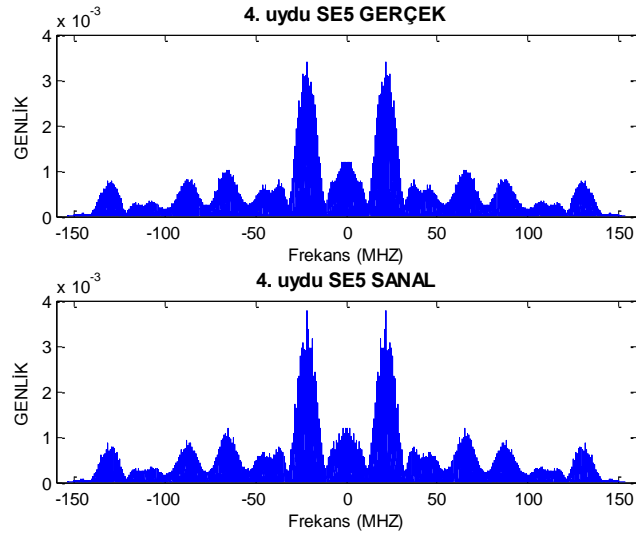
Şekil 4.26. 1. Uydu reel ve sanal $S_{ES}(t)$ sinyali



Şekil 4.27. 2. Uydu reel ve sanal $S_{ES}(t)$ sinyali



Şekil 4.28. 3. Uydunun reel ve sanal $S_{E5}(t)$ sinyali



Şekil 4.29. 4. Uydunun reel ve sanal $S_{E5}(t)$ sinyali

Matlab programı vasıtasıyla C_{E5} - e_{E5} - \bar{e}_{E5} kod dizilimlerinin, Alt Taşıyıcıların ve $S_{E5}(t)$ sinyallerinin ayrı ayrı elde edilme süreleri Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. 4 uyduya ait sinyal grafiklerinin aynı anda üretilirken geçen süreler

Kod Dizilimi ve Sinyal	Süre (sn)
C_{E5}	68.594
e_{E5}	6.386
\bar{e}_{E5}	7.375
Alt Taşıyıcılar	4.546
$S_{E5}(t)$	6.117

4.4. Seyrüsefer Mesajı

Çalışmanın şu ana kadar açıklanan bölümünde E5 sinyalinin üretim aşamasında seyrüsefer mesajı 6138000 bit boyunca ‘-1’ yani boş veri olarak işleme alınmıştır. Simülasyon programında uydulara seyrüsefer mesajı yüklenebilmesi için D_{E5b-1} sinyal bandı seçilmiştir. Şekil 2.41’den de görüleceği üzere seyrüsefer mesajı C_{E5b-1} kod dizilimi ile işleme tabi tutulmalıdır

Sinyal üretimi için gerçekleştirilen simülasyon programında seyrüsefer mesajının içerdiği bilgiler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Sistemin hangi uydu seyrüsefer sistemine ait olduğu,
- Uydu kimliği,
- Uydu enlem, boylam ve irtifa bilgileri,
- Alıcıya gönderilebilecek herhangi bir mesaj.

Simülasyon programında üretilen seyrüsefer mesajı için 7 bitlik ASCII karakter kodlaması kullanılmıştır. Burada veri mesajının her bir biti için 7 bitlik ‘1’ ve ‘0’ lardan oluşan kod dizilimi atanmaktadır. ASCII kodlama sisteminde her bir harfin büyük - küçük olduğu durumlarda kendine özel kodlama dizilimleri bulunmaktadır. Bu dönüşüm işlemi Çizelge 4.12’de örneklendirilmiştir ve ASCII dönüşüm tekniğinin detayları EK-1’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Örnek veri mesajı

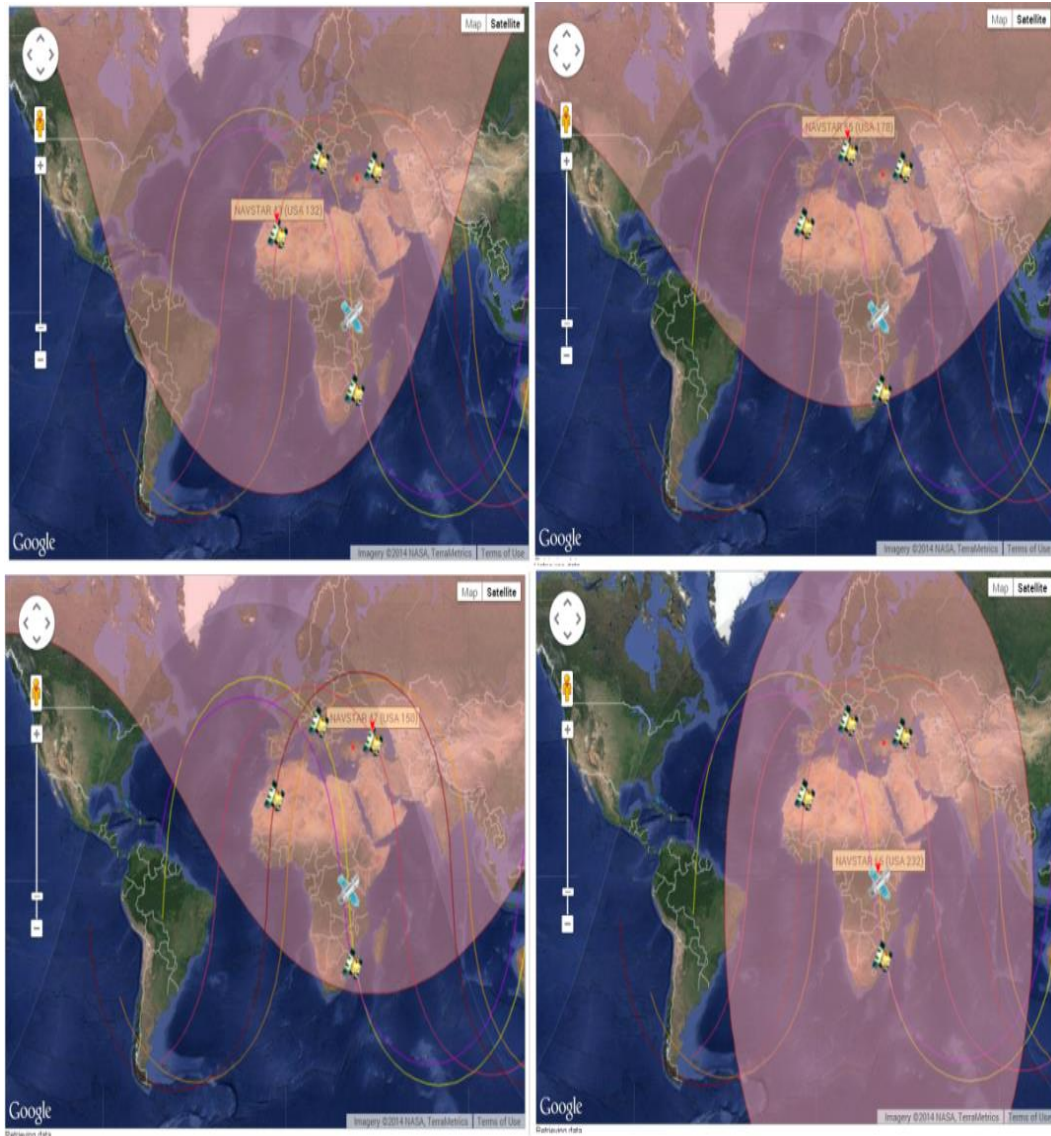
Veri Mesajı	GALILEO gnss
ASCII kod dönüşümü	(G)1000111 (A)1000001 (L)1001100
	(I)1001001 (L)1001100 (E)1000101
	(O)1001111
	0100000 (Boşluk)
	(g)1100111 (n)1101110 (s)1110011 (s)1110011

Bu çalışmada Galileo uyduları halen test aşamasında olduğu için uygulama alanı olarak seçilen Türkiye hava sahasını kapsama alanı içine alan GPS uydu konumları dikkate alınmıştır. Uydulara ait konum, zaman ve kimlik bilgileri [65] numaralı kaynaktan temin edilmiştir. Simülasyon programında

kullanılan gerçek zamanlı uydu konumları ve iz düşüm bilgileri Çizelge 4.13 ve Şekil 4.30'da gösterilmiştir.

