OTOMATİK BAĞIMLI İZLEME SİSTEMİ (ADS-B) ALICI YER İSTASYONU TASARIMI

Mehmet Onur BOSTANCI

Yüksek Lisans Tezi

Havacılık Elektrik ve Elektroniği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hakan OKTAL

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ocak 2021

ÖZET

OTOMATİK BAĞIMLI İZLEME SİSTEMİ (ADS-B) ALICI YER İSTASYONU TASARIMI

Mehmet Onur BOSTANCI

Havacılık Elektrik ve Elektroniği Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2021

Danışman: Prof. Dr. Hakan OKTAL

Hızla gelişen teknoloji ile birlikte günümüz modern yaşamında artık insanlar, zamanla yarışmakta ve hızlı olanı tercih etmektedir. Bir yıl öncesine kadar hava trafiğinin yoğunluğu üstel bir hızla artmakta iken, tüm dünyayı saran COVID-19 salgını sebebiyle hareketliliğin azalmasının da bir sonucu olarak dünya genelinde uçuş seferleri de önemli ölçüde azalmıştır. Bununla birlikte içinde bulunduğumuz bu salgın sürecinin sonunda hava trafiğinin yoğunluğunun kaldığı yerden artarak devam edeceğini öngörmek çok zor değildir.

Hava trafiğinin artmasıyla beraber hava sahasının daha fazla uçak tarafından kullanılması ihtiyacı doğmuştur. Ancak, radarların gelecekteki hava trafiğinin takibi konusunda yetersiz kalacağının öngörülmesiyle yeni bir sistemin geliştirilmesine karar verilmiştir. Bu doğrultuda hava trafiğinin hem hava trafik kontrolörleri tarafından, hem de seyir esnasında pilotlar tarafından takip edilmesine, hava taşımacılığının daha emniyetli olmasına, hava sahasının daha fazla uçak tarafından kullanılmasına imkân sağlayan ADS-B (Automatic Dependent Surveillance- Broadcast) sistemi ortaya çıkmıştır.

Bu tez çalışmasında sadece ADS-B mesajlarından sağlanan veriler kullanılarak hava trafiğinin emniyeti açısından risk barındıran uçakların hava trafik kontrolörüne uyarı şeklinde bildirilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada hem ADS-B mesajlarının üretilmesi için özgün bir simülasyon ortamı, hem de özgün bir ADS-B mesaj çözümleyici yazılım geliştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: ADS-B, MODE-S, Hava trafik kontrol, Uçuş emniyeti, Hava trafiği ayırma limitleri.

ABSTRACT

THE DESIGN OF AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE–BROADCAST (ADS-B) RECEIVER GROUND STATION

Mehmet Onur BOSTANCI

Department of Avionics

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, January 2021

Supervisor: Prof. Dr. Hakan OKTAL

With the rapidly developing technology, in today's modern life, people compete against the time and prefer the faster one. While the density of air traffic was increasing at an exponential rate until a year ago, flights around the world have also decreased significantly as a result of the decrease in mobility due the epidemic COVID-19 disease that has spread all over the world. However, at the end of this epidemic, it is not very difficult to predict that the density of air traffic will continue from where it left off.

With the increase in air traffic, the airspace is needed to be used by more aircrafts. However, it was predicted that radars would be insufficient for future air traffic surveillance and it was decided to develop a new system. As a result, the ADS-B (Automatic Dependent Surveillance- Broadcast) system has been designed, which allows air traffic to be monitored by both air traffic controllers and pilots during cruise, air transportation bocome safer and airspace can be used by more aircraft.

Within the scope of this thesis, it is aimed to inform the air traffic controller about the aircrafts that pose a risk in terms of the safety of air traffic by using only the data obtained from ADS-B messages. In this study, both a unique simulation environment for generating ADS-B messages and a unique ADS-B message parser software have been developed.

Keywords: ADS-B, MODE-S, Air traffic control, Flight safety, Air traffic separation limits.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimimin başından sonuna kadar bana destek olan danışmanım Prof. Dr. Hakan OKTAL başta olmak üzere; bu çalışmamın konusunu belirlememde bana yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Kadriye YAMAN'a, hava trafik kontrolü konusunda her zaman bana destek olan Öğr. Üyesi Ertan ÇINAR'a, simülasyon tarafında kullandığım harita kütüphanesi olan Openlayers ile beni tanıştıran Bayram BAŞDUVAR'a ve javascript dili konusunda her ihtiyaç duyduğumda bana destek olan Yasin KIZILKAYA'ya teşekkürlerimle…

Mehmet Onur BOSTANCI

20/01/2021

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan "bilimsel intihal tespit programı"yla tarandığını ve hiçbir şekilde "intihal içermediğini" beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Mehmet Onur BOSTANCI

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI ..... **İ**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI ..... **İİ**

ÖZET ..... **İİİ**

ABSTRACT ..... **İV**

TEŞEKKÜR ..... **V**

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ ..... **Vİ**

İÇİNDEKİLER ..... **Vİİ**

TABLOLAR DİZİNİ ..... **X**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **Xİİ**

GÖRSELLER DİZİNİ ..... **Xİİİ**

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **XV**

1. GİRİŞ **1**

2. ADS-B NEDİR? **3**

2.1. Radarlara Dayalı Hava Trafiği İzleme Tekniği **3**

2.1.1. Birincil izleme radarı (PSR) **3**

2.1.2. İkincil izleme radarı (SSR) **4**

2.2. İzleme Yayını Servisleri Sistemi **5**

2.2.1. Otomatik bağımlı izleme yayını (ADS-B) **6**

2.2.2. Otomatik bağımlı izleme tekrar yayını (ADS-R) **7**

2.2.3. Trafik bilgi servisi yayını (TIS-B) **8**

2.2.4. Uçuş bilgi servisi yayını (FIS-B) **9**

2.2.5. Otomatik bağımlı izleme kontratı (ADS-C) **9**

2.2.5.1. Periyodik kontrat ***10***

2.2.5.2. Talep kontratı ***11***

2.2.5.3. Acil raporlar ***12***

2.2.5.4. Olay kontratı ***13***

2.3. Radarlar Yerlerini Neden SBSS Sistemlerine Bırakıyor? **13**

2.4. ADS-B Mesajları 14
2.4.1. Uçak kimliği (Çağrı adı) ve kategorisi mesaj paketi 16
2.4.2. Yeryüzü konumu mesaj paketi 18
2.4.2.1. Yer hızı 19
2.4.2.2. Baş açısı 19
2.4.2.3. Konum 20
Küresel kesin konum çözümleme örneği 21
Yerel kesin konum çözümleme örneği 24
2.4.3. Seyir konumu mesaj paketi 25
2.4.3.1. İrtifa 27
Barometrik irtifa bilgisinin çözümlenmesi 27
GNSS irtifa bilgisinin çözümlenmesi 28
2.4.3.2. Konum 28
Küresel kesin konum çözümleme örneği 29
Yerel kesin konum çözümleme örneği 33
2.4.4. Seyir hızı mesaj paketi 36
2.4.4.1. Alt tip 1 ve 2: Yer hızı mesajları 39
2.4.4.2. Alt tip 3 ve 4: Hava hızı mesajları 42
2.4.5. Uçak durumu mesaj paketi 43
2.4.6. Hedeflenen durum ve mevcut durum bilgisi mesaj paketi 44
2.4.7. Uçağın operasyonel durumu mesaj paketi 52
2.4.7.1. Seyir durumu mesajı (Alt tip 0) 55
2.4.7.2. Yer durumu mesajı (Alt tip 1) 58

3. ADS-B MESAJ SİMÜLATÖRÜ (ADS-B SIM) 61

3.1. ADS-B SIM'in İşlevleri 63
3.1.1. Senaryo seçimi ve yürütülmesi 63
3.1.2. Uçak ikonları ve özellikleri 63
3.1.3. ADS-B mesajları 65
3.1.4. Hava trafiğinin ayırma limitlerinin takibi 71