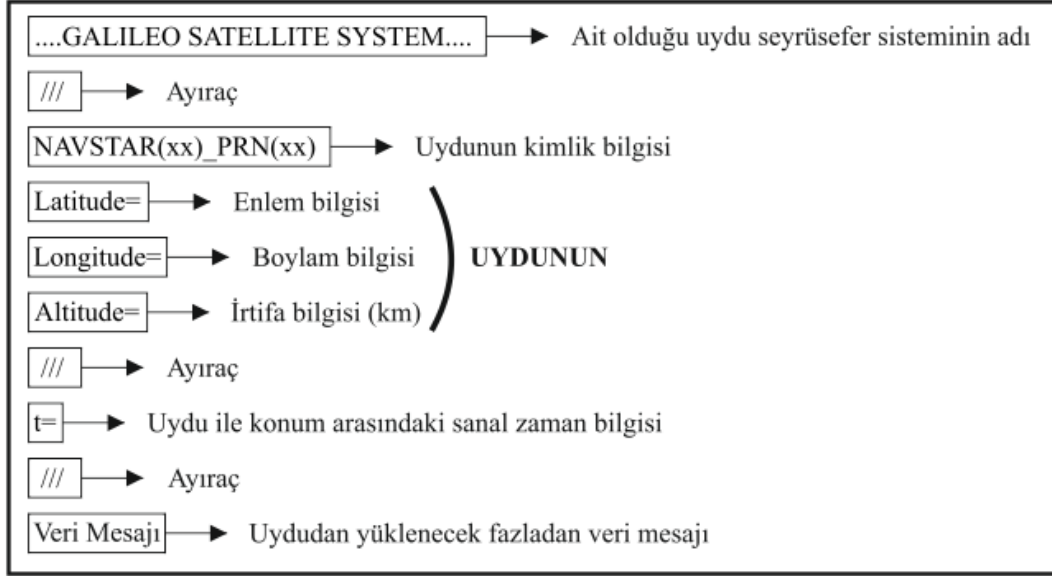
Çizelge 4.13. Gerçek zamanlı GPS uydu konumları [65]

	NAVSTAR22 PRN32	NAVSTAR46 PRN11	NAVSTAR54 PRN19	NAVSTAR58 PRN31
Enlem	+45.99	+40.66	+01.03	-00.65
Boylam	+06.81	+11.49	+18.26	+74.68
İrtifa (km)	20086.50	19921.97	20428.73	20009.43



Şekil 4.30. Gerçek zamanlı GPS uydularının dünya üzerindeki iz düşümleri [65]

Simülasyonda gerçekleştirilen veri mesajının detayları sırasıyla Şekil 4.31’de gösterilmiştir.



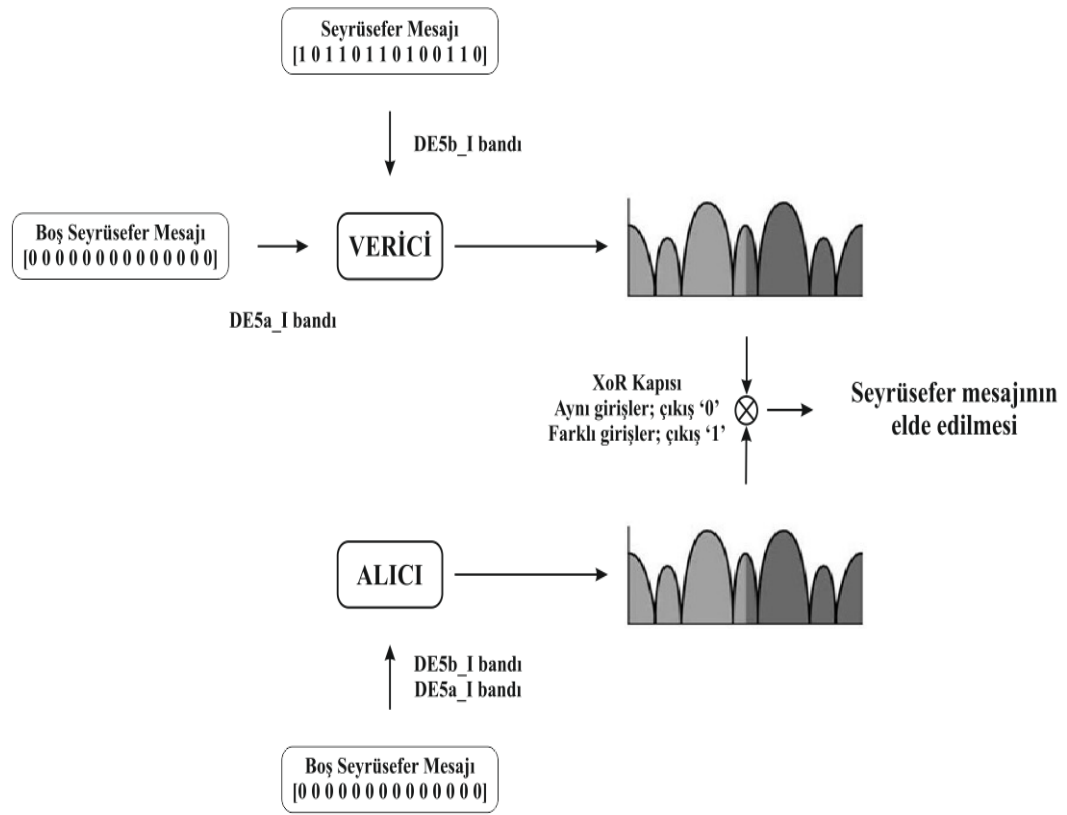
Şekil 4.31. Veri mesajının detayları

Şekil 4.31’de uydunun kimlik, enlem, boylam ve kilometre cinsinden irtifa bilgisi her uyduya özel atanmaktadır. Bu bilgiler, Çizelge 4.13’ten elde edilmiştir.

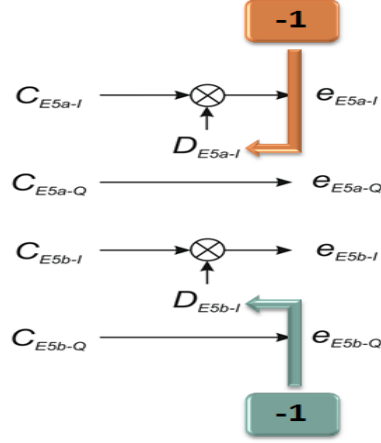
Simülasyon programında Türkiye haritası üzerinde seçilecek herhangi bir nokta için konum belirleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sırasında kullanılan Türkiye haritasının 2 boyutlu olması nedeniyle irtifa bilgisinin kullanıcı tarafından girilmesi gerekmektedir. Gerçekte konum belirleme işleminin yapılabilmesi için alıcıdan vericiye sinyalin seyahat süresinin hesaplanması gerekmektedir. Ancak simülasyon programının gerçek zamanlı olmaması nedeniyle alıcı ve 4 uydu arasındaki sinyalin seyahat süreleri hesaplanarak bu veriler, Şekil 4.31’de gösterilen ‘*t*’ bilgisine yüklenmektedir. Bu sayede sinyal alıcıda çözüldüğünde seyrüsefer mesajının içerisinde bulunan süre bilgisi elde edilerek 3 boyutlu sanal konum belirleme işleminin simülasyon programında gerçekleştirilebilmesi sağlanmıştır. Bu kapsamda Şekil 4.31’de belirtilen ‘*veri mesajı*’ bölümü, kullanıcıların her bir uyduya istediği herhangi bir mesajı yükleyebilmesi için ayrılmıştır.

4.5. Alıcı Tasarımı

Gerçekleştirilen simülasyon programında, sinyal bandında gürültünün bulunmaması, alıcı tasarımının mümkün olduğunca basitleştirilmesi ve seyrüsefer mesajının tek bir sinyal bandına yüklenebilmesi gibi nedenlerle vericide üretilen ve veri mesajını içeren sinyal ile alıcıda üretilen ve veri mesajını içermeyen sinyallerin birbirleri ile eleman elemana karşılaştırılması ilkesine dayanan genel bir alıcı yapısı kullanılmıştır (Şekil 4.32).



Bu işlemin gerçekleştirilmesi sırasında alıcıda seyrüsefer mesajının yüklendiği D_{E5b-I} ve D_{E5a-I} sinyal bantlarının değerleri, 6138000 bit boyunca '-1 veya 0' yani boş veri olarak alınarak seyrüsefer mesajını içermeyen $S_{ES}(t)$ sinyalinin üretilmesi sağlanmıştır (Şekil 4.33).



Şekil 4.33. Seyrüsefer mesajının boş veri olarak alınması

Sinyal demodülasyonu gerçekleştirilirken vericide ve alıcıda üretilen sinyaller birbirileri ile XoR işlemine tabi tutularak aynı bit değerine sahip olan elemanlar, '0' farklı bit değerine sahip olan elemanlar ise '1' değerini almaktadır. Bu sayede '1' ve '0' ,lardan oluşan ve kod uzunluğu 6138000 bit olan genlik - zaman alanında bir kod dizilimi elde edilmektedir. Daha önce de belirtildiği üzere seyrüsefer mesajının uydulara yüklenebilmesi için ASCII 7 bitlik karakter kodlaması kullanılmaktadır. Dolayısıyla elde edilen bu kod dizilimi yedişer bitler halinde Ek-1'de verilen dönüşüm işlemi kullanılarak seyrüsefer bilgisinin detaylarının elde edilmesi sağlanmaktadır (Çizelge 4.14).

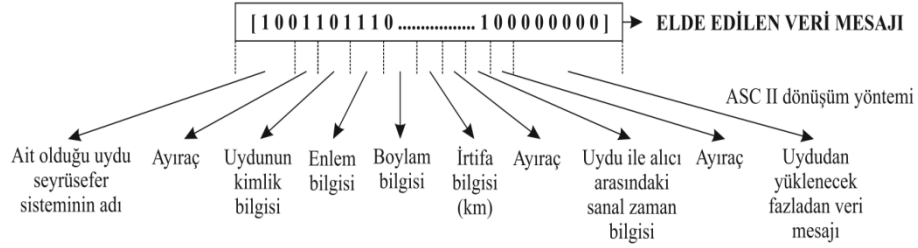
Çizelge 4.14. Örnek bir veri mesajının elde edilmesi

Alıcıda elde edilen kod dizilimi	1000001	1101110	1100001
	1100100	1101111	1101100
	1110101		
Sırasıyla ASCII kod dönüşümü	1000001 = A	1101110 = n	
	1100001 = a	1100100 = d	
	1101111 = o	1101100 = l	
	1110101 = u		
Elde edilen veri mesajı	Anadolu		

Alıcıda sinyalin demodüle edilmesi ile elde edilen bilgiler aşağıda maddeler halinde verilmiştir (Şekil 4.34).

- Sistemin hangi uydu seyrüsefer sistemine ait olduğu,
- Uydu kimliği,

- Uydu enlem, boylam ve irtifa bilgileri,
- Uydu ile alıcı arasındaki sinyalin sanal seyahat süresi,
- Alıcıya gönderilen herhangi bir veri mesajı.



Şekil 4.34. Elde edilen veri mesajının detayları

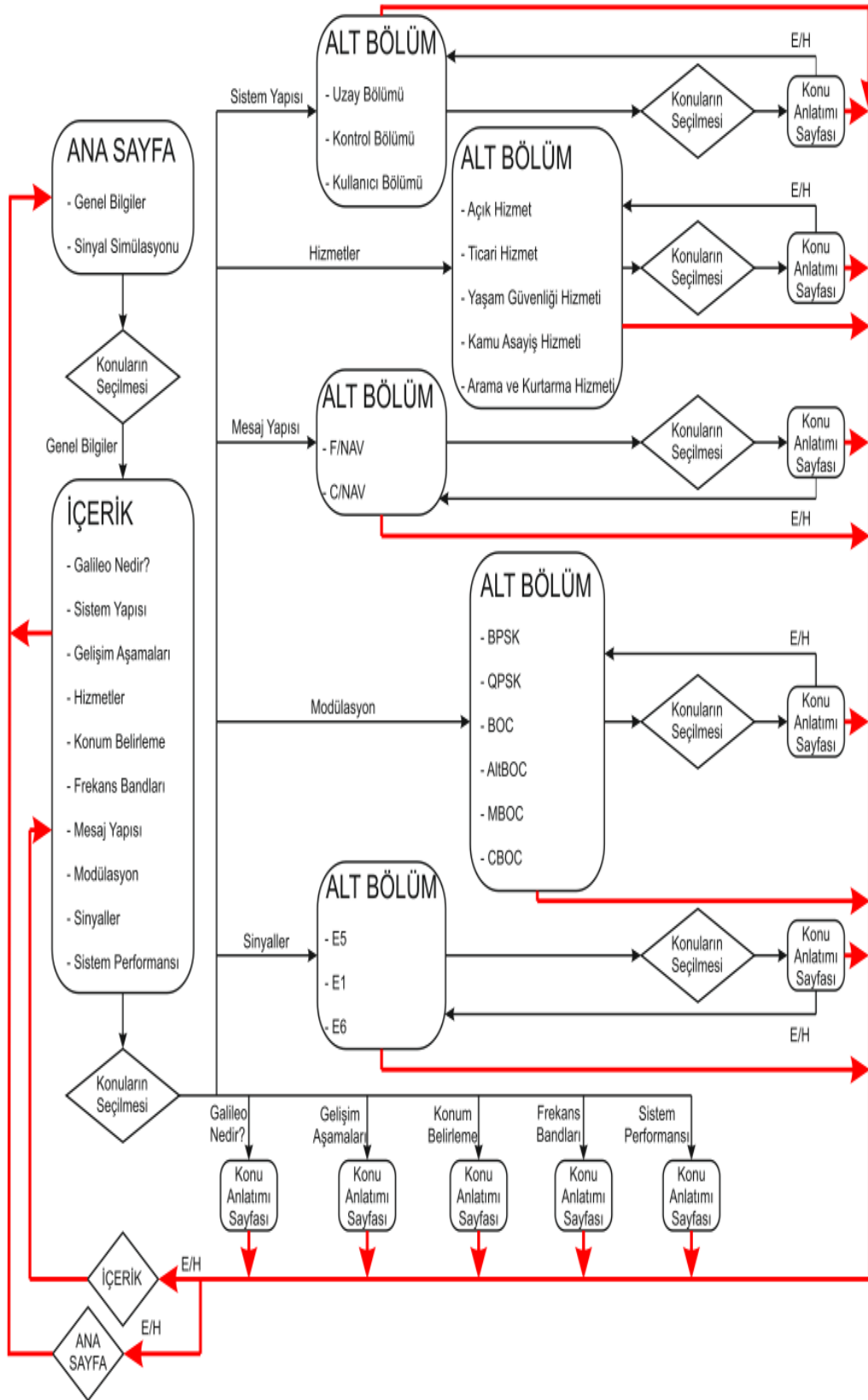
4.6. Arayüz Tasarımı

Çalışmanın amacı kapsamında kullanıcılara gerek Galileo sistemi hakkında genel bilgiler verebilmek, gerekse E5 sinyalinin üretim adımlarını görselleştirebilmek amacıyla Matlab-Gui programlama dili kullanılarak bir arayüz tasarımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.35).