4. SONUÇ 75

KAYNAKÇA 78

EKLER 80

ÖZGEÇMİŞ

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. ADS-B donanım çeşitleri (Surveillance and Broadcast Services Description Document, 2011, s. 13 of 132) 6
Tablo 2.2. MODE-S Mesaj paketinin bölümleri 15
Tablo 2.3. ADS-B mesaj tip kodları ve içerikleri 15
Tablo 2.4. ADS-B mesajı ile gönderilen kategori bilgisi (Versiyon 1ve Versiyon 2) (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, s. B-33,C-65) 17
Tablo 2.5. ADS-B yeryüzü konumu mesaj yapısı 19
Tablo 2.6. ADS-B yeryüzü konumu mesaj paketinde yer hızının kodlama aralıkları 19
Tablo 2.7. Örnek yer konumu mesaj paketleri 21
Tablo 2.8. Örnek yeryüzü konumu mesaj paketlerinin MODE-S bit alanlarına bölünmesi (Hex format) 22
Tablo 2.9. Örnek yeryüzü konumu mesaj paketlerinin ADS-B bit alanlarına bölünmesi (İkili format) 22
Tablo 2.10. Örnek yeryüzü konumu mesaj paketinin MODE-S bit alanlarına bölünmesi (Hex format) 24
Tablo 2.11. Örnek yeryüzü konumu mesaj paketinin ADS-B bit alanlarına bölünmesi (İkili format) 24
Tablo 2.12. ADS-B seyir konumu mesajı bit alanları 26
Tablo 2.13. İzleme durumu tanımlı değerleri (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, 2020, s. C-62) 27
Tablo 2.14. Seyir hızı mesajının alt tip mesajlarının ortak bit alanları 37
Tablo 2.15. NUC_R bit alanı için tanımlı değerler (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, 2020, s. A-34) 38
Tablo 2.16. Yer hızı mesajının bit alanları 39
Tablo 2.17. Hava hızı mesajının bit alanları 42
Tablo 2.18. Seyir Hızı mesajına ait örnek alt tip 3 mesajı ME [14,35] bitlerinin değerleri 43
Tablo 2.19. Uçak durumu mesajının bit alanları (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, s. A-69,B-36,C-69) 44

Tablo 2.20. Uçak durumu mesajı alt tip kodları (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, s. A-69,B-36,C-69) 44
Tablo 2.21. Acil durum kodları 44
Tablo 2.22. Hedeflenen durum mesajı bit alanları 46
Tablo 2.23. Düşey veri kaynağı bit alanının tanımlı değerleri ve anlamları 47
Tablo 2.24. Hedef irtifa kabiliyeti bit alanı tanımlı değerlerin anlamları 47
Tablo 2.25. Düşey durum göstergesi bit alanı tanımlı değerleri 48
Tablo 2.26. Yatay veri kaynağı bit alanının tanımlı değerleri ve anlamları 49
Tablo 2.27. Yatay durum göstergesi bit alanının tanımlı değerleri ile anlamları 49
Tablo 2.28. Seyrüsefer doğruluk kategorisi-Konum bit alanının tanımlı değerleri 50
Tablo 2.29. İzleme bütünlük (Integrity) seviyesi bit alanının tanımlı değerleri 51
Tablo 2.30. Kabiliyet/Mod bit alanının tanımlı değerleri ve anlamları 52
Tablo 2.31. Seyir durumu ve yer durumu mesajlarının ortak bit alanları 53
Tablo 2.32. ADS-B Versiyon numarası bit alanı için tanımlı değerler 53
Tablo 2.33. NIC değerleri (Seyir konumu mesajı için) (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, s. C-35) 54
Tablo 2.34. NIC değerleri (Yer konumu mesajı için) (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, s. C-35) 54
Tablo 2.35. Kaynak bütünlük (Integrity) seviyesi tanımlı değerleri 55
Tablo 2.36. Seyir durumu mesajın bit alanları 55
Tablo 2.37. Seyir kabiliyeti sınıfı bit alanları 56
Tablo 2.38. Seyir operasyonel modu bit alanları 57
Tablo 2.39. Sistem Tasarım Güvencesi (Assurance) Değerleri (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, s. C-38) 57
Tablo 2.40. Geometrik düşey doğruluk değerleri 57
Tablo 2.41. Yer durumu mesajının bit alanları 58
Tablo 2.42. Yer kabiliyeti sınıfı bit alanları 59
Tablo 2.43. Yer operasyonel modu bit alanları 60

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. MODE-S mesaj paketinin yapısı 14
Şekil 2.2. ADS-B uçak kimliği ve kategorisi mesajı bit alanları 16
Şekil 2.3. ADS-B mesajlarında kullanılan harf kodları 16
Şekil 2.4. ADS-B yeryüzü konumu mesajı bit alanları 18
Şekil 2.5. ADS-B seyir konumu mesaj yapısı 26
Şekil 2.6. Alt tip 1 ve 2 mesajlarının bit alanları 36
Şekil 2.7. Alt tip 3 ve 4 mesajlarının bit alanları 36
Şekil 2.8. ADS-B Uçak durumu mesajı bit alanları 43
Şekil 2.9. Hedeflenen durum mesajı bit alanları 45
Şekil 2.10. Seyir durumu mesajının bit alanları 52
Şekil 2.11. Yer durumu mesajının bit alanları 52

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 2.1. Birincil izleme radarı çalışma prensibi 4
Görsel 2.2. İkincil izleme radarı çalışma prensibi 4
Görsel 2.3. PSR ve SSR sistemlerinin birlikte çalışması (ATPL Book 11 Radio Navigation, 2014, s. 228) 5
Görsel 2.4. İzleme yayını servisleri sistemi (SBSS) (Surveillance and Broadcast Services Description Document, 2011, s. 12 of 132) 5
Görsel 2.5. ADS-B mesajlarının SBSS içerisinde dolaşımı (Surveillance and Broadcast Services Description Document, 2011, s. 15 of 132) 7
Görsel 2.6. ADS-R sisteminin veri akışı (Surveillance and Broadcast Services Description Document, 2011, s. 16 of 132) 8
Görsel 2.7. TIS-B sisteminin veri akışı (Surveillance and Broadcast Services Description Document, 2011, s. 17 of 132) 8
Görsel 2.8. FIS-B sisteminin veri akışı (Surveillance and Broadcast Services Description Document, 2011, s. 18 of 132) 9
Görsel 2.9. Yeni ADS-C periyodik kontrata geçiş (Global Operational Data Link (GOLD) Manual, 2016, s. 1-42) 11
Görsel 2.10. ADS-C acil durum ve acil durum iptal raporlamalarının işleyişi (Global Operational Data Link (GOLD) Manual, 2016, s. 1-43) 12
Görsel 2.11. ADS-C olay kontratı işleyişi (Global Operational Data Link (GOLD) Manual, 2016, s. 1-44) 13
Görsel 2.12. ADS-B'nin radar sistemlerine karşı üstünlükleri (ADS-B Introduction, 2020, s. 10) 14
Görsel 2.13. ADS-B Uçak kimlik mesajının çözümlenme örneği 17
Görsel 2.14. ADS-B seyir konumu mesajı örneği 1 30
Görsel 2.15. ADS-B seyir konumu mesajı örneği 2 31
Görsel 2.16. ADS-B seyir konumu mesajı örneği 3 34
Görsel 2.17. ADS-B yer hızı mesaj örneği 41
Görsel 2.18. Hedeflenen irtifa değerinin kodlanışının anlatımı (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, 2020, s. B-13) 48
Görsel 3.1. ADS-B SIM genel görünümü 62
Görsel 3.2. ADS-B SIM senaryo seçimi 63

Görsel 3.3. Harita üzerinde uçakların anlık bilgilerinin gösterimi..... 64
Görsel 3.4. Bilgi etiketlerinin sürükle-bırak özelliği 64
Görsel 3.5. Uçağın geçmiş rotasının gösterimi 65
Görsel 3.6. ADS-B SIM'in ADS-B mesajlarına ait tablosu..... 65
Görsel 3.7. ADS-B SIM tarafından çözümlenen uçak kimliği mesajı 66
Görsel 3.8. ADS-B SIM tarafından çözümlenen seyir konumu mesajı (Tip kod 9)..... 67
Görsel 3.9. ADS-B SIM tarafından çözümlenen seyir konumu mesajı (Tip kod 10) 68
Görsel 3.10. ADS-B SIM tarafından çözümlenen seyir hızı mesajı 69
Görsel 3.11. ADS-B SIM tarafından çözümlenen uçağın seyir durumu mesajı 70
Görsel 3.12. ADS-B SIM tarafından sağlanan potansiyel çakışma uyarısı 71
Görsel 3.13. ADS-B SIM tarafından sağlanan çakışma uyarısı..... 71
Görsel 3.14. ADS-B SIM tarafından sağlanan çakışma uyarısının kalkması 72
Görsel 3.15. Yeterli irtifa ayrımının olduğu durum 72
Görsel 3.16. İrtifa değişimi çakışmasının öncesi 73
Görsel 3.17. ADS-B SIM tarafından sağlanan irtifa değişimi çakışması uyarısı..... 73
Görsel 3.18. İrtifa değişimi çakışması sonrası emniyetli durum..... 73
Görsel 3.19. Esenboğa Havalimanı bölgesinde uygulanan 3NM olarak uygulanan ayırma limiti..... 74
Görsel 4.1. Eurocontrol tarafından planlanan ADS-B sistemine geçiş planı (SESAR Deployment Manager, 2021) 76
Görsel 4.2. ADS-B sisteminin zorunlu olduğu ülkeler (SESAR Deployment Manager, 2021)..... 77
Görsel 4.3. ADS-B sisteminin Türkiye'de zorunlu olmadığını gösteren harita (SESAR Deployment Manager, 2021) 77