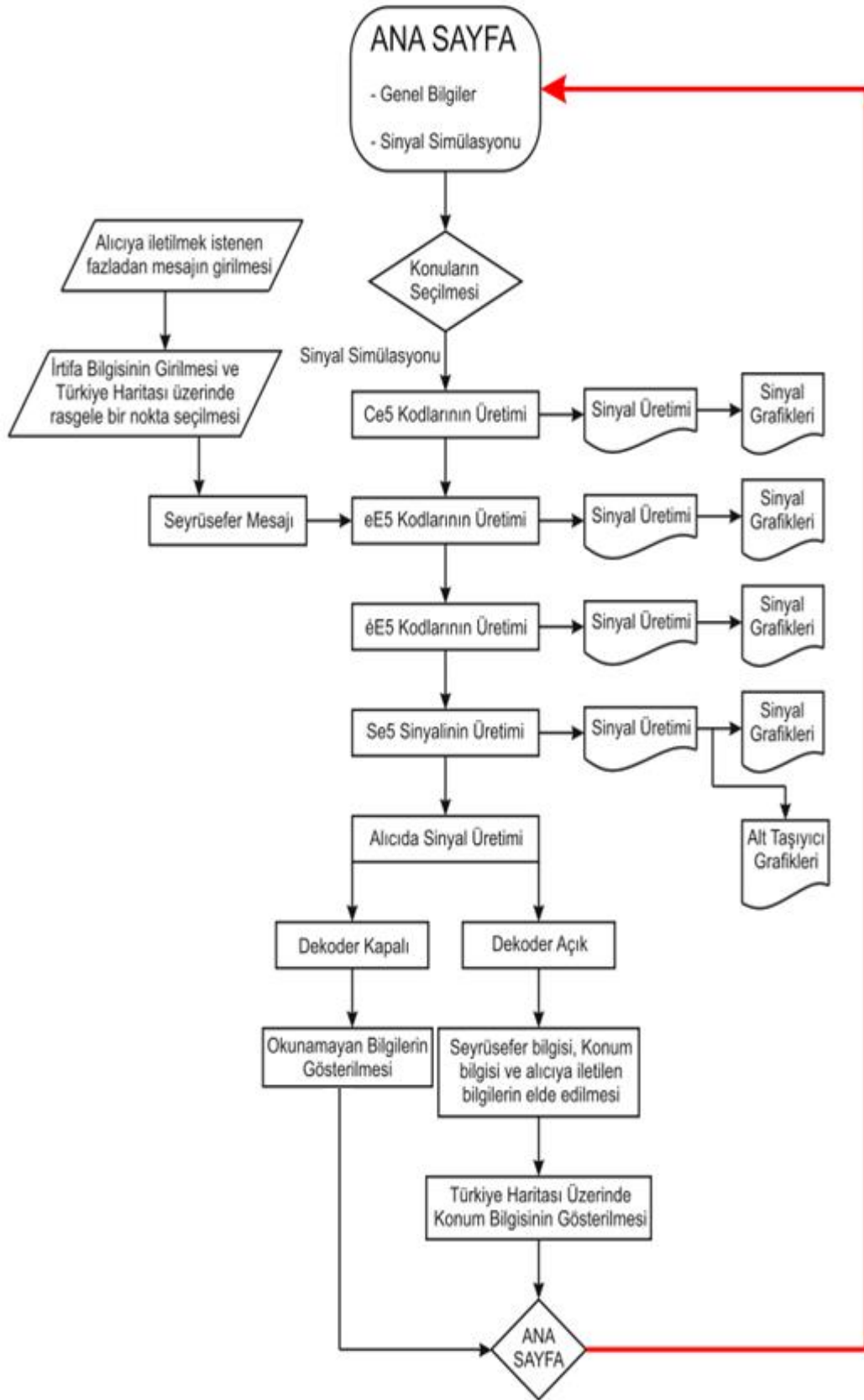
Geliştirilen bu arayüzün ‘Genel Bilgiler’ ve ‘Sinyal Simülasyonu’ ile ilgili akış diyagramları Şekil 4.36 ve Şekil 4.37’de gösterilmiştir.



Şekil 4.35. Kullanıcı arayüzü ‘Ana Sayfa’ ekran görüntüsü



Şekil 4.36. 'Genel Bilgiler' bölümü Matlab-Gui akış diyagramı



Şekil 4.37. ‘Sinyal Simülasyonu’ bölümü Matlab-Gui akış diyagramı

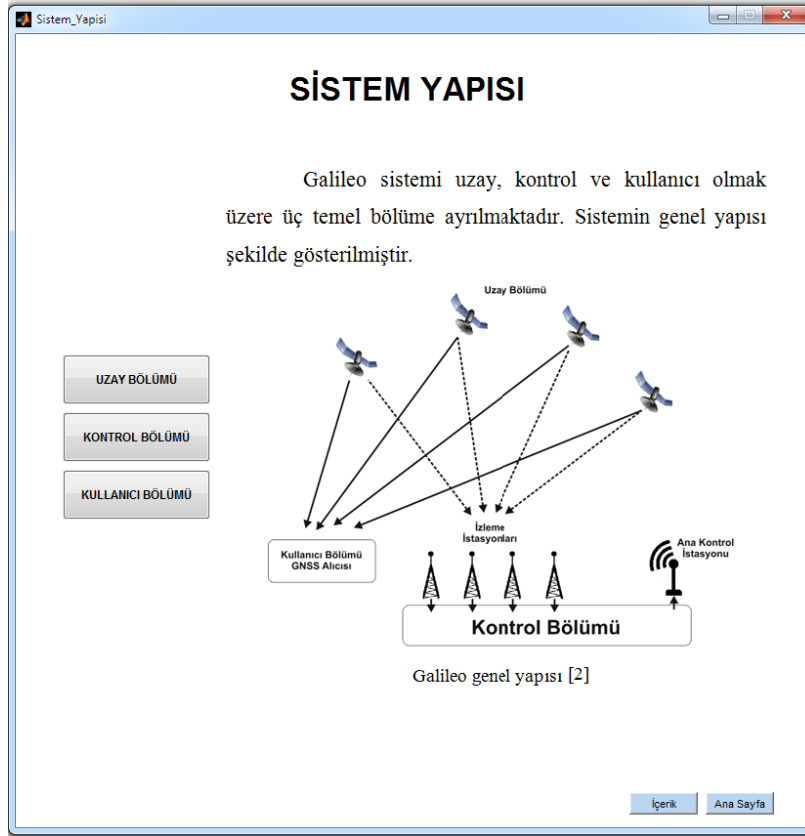
4.6.1. Kullanıcı arayüzü genel bilgiler bölümü

Ana ekran sayfasından ‘Genel Bilgiler’ bölümüne tıkladığı zaman kullanıcı için Şekil 4.38’de verilen ‘İçerik’ sayfası açılmaktadır.



Şekil 4.38. Genel bilgilerin içerik sayfası ekran görüntüsü

Şekilde de görüldüğü üzere içerik sayfası Galileo nedir, Sistem yapısı, Gelişim aşamaları, Hizmetler, Konum Belirleme, Frekans Bantları, Mesaj Yapısı, Modülasyon, Sinyaller, Sistem Performansı ve Kaynaklar ile ilgili bölümleri kapsamaktadır. Belirtilen konu başlıklarından herhangi birine tıkladığında konuyla ilgili açıklama sayfasına erişilmektedir. Şekil 4.39 ve Şekil 4.40’ta ‘Sistem Yapısı’ alt bölüm sayfası ve bunun içerisindeki ‘Kontrol Bölümü’ konu anlatım sayfasına ait ekran görüntüleri örnek olarak verilmiştir.



Şekil 4.39. 'Sistem Yapısı' alt bölüm ekran görüntüsü

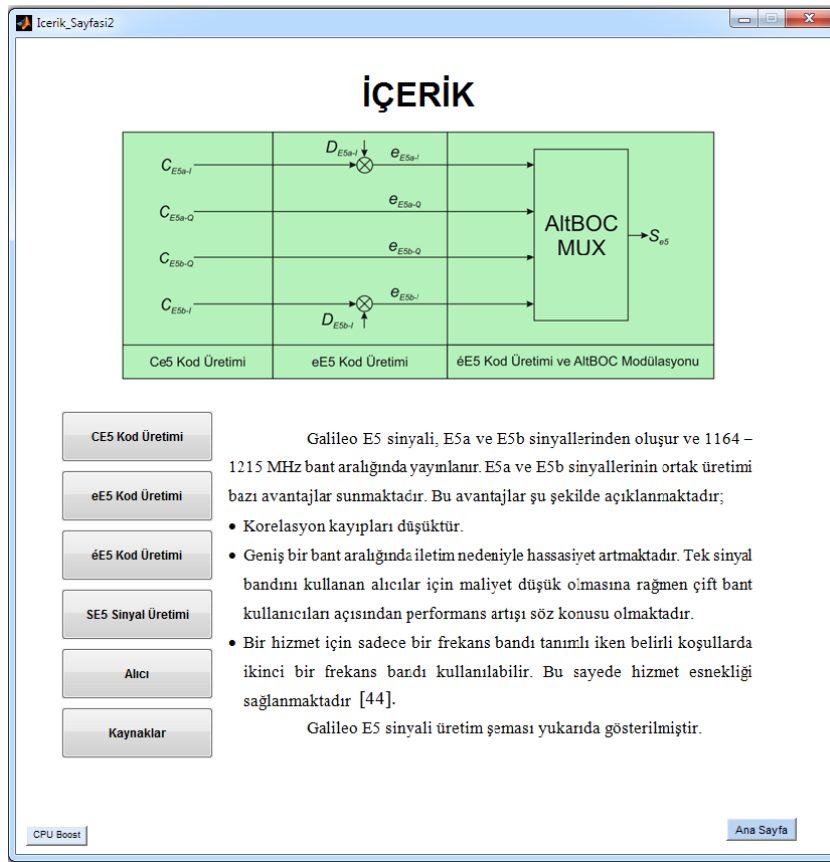


Şekil 4.40. 'Kontrol Bölümü' konu anlatım sayfası ekran görüntüsü

Şekillerden de görüleceği üzere kullanıcı ‘Ana Sayfa’, ‘İçerik’ ve ‘Alt Bölüm’ butonları ile ilgili sayfalara kolaylıkla yönlendirilebilmektedir. Konu anlatımı sayfasında yer alan ‘İleri’ ve ‘Geri’ tuşları ise konu içerisindeki sayfalara erişimi sağlamaktadır.

4.6.2. Kullanıcı arayüzü sinyal simülasyonu bölümü

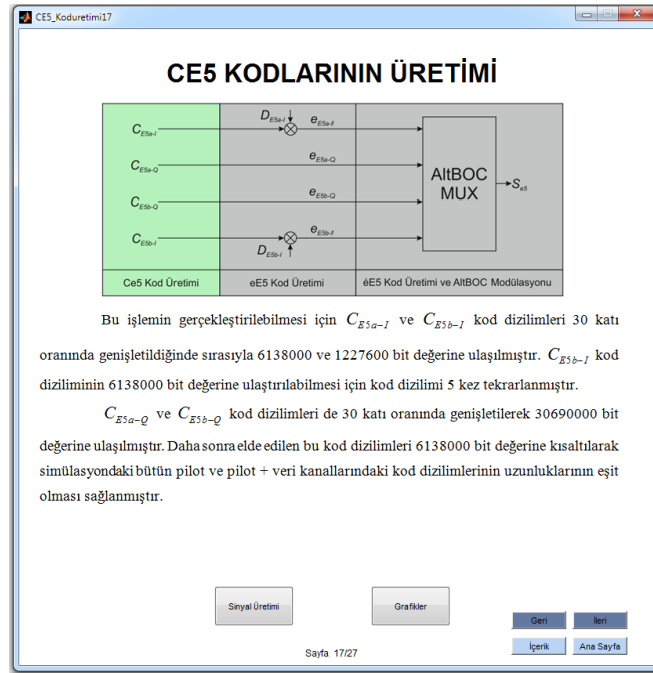
Ana ekran sayfasından ‘Sinyal Simülasyonu’ bölümüne tıklandığı zaman kullanıcı için uygulama kapsamındaki E5 sinyali içerik sayfası açılmaktadır (Şekil 4.41).



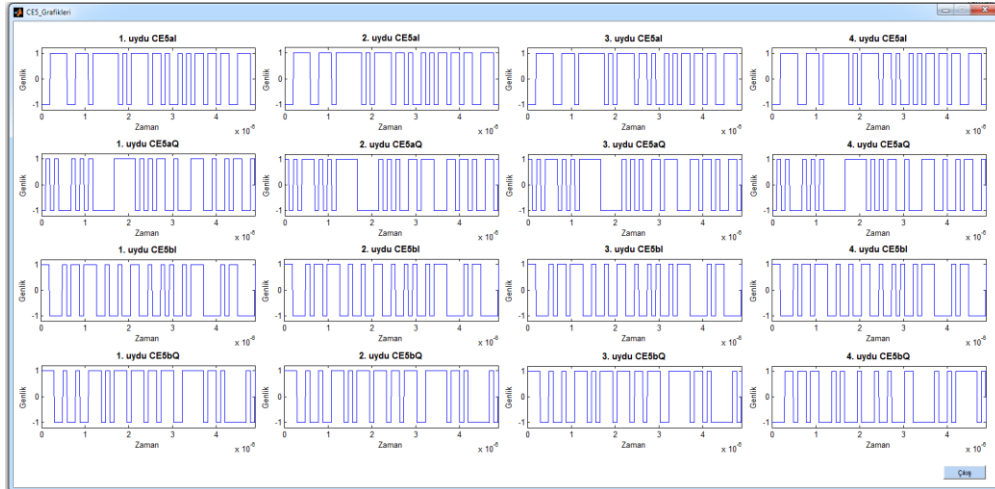
Şekil 4.41. E5 Sinyal simülasyonu içerik sayfası ekran görüntüsü

Şekilde de görüldüğü üzere içerik sayfası C_{E5} kod üretimi, e_{E5} kod üretimi, $\acute{e}E5$ (\bar{e}_{E5}) kod üretimi, $S_{E5}(t)$ sinyal üretimi, Alıcı ve Kaynaklar ile ilgili bölümleri kapsamaktadır. Genel bilgiler bölümünde olduğu gibi belirtilen konu başlıklarından herhangi birine tıklandığında konuyla ilgili açıklama sayfasına erişilmektedir.

Şekil 4.42’de C_{E5} kod üretimi sayfası ile ilgili ekran görüntüsü örnek olarak verilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere sayfanın alt bölümünde ‘Sinyal Üretimi’ ve ‘Grafikler’ ile ilgili butonlar yer almaktadır. Konu anlatımı aşamasında ‘Sinyal Üretimi’ butonu aktif iken bu butona tıkladığı zaman kod üretimi süresi boyunca sayfa içerisindeki bütün butonlar devre dışı olmaktadır. Kod üretimi tamamlandıktan sonra ise ‘Grafikler’ butonu aktif hale gelmekte ve ‘Sinyal Üretimi’ butonu devre dışı kalmaktadır. ‘Grafikler’ butonuna tıkladığında ilgili kod dizilimlerine ait grafikler sayfası açılmaktadır (Şekil 4.43).