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ACAS	:	Airborne Collision Avoidance System
ADS	:	Automatic Dependent Surveillance
ADS-B	:	Automatic Dependent Surveillance- Broadcast
ADS-C	:	Automatic Dependent Surveillance- Contract
ADS-R	:	Automatic Dependent Surveillance- Rebroadcast
ASDE-X	:	Airport Surface Detection Equipment, Model X
ATC	:	Air Traffic Control
ATSU	:	Air Traffic Service Unit
CPR	:	Compact Position Repoting
CRC	:	Cyclic Redundancy Check
EPU	:	Estimated Position Uncertainty
ES	:	Extended Squitter
FAA	:	Federal Aviation Administration
FCU	:	Flight Control Unit
FIS-B	:	Flight Information Service- Broadcast
FMS	:	Flight Management System
GPS	:	Global Positioning System
GNSS	:	Global Navigation Satelite System
HFOM	:	Horizontal Figure of Merit
IAS	:	Indicated Air Speed
IFF	:	Identification Friend and Foe
IFR	:	Instrument Flight Rules
LDE	:	Lateral Deviation Event
LRDE	:	Level Range Deviation Event
MKS	:	Metre-Kilogram-Santimetre
MCP	:	Mode Control Panel
NAS	:	National Airspace System
NUC	:	Navigation Uncertainty Category
PSR	:	Primary Surveillance Radar
RADAR	:	Radio Detection And Ranging

RNAV	:	Area Navigation
RTCA	:	Radio Technical Commission for Aeronautics
RVSM	:	Reduced Vertical Separation Minima
SBSS	:	Surveillance Broadcast Services System
SPI	:	Special Position Identification
SPI	:	Standardized Precipitation Index
SSR	:	Secondary Surveillance Radar
TIS-B	:	Traffic Information Service- Broadcast
TAS	:	True Airspeed
TCAS-RA	:	Traffic Collision Avoidance System Resolution Advisory
UAT	:	Universal Access Transceiver
VEPU	:	Vertical Estimated Position Uncertainty
VRE	:	Vertical Rate Change Event
WCE	:	Waypoint Change Event

1. GİRİŞ

Günümüzde sivil alanda kullandığımız pek çok teknoloji gibi hava trafiğinin takibinde kullandığımız radarlar da askeri teknolojinin gelişimi ile birlikte doğmuştur.

Radarların teorik olarak gelişimi 19. yüzyılın sonuna dayanmaktadır. Elektromanyetik teorinin James Clerk Maxwell tarafından keşfedildiği 1860'lardan bu zamana, farklı farklı bilim ve teknoloji alanının temeli atıldı. Yine 19. yüzyılın sonunda Heinrich Hertz, hem elektromanyetik dalgaların varlığını ispat etti hem de metallerin radyo dalgalarını yansıttığını kanıtladı. Devamında ise hemen 20. yüzyılın başında, nesnelerin kısa menzilli yön bilgilerini elde etmek için radyo dalgalarını kullanan çeşitli sistemler geliştirildi. Alman mucit Christian Hulsmeyer, 1904'te metal nesneleri tespit etmek maksadıyla radyo dalgalarını kullanan ilk insan olarak kabul edilir.

İkinci Dünya Savaşına kadar radarlar konusunda kayda değer bir gelişme görülmemektedir. Ancak, teknoloji yarışında Almanların gerisinde kalmaktan endişe duyan İngiliz Hava Bakanlığı yetkilileri tarafından ortaya konan aşağıdaki konseptte sözü edilen teknoloji geliştirilerek savaş sürecinde Amerikalılarla paylaşıldı.

"Gönderilen elektromanyetik enerjinin bir kısmı uçaklardan yansıyarak geri gelir. Geri gelen bu yansımaları algılamak mümkündür ve bu yansımalar analiz edilerek uçağın konumu hesaplanır."

Bu konsept bakanlık tarafından kabul edildi ve bu şekilde birinci nesil radarların ilk yaygın kullanımı başlamış olup; savaştan sonra sivil havacılık alanında da radarlar büyük bir yer edinmiştir.

Burada bahsedilen teknoloji, havacılıkta birincil izleme radarları olarak bilinen radarlardır. Bu radarlar çevreyi tarayarak uçakları ve diğer nesneleri saptamaktadır. İlerleyen teknoloji ile birlikte uçakları sadece nesne olarak algılamanın yanı sıra kimlik tespitinin yapılabilmesi için bu radarları daha sonra sorgu-cevap prensibiyle çalışan ikincil izleme radarları takip etmiştir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde ADS-B sistemi tanıtılırken birincil ve ikincil izleme radarları dahil hava trafiğini izlemeye yardımcı olan diğer sistemler tanıtılmıştır. Bu çalışmanın üçüncü bölümünde ise geliştirilen ADS-B mesaj simülatörü ve kabiliyetleri açıklanmıştır.

Bu çalışma sayesinde kendi özgün ADS-B mesaj çözümleyicimiz geliştirilmiştir. Ayrıca yeni bir konum raporlama tekniği ya da başka bir veri paketinin kodlanarak iletilmesi durumunda veri aktarım kalitesinin önden test edilebilmesini sağlayacak bir simülasyon alt yapısı ortaya konmuştur. Hava trafiğinin emniyeti açısından ise çözümlenen ADS-B mesajlarından elde edilen verilerin sürekli takip edilmesi ile riskli durumların önceden tespit edilmesi sağlanmıştır. Bu geliştirilen altyapının -kullanıcı ara yüzü dahil- mevcut hava trafiği takip sistemine entegre edilmesi ile gerçek anlamda yerli bir hava trafik kontrolörü konsolu elde edilebilecektir. Ayrıca çalışmada geliştirilen yazılıma, mevcut ADS B sistemlerinde bulunmayan ve kontrolörlerin işlerini kolaylaştıracak uçak çarpışma riski uyarı mekanizması eklenmiştir.

2. ADS-B NEDİR?

Otomatik Bağımlı İzleme Yayını (ADS-B), hava trafiğinin daha emniyetli ve maliyet etkin bir şekilde takip edilmesini sağlamak için mevcut MODE-S sistemine yeni bir veri formatı ekleyerek yapılmış olan bir yükseltmenin adıdır. Bu geliştirme, uçak tarafında transponder yenilenerek veya ADS-B OUT ekipmanı eklenerek sağlanırken; yer tarafında ise, ADS-B alıcı istasyonları kurularak hayata geçirilir.

Otomatik Bağımlı İzleme (ADS) ise uçağın bir veri bağlantısı aracılığıyla konumu ve kimliği dahil olmak üzere, araç içi seyrüsefer ve konum tespit sistemlerinden elde edilen verileri otomatik olarak etrafına yayınladığı bir izleme tekniğidir.

Sivil havacılık otoriteleri tarafından 1 Ocak 2020 tarihi ile uçakların ADS-B yayını yapmaları zorunlu kılınmıştır. Aşağıda bu sistemin daha iyi anlaşılabilmesi için hava trafiğinin izlenmesinin hem radarlar vasıtasıyla nasıl yapıldığı hem de ADS-B'nin içinde bulunduğu İzleme Yayını Servisleri Sistemi (Surveillance Broadcast Services System - SBSS) anlatılmıştır.

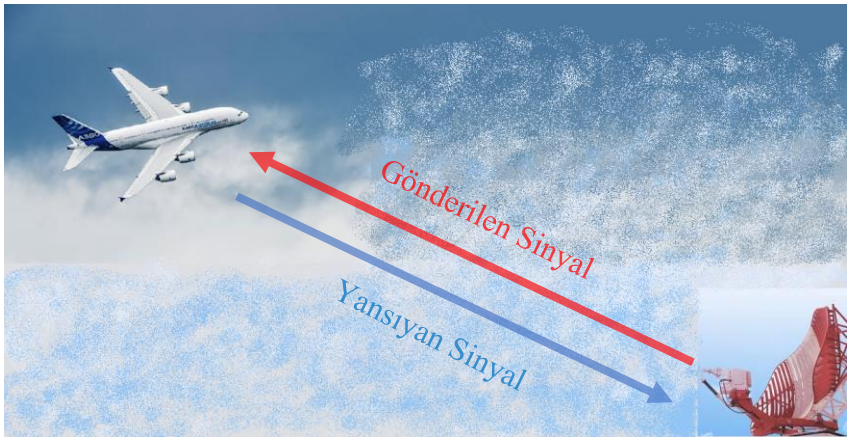
2.1. Radarlara Dayalı Hava Trafiği İzleme Tekniği

RADAR (Radio Detection And Ranging), radyo dalgalarının yansıması yardımıyla uzaktaki nesneleri ve bu nesnelerin hız, konum ve mesafesini tespit eden cihazdır. Hava trafiğinin takibi için kullanılan iki çeşit radar mevcuttur.