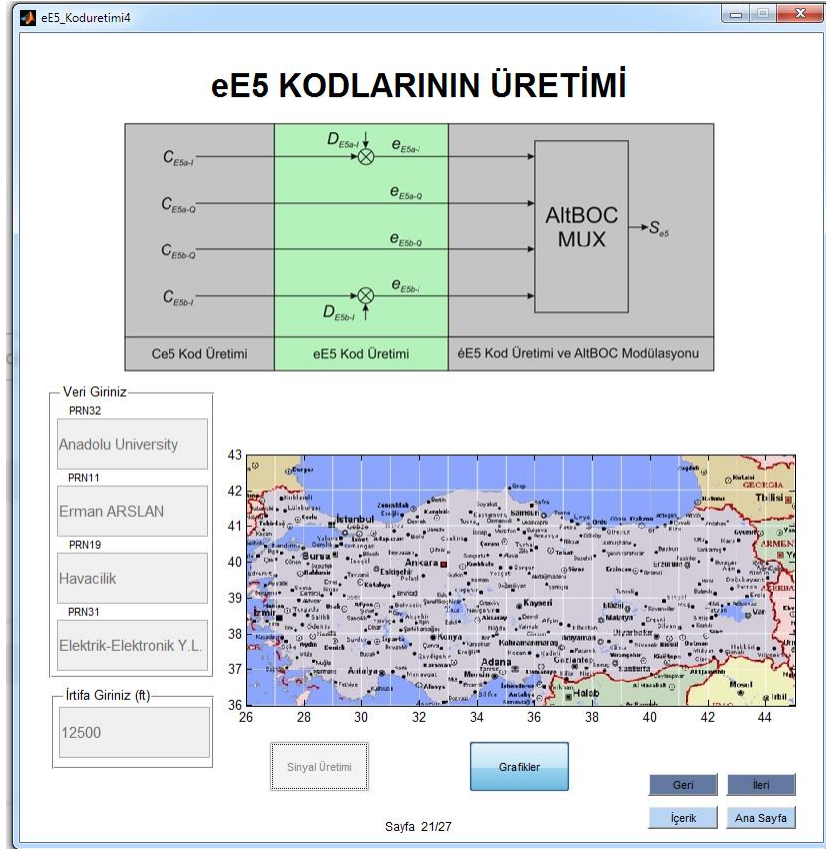


Şekil 4.42. ‘ C_{E5} kodlarının üretimi’ konu anlatım sayfası ekran görüntüsü



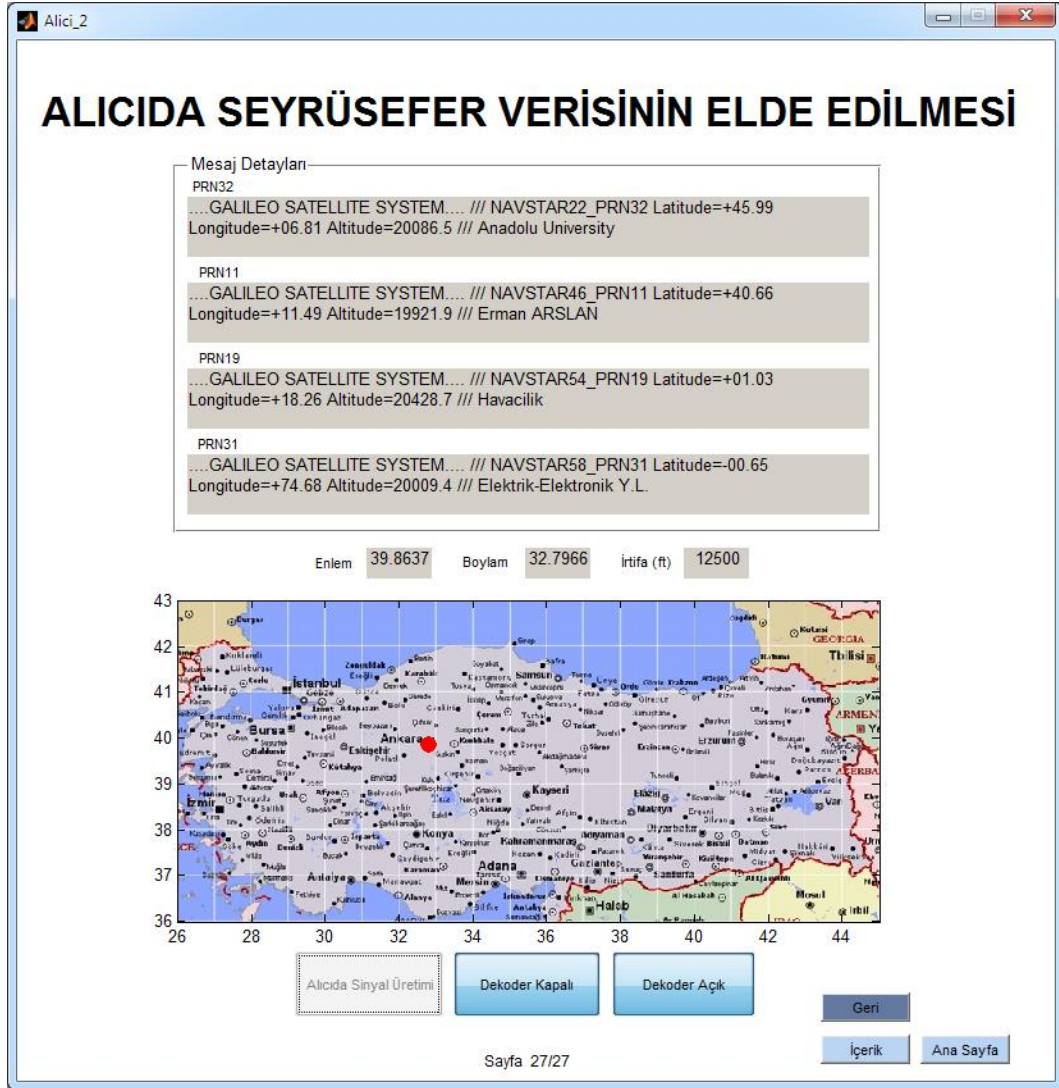
Şekil 4.43. C_{E5} kod dizilimlerinin 4 uydur için grafiksel görüntülerinin ekran sayfası

Seyrüsefer mesajının yüklenmesine ait ekran görüntüleri Şekil 4.44'te gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere konum bilgisinin elde edilebilmesi için uydulara ait $S_{E5}(t)$ sinyalleri üretilmeden önce uygulama alanı olarak seçilen ve ekranın sağ alt köşesinde yer alan Türkiye haritası üzerinde rastgele bir nokta seçilmeli ve irtifa bilgisi girilmelidir. Arayüz üzerinden kullanıcı tarafından seçilen bu rastgele konumun uydulara olan uzaklığı program tarafından hesaplanarak sinyallerin alıcıya geliş süreleri belirlenmektedir. Elde edilen dört farklı sinyal süresi, ait oldukları uyduların seyrüsefer mesajına yüklenmektedir. Bu sayede simülasyon programı çalıştırıldığında alıcıda uydulardan yayınlanan sinyallerin sürelerine ulaşılmakta ve bu bilgi ile konum hesaplama işlemi yapılabilmektedir. Buna ek olarak kullanıcı, ekranın sol alt köşesinde yer alan boş haneler vasıtasıyla alıcıya 4 uydu üzerinden gönderilen seyrüsefer mesajına istediği herhangi bir mesajı ilave ederek gönderebilmektedir.



Şekil 4.44. Seyrüsefer mesajının eklenmesi ekran görüntüsü

Dekoder açık ve kapalı konumda iken alıcıda sinyalin çözülmesine ait ekran sayfaları Şekil 4.45 ve Şekil 4.46 'da gösterilmiştir.



Şekil 4.46. Alıcı sayfasında 'Dekoder Açık' konumunda iken ekran görüntüsü

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada Avrupa Birliği ve Avrupa Uzay Ajansı tarafından tüm sivil kullanıcılara yüksek doğrulukta konum belirlemek üzere geliştirilme aşamasında olan ve şimdilerde dört test uydusu ile üzerinde halen çalışmaların devam ettiği Galileo sistemi incelenmiştir. Bu kapsamda sinyal bandında şifreleme yapılmaması, en karmaşık sinyal yapısına sahip olması, AltBOC modülasyonu gibi yeni nesil bir modülasyon tekniğinin kullanılması ve sinyal bandının diğer avantajları dikkate alınarak seçilmiş olan Galileo E5 sinyalinin üretilmesi, alıcıda bu sinyalin demodülasyon işlemi ve bir kullanıcı arayüzünün geliştirilmesi amaçlanmıştır.

E5 sinyalinin üretimi ve kullanıcı arayüzünün geliştirilmesi aşamalarında matematiksel problemlerin çözümü ve analizi için uygun bir yazılım aracı olan MATLAB programı R2013a versiyonu ile MATLAB-GUI'den yararlanılmıştır. Geliştirilen arayüz ile kullanıcılara Galileo sistemi ile ilgili genel bilgiler sunulmasının yanısıra, gerçekleştirilen sinyal simülasyonu ile kullanıcı tarafından harita üzerinde rasgele seçilebilecek herhangi bir noktanın üç boyutlu konum bilgisine ve seyrüsefer mesajına erişiminin görselleştirebilmesi sağlanmıştır.

Galileo sistemi henüz geliştirilme aşamasında olduğu için yapılan literatür incelemesi bu konuda araştırmaların halen devam ettiğini ve sistemin doğruluğunu artırmak üzere iyileştirilme çalışmalarında önemli adımlar kaydedildiğini göstermektedir. Galileo E5 sinyali için tasarlanan bu çalışmanın bugüne kadar yapılan diğer çalışmalardan farklılıkları şu şekilde özetlenebilir;

- Galileo sistemi hakkında kullanıcılara arayüz üzerinden bilgi erişiminin kolaylaştırılmış olması,
- Galileo E5 sinyalinin üretim adımların kullanıcılara detaylı bir şekilde sunulması,
- E5 sinyal simülasyonunun hem verici hem de alıcı düzeyinde geliştirilmiş olması,
- E5 sinyal simülasyonunda kullanıcılar tarafından girilebilecek irtifa bilgisi ile tanımlanan harita üzerinde seçilecek herhangi bir nokta için konum bilgisinin hesaplanması,

- E5 sinyal simülasyonu esnasında kullanıcılara her bir uyduya mesaj yükleme imkânının sunulmasıdır.

Bu çalışmanın devamında yapılabilecek ve gelecekteki çalışmalara yol gösterebileceği düşünülen bazı öneriler aşağıda verilmiştir:

- Galileo sinyal simülasyonunun E1 ve E6 sinyal bandları da dikkate alınarak geliştirilmesi,
- Sinyal simülasyonuna ortam gürültüsü eklenerek alıcı düzeyinde filtreleme işleminin yapılması,
- Tasarlanan kullanıcı arayüzünün GNSS uygulamaları kapsamında GPS, GLONASS ve COMPASS gibi diğer uydu seyrüsefer sistemlerini de kapsayacak şekilde geliştirilmesi,
- Tasarlanan kullanıcı arayüzünün farklı programla dilleri kullanılarak video ve animasyon uygulamalarını da destekleyecek şekilde geliştirilmesidir.

KAYNAKLAR

- [1] Agilent Technologies, *GNSS Technologies and Receiver Testing Application Note*, 2013.
<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5991-2288EN.pdf> (17.06.2015)
- [2] Subedi, P., *Software Simulator and Signal Analysis For Galileo E5 Band Signals*, Yüksek Lisans Tezi, Tampere University of Technology, Finland, 2013.
<http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/22275/Subedi.pdf?sequence=3> (05.09.2015)
- [3] Siddiqui, B.A., *Simulink-Based Acquisition Unit For Galileo E1 CBOC Modulated Signals*, Yüksek Lisans Tezi, Tampere University of Technology, Finland, 2009.
<https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/6688/siddiqui.pdf?sequence=3> (11.08.2015)
- [4] Gao, G.X., *Towards Navigation Based on 120 Satellites: Analyzing the New Signals*, Doktora Tezi, Stanford University, Kaliforniya, 2008.
<http://waas.stanford.edu/papers/Thesis/GraceGaoThesis08.pdf> (17.02.2015)
- [5] European Space Agency, *What is Galileo?*, 2015.
http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future_-_Galileo/What_is_Galileo (05.01.2015)
- [6] Berkes, U.L., “GALILEO System Update”, *European Civil GPS Service Interface Committee Meeting-EUROCONTROL*, Brüksel, 2002.
<http://www.gps.gov/cgsic/international/2002/brussels/berkes.pdf> (08.02.2016)
- [7] Carril, P., *Introduction to Galileo*, 2005.
<https://www.hitpages.com/doc/5011883505483776/2#pageTop> (19.05.2015)
- [8] Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. ve Wasle, E., *GNSS-Global Navigation Satellite System GPS, GLONASS, Galileo, and more*, SpringerWienNewYork, Avusturya, ISBN 978-3-211-73012-6, 2008.
- [9] Kornhauser, A.L., *Global Navigation Satellite System (GNSS)*, 2006.
<https://www.princeton.edu/~alaink/Orf467F07/GNSS.pdf> (23.04.2015)

- [10] GMV, *Galileo Future and Evolutions*, 2011.
http://navipedia.net/index.php/GALILEO_Future_and_Evolutions
(01.11.2015)
- [11] Kahveci, M. ve Yıldız, F., *GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri*, Nobel Yayın Evi, Ankara, 4. Basım, ISBN 978-975-591-203-5, 2009.
- [12] Bedrich, S., *Galileo*, 7th International Telecom Sync Forum, Roma, İtalya, 2009.
<http://www.chronos.co.uk/files/pdfs/itsf/2009/Day1/Kayser-Threde%20-%20Galileo%20-%20Future%20European%20PNT%20System.pdf>
(10.03.2015)
- [13] GMV, *Galileo Search and Rescue Service*, 2011.
http://www.navipedia.net/index.php/Galileo_Search_and_Rescue_Service
(01.11.2015)
- [14] Anonim, *Pseudorange*, 2015.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Pseudorange> (04.09.2015)
- [15] Knippers, R., *Satellite-based positioning*, 2010.
http://unstats.un.org/UNSD/geoinfo/UNGEGN/docs/_data_ICAcourses/_HtmlModules/_Documents/D06/documents/D06-04_KnippersPPTeaching.pdf
(03.08.2015)
- [16] Bhuiyan, M.Z.H., “Acquiring and Tracking Galileo and BeiDou Satellites with a Software Receiver Platform”, Finnish Geodetic Institute, Department of Navigation and Positioning, Finland, 2013.
- [17] Kaplan, E.D. ve Hegarty, C.J., *Understanding GPS Principles and Applications*, Artech House, Londra, 2. Basım, ISBN 1-58053-897-0, 2006.
- [18] European Union, “European GNSS (Galileo) Open Service Signal In Space Interface Control Document”, 2010.
http://www.eurosfair.pr.fr/7pc/doc/1286801405_ko3209148enc_002.pdf
(19.03.2015)

- [19] Hein, G.W., Rodriquez, J.A.A., *GNSS Signals and Spectra*, Second meeting of the International Committee on Global Navigation Satellite System (ICG-02), 2007, India.
<http://www.unoosa.org/pdf/icg/2007/icg2/presentations/24.pdf> (05.07.2015)
- [20] Subirana, J.S., Zornoza, JM.J. ve Hernandez-Pajares, M., *Galileo Navigation Message*, 2011.
http://navipedia.net/index.php/GALILEO_Navigation_Message#cite_note-GAL_SIS_ICD_2010-0 (20.08.2015)
- [21] Ciavaglia, L., *GALILEO*, 2013.
- [22] Xiong F., “Digital Modulation Techniques”, Second Edition, Artech House, Londra, 135-206, 2006.
http://www.artechhouse.com/uploads/public/documents/chapters/xiong_863_ch04.pdf (21.05.2015)
- [23] Eroğlu, D.A., Sönmez, M. ve Akbal, A., *Kablosuz Haberleşme Sistemlerinde Mux ve Switch Tabanlı Gerçek Zamanlı Modülatör Tasarımı ve Bit Hata Oranının Hesaplanması*, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Cilt 1, Sayı 2, 2012.
<http://www.yasambilimleridergisi.com/makale/pdf/1356038333.pdf> (19.06.2015)
- [24] Anonim, *Sayısal Modülasyon*, 2013.
http://muhendislik.istanbul.edu.tr/elektrikelektronik/wp-content/uploads/2013/12/iletisim_sayisal_modulasyon.pdf (16.01.2015)
- [25] Huawei, *Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) RAN Fundamental*, 2008.
<http://www.slideshare.net/amadoumichelsidibe/owa200002-wcdma-ran-fundamental-issue-11> (19.03.2015)
- [26] Viswanathan, M., *QPSK Modulation and Demodulation*, 2010.
<http://www.gaussianwaves.com/2010/10/qpsk-modulation-and-demodulation-2/> (18.05.2015)
- [27] What-When-How, *Galileo Signal (GPS and Galileo Receiver)*.
<http://what-when-how.com/a-software-defined-gps-and-galileo-receiver/galileo-signal-gps-and-galileo-receiver-part-2/> (06.02.2015)

- [28] Gleason, S. ve Gebre-Egziabher, D., *GNSS Applications and Methods*, Artech House, Londra, ISBN-13: 978-1-59693-329-3, 2009.
- [29] Usha, G., Prabha, Ch.S. ve Dutt, S.I., “Simulation and Analysis of Binary Offset Carrier Modulation for Modernized Global Navigation Satellite System”, *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, Gitam University, Hindistan, ISSN: 2248-9622, Vol. 2, Issue 3, pp 2298-2304, 2012.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.416.3190&rep=rep1&type=pdf> (16.02.2015)
- [30] Ries, L., Lestarquit, L., Armengou-Miret, E., Legrand, F., Vigneau, W., Bourga, C., Erhard, P. ve Issler, JL., *A Software Simulation Tool for GNSS2 BOC Signals Analysis*, Proceedings of the 15th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation, Portland, 2002.
http://www.researchgate.net/publication/280021571_A_Software_Simulation_Tool_for_GNSS2_BOC_Signals_Analysis (14.05.2015)
- [31] Rodriguez, J.A.Â., *Binary Offset Carrier (BOC)*, 2011.
[http://www.navipedia.net/index.php/Binary_Offset_Carrier_\(BOC\)](http://www.navipedia.net/index.php/Binary_Offset_Carrier_(BOC)) (09.07.2015)
- [32] Acharya, R., *Understanding Satellite Navigation*, Elsevier, USA, ISBN 978-0-12-799949-4, 2014.
- [33] Zhang, J., *Advanced Signal Processing in Multi-mode Multi-frequency Receivers for Positioning Applications*, Doktora Tezi, Tampere University of Technology, Finland, 2013.
<http://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/22913> (20.08.2015)
- [34] Anonim, *Sign function*, 2015.
https://en.wikipedia.org/wiki/Sign_function (01.03.2015)
- [35] Rodriguez J.A.Â., *MBOC Modulation*, 2011.
http://www.navipedia.net/index.php/MBOC_Modulation (15.02.2015)

- [36] Lohan, E.S., Bhuiyan, M.Z.H. ve Hurskainen, H., *MBOC Signal Options: Performance of Multiplexed Binary Offset Carrier Modulations for Modernized GNSS Systems*, *GPS World*, 2011.
<http://gpsworld.com/innovation-mboc-signal-options-11721/> (11.06.2015)
- [37] Rodriguez J.A.Â., *AltBOC Modulation*, 2011.
http://www.navipedia.net/index.php/AltBOC_Modulation (21.09.2015)
- [38] Lestarquit, L., Artaud, G. ve Issler, J.L, “AltBOC for Dummies or Everything You Always Wanted to Know About AltBOC”, ION GNSS 21st. International Technical Meeting of the Satellite Division, Gürcistan, 2008.
<http://docslide.us/documents/altboc-for-dummies-or-everything-you-want-to-know.html> (01.05.2015)
- [39] Changlu, Q., Jing, L. ve Yangzhi, L., “Research of AltBOC Modulation”, 12th The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) International Conference , ISBN: 978-1-4244-6868-3, Nankin, 2010.
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5688541>
 (12.07.2015)
- [40] Rodriguez, J.A.Â., *Power Spectral Density of the AltBOC Modulation*, 2011.
http://www.navipedia.net/index.php/Power_Spectral_Density_of_the_AltBOC_Modulation (09.07.2015)
- [41] Gomez, P.C., *Bayesian Signal Processing Techniques for GNSS Receivers: From Multipath Mitigation to Positioning*, Doktora Tezi, Universitat Politècnica De Catalunya, Barcelona, 2009.
<http://theses.eurasip.org/media/theses/documents/closas-pau-bayesian-signal-processing-techniques-for-gnss-receivers-from-multipath-mitigation-to-positioning.pdf> (05.06.2015)
- [42] GALILEO, “*L1 band part of Galileo Signal in Space ICD (SIS ICD)*”, 2005.
<http://www3.matimop.org.il/1/foreign/Galileo%20Signal.pdf> (07.06.2015)