Bunlar, Birincil İzleme Radarı (PSR) ve İkincil İzleme Radarı (SSR) olarak isimlendirilir.

2.1.1. Birincil izleme radarı (PSR)

Yayınladığı radyo dalgalarının yansımalarını analiz ederek kapsama alanındaki hareket eden varlıkları algılar. Bu takipte uçaklar **Görsel *2.1***'de gösterildiği gibi pasif bir unsurdur. Bu radarlar uçakları algıladığı gibi bulut ve kuş sürüsü gibi takibi istenilmeyen varlıkları da algılar. Bu sebeple, bu birinci seviye algılamanın yanında bir de tanımlayarak ayırt etme ihtiyacı bulunmaktadır.



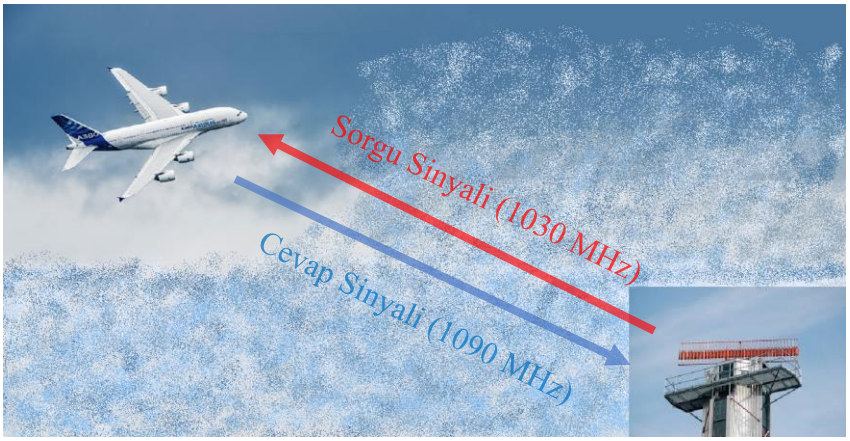
Görsel 2.1. *Birincil izleme radarı çalışma prensibi*

2.1.2. İkincil izleme radarı (SSR)

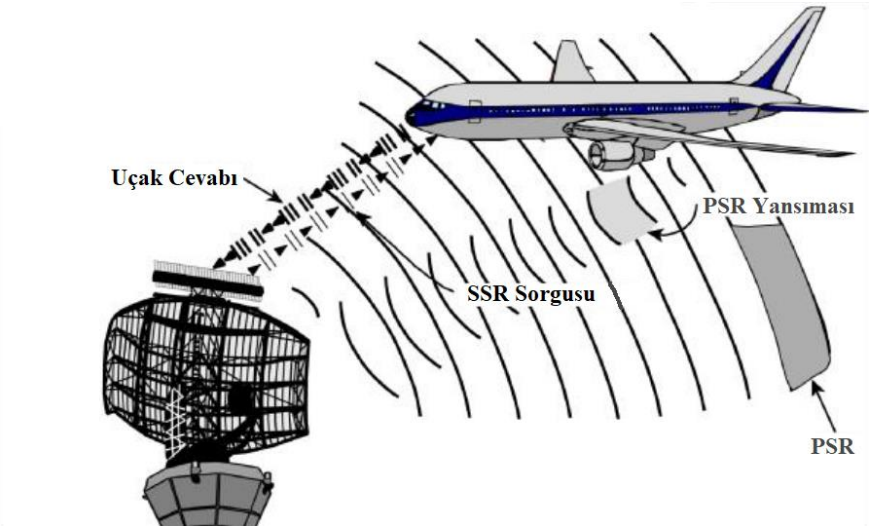
Hava taşıtlarının konumunu tespit etmenin yanı sıra taşıttaki Transponder veya Dost Düşman Tanıma (IFF) ile haberleşebilen ve çeşitli verileri derleyip Hava Trafik Kontrol (ATC) ünitesine ileten gelişmiş radar bir sistemidir. Bu takipte uçaklar **Görsel *2.2***'de gösterildiği gibi aktif bir unsurdur.