- [43] Ucar, A., *A Subsampling Delta-Sigma Modulator For Global Navigation Satellite Systems*, Doktora Tezi, University of Westminster, İngiltere, 2010.
http://westminsterresearch.wmin.ac.uk/12229/1/Alper_UCAR.pdf
(02.02.2015)
- [44] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, “Elektrik-Elektronik Teknolojisi Temel Mantık Devreleri”, Ankara, 2012.
http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Temel%20Mantık%20Devreleri.pdf (22.06.2015)
- [45] Büyüksaraçoğlu, F. ve Buluş, E., “Sözde Rastsal Sayı Üretiminin Kriptografik Açından İncelenmesi”, *IV. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu*, Adana, 2009.
http://www.emo.org.tr/ekler/3e6f423ffcbf723_ek.pdf (01.04.2015)
- [46] Anonim, *Linear feedback shift register*, 2015.
http://en.wikipedia.org/wiki/Linear_feedback_shift_register (06.09.2015)
- [47] Anonim, *I. Sayı Sistemleri*, 2015.
http://www2.cbu.edu.tr/users/fatihocal/dosyalar/konu_ekleri/sayi-sistemleri-20.pdf (08.02.2015)
- [48] Robustelli, U., Gaglione, S., Santamaria, R. ve Vultaggio, M., *Galileo signal design: State of Art*, 2009.
http://navigaz.uniparthenope.it/sez_nav/downloads/papers/8_Galileo%20signal%20design%20State%20of%20Art%20.pdf (06.06.2015)
- [49] European Space Agency, *Why Europe Needs Galileo*, 2014.
http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future_-_Galileo/Why_Europe_needs_Galileo (13.11.2015)
- [50] Legat, K. ve Hofmann-Wellenhof, B., “Galileo or for whom the bell tolls”, *Earth Planets Space*, Vol. 52, 2000.
<https://www.terrapub.co.jp/journals/EPS/pdf/5210/52100771.pdf>
(10.06.2015)
- [51] Anonim, *GPS vs. Galileo vs. GLONASS*, 2012.
<http://deltas.blog.com/2012/12/05/gps-vs-galileo-vs-glonass-2/> (10.11.2015)

- [52] Feng, Y., “Combined Galileo and GPS: A Technical Perspective”, *Journal of Global Positioning Systems*, Vol. 2, No. 1, 67-72, 2003.
<http://www.sage.unsw.edu.au/wang/jgps/v2n1/v2n1ForumB.pdf>
 (11.04.2015)
- [53] Anonim, *Aeronautical Mobile Satellite System (AMSS) Applications*, 2004.
<http://html.rincondelvago.com/amss-applications.html> (24.04.2015)
- [54] Global Telecoms Insight, *Galileo*.
<http://www.mobilecomms-technology.com/projects/galileo/> (05.05.2015)
- [55] Gao, G.X., Akos, D., Walter, T. ve Enge, P., “Understanding the GIOVE-B Broadcast Codes of the Galileo System”, *IEEE Asilomar Conference on Signals*, Kaliforniya, 2008.
http://gracegao.ae.illinois.edu/publications/conference/IEEE_Asilomar_GIOVEB_11262008_GraceGao_1432.pdf (25.03.2015)
- [56] Gao, G.X., Spilker, J., Walter, T. ve Enge, P., “Code Generation Scheme and Property Analysis of Broadcast Galileo L1 and E6 Signals”, *ION Global Navigation Satellite Systems Conference*, Teksas, 2006.
http://waas.stanford.edu/papers/Gao_IONGNSS_2006.pdf (07.03.2015)
- [57] Aguilar, J.J.B., *Development of a GALILEO Signal Simulator*, 2003.
<http://microelectronics.esa.int/papers/GalSimBorras-Jan2003.pdf>
 (25.04.2015)
- [58] KOVÁŘ, P., Kačmařík, P. ve Vejražka, F., *Economic Galileo E5 Receiver*, Vol. 21, Issue 1, 2012.
http://www.radioeng.cz/fulltexts/2012/12_01_0346_0355.pdf (05.01.2015)
- [59] Macchi, F., *Development and Testing of an L1 Combined GPS-Galileo Software Receiver*, Yüksek Lisans Tezi, University of Calgary, UCGE Raporu, No:20297, Kanada, 2010
http://www.ucalgary.ca/engo_webdocs/GL/10.20297.FMacchi.pdf
 (21.01.2015)
- [60] Sleewaegen, J.M, Wilde, D.W. ve Hollreiser, M., *Galileo AltBOC Receiver*, 2010.

- [61] Blunt, P., *Advanced Global Navigation Satellite System Receiver Design*, Doktora Tezi, University of Surrey, İngiltere, 2007.
http://www.gnssapplications.org/downloads/chapter2/PhDThesis_Blunt.pdf
(17.05.2015)
- [62] Pany, T., Eissfeller, B. ve Winkel, J., *Tracking of High Bandwidth GPS/Galileo Signals with a Low Sample Rate Software Receiver*, 2003.
http://www.researchgate.net/publication/228869507_Tracking_of_High_Bandwidth_GPSGalileo_Signals_with_a_Low_Sample_Rate_Software_Receiver
(02.06.2015)
- [63] Ghavami, S. ve Abolhassani, B., “Blind Chip Rate Estimation in Multirate CDMA Transmissions Using Multirate Sampling at Slow Flat Fading Channels”, *11th IEEE Singapore International Conference*, Guangzhou, 2008.
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4737402>
(05.03.2015)
- [64] Anonim, *Hızlı Fourier dönüşümü*, 2014.
http://tr.wikipedia.org/wiki/Hızlı_Fourier_dönüşümü (11.08.2015)
- [65] N2YO, *GPS Operational Satellites Up In Your Sky Right Now*, 2015.
<http://www.n2yo.com/whatsup.php> (06.06.2015)

Ek-1. ASCII 7 Bitlik kod dizilimleri.

Karakter	İkili Sayı Sistem Karşılığı	Karakter	İkili Sayı Sistem Karşılığı
	0100000	C	1000011
!	0100001	D	1000100
“	0100010	E	1000101
#	0100011	F	1000110
\$	0100100	G	1000111
%	0100101	H	1001000
&	0100110	I	1001001
(	0101000	J	1001010
)	0101001	K	1001011
*	0101010	L	1001100
+	0101011	M	1001101
,	0101100	N	1001110
-	0101101	O	1001111
.	0101110	P	1010000
/	0101111	Q	1010001
0	0110000	R	1010010
1	0110001	S	1010011
2	0110010	T	1010100
3	0110011	U	1010101
4	0110100	V	1010110
5	0110101	W	1010111
6	0110110	X	1011000
7	0110111	Y	1011001
8	0111000	Z	1011010
9	0111001	a	1100001
:	0111010	b	1100010
;	0111011	c	1100011
<	0111100	d	1100100
=	0111101	e	1100101
>	0111110	f	1100110
?	0111111	g	1100111
@	1000000	h	1101000
A	1000001	i	1101001
B	1000010	j	1101010

Ek-1. ASCII 7 Bitlik kod dizilimleri (devamı).

Karakter	İkili Sayı Sistem Karşılığı	Karakter	İkili Sayı Sistem Karşılığı
k	1101011	x	1111000
l	1101100	y	1111001
m	1101101	z	1111010
n	1101110	[	1011011
o	1101111	\	1011100
p	1110000	]	1011101
q	1110001	^	1011110
r	1110010	_	1011111
s	1110011	`	1100000
t	1110100	{	1111011
u	1110101	|	1111100
v	1110110	}	1111101
w	1110111	~	1111110