Bu radarlar 1030 Mhz frekansında sorgu sinyali yayınlar. Bu sorgu sinyali uçak üzerindeki Transponder ve Dost Düşman Tanıma (IFF) ünitesi tarafından algılandığında 1090 MHz frekansında bir cevap sinyali yollanır. Uçaktan alınan cevap ile uçağın kimlik ve pozisyon tespiti yapılmaktadır.

Birincil ve İkincil İzleme Radarları birbirleri ile entegre çalışmaktadır. Bu birlikte çalışma şekli **Görsel *2.3***'te gösterilmiştir.



Görsel 2.2. *İkincil izleme radarı çalışma prensibi*

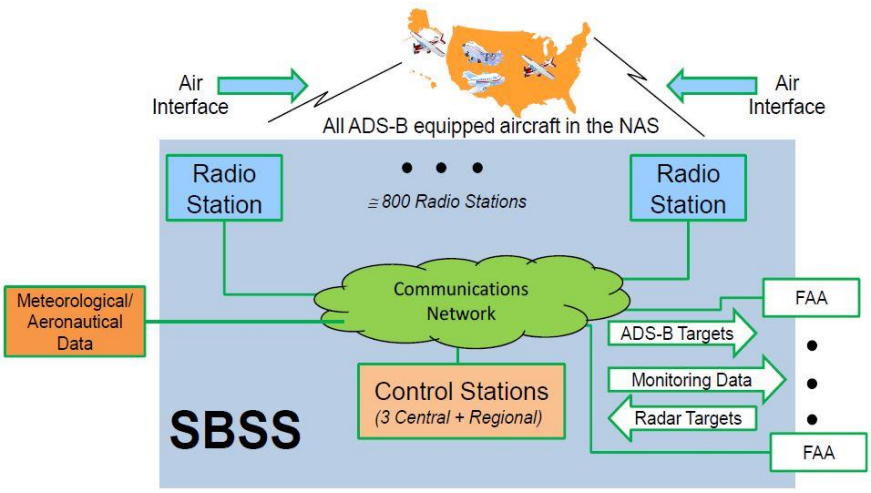


Görsel 2.3. *PSR ve SSR sistemlerinin birlikte çalışması (ATPL Book 11 Radio Navigation, 2014, s. 228)*

2.2. İzleme Yayını Servisleri Sistemi

ADS-B'nin daha iyi anlaşılabilmesi için burada kısaca radarlardan ve uçaklardan gelen verilerin işlendiği İzleme Yayını Servisleri Sistemi'ne (SBSS) kısaca değinilecektir.

İzleme Yayını Servisleri Sistemi, uçakların takibi için farklı merkezlerden gelen verilerin işlenerek hava trafik kontrol merkezlerine ulaştırılmasını sağlayan sistemdir. ADS bu sistemin bir parçasıdır. Aşağıdaki **Görsel *2.4***'te görüldüğü gibi yaklaşık 800 radyo istasyonundan alınan verilerin ve meteoroloji bilgilerinin işlenerek 3'ü merkezi olmak üzere çok sayıdaki kontrol merkezine ve sivil havacılık otoritesine ait merkezlere ulaştırılması sağlanmaktadır.



Görsel 2.4. *İzleme yayını servisleri sistemi (SBSS) (Surveillance and Broadcast Services Description Document, 2011, s. 12 of 132)*

2.2.1. Otomatik bağımlı izleme yayını (ADS-B)

Bu çalışmanın esas konusunu teşkil eden ADS-B sistemi, uçağın kendi ekipmanları ile elde ettiği yer ve hava hızı, baş açısı, tırmanma hızı, konum ve irtifa verilerini otomatik olarak, hiçbir pilot işlemi gerektirmeden, uçağın yayınlamasına dayanan bir sistemdir. Bu yayınlanan ADS-B mesajları alıcı yer istasyonları ile çevredeki ADS-B IN ekipmanına sahip uçaklar tarafından alınarak işlenir. Yer istasyonları verileri Hava Trafik Kontrol merkezlerine ileterek Hava Trafiğinin İzlenmesini sağlarken; ADS-B IN ekipmanı ise pilotun çevresindeki hava trafiğini kokpitte görebilmesine olanak sağlar.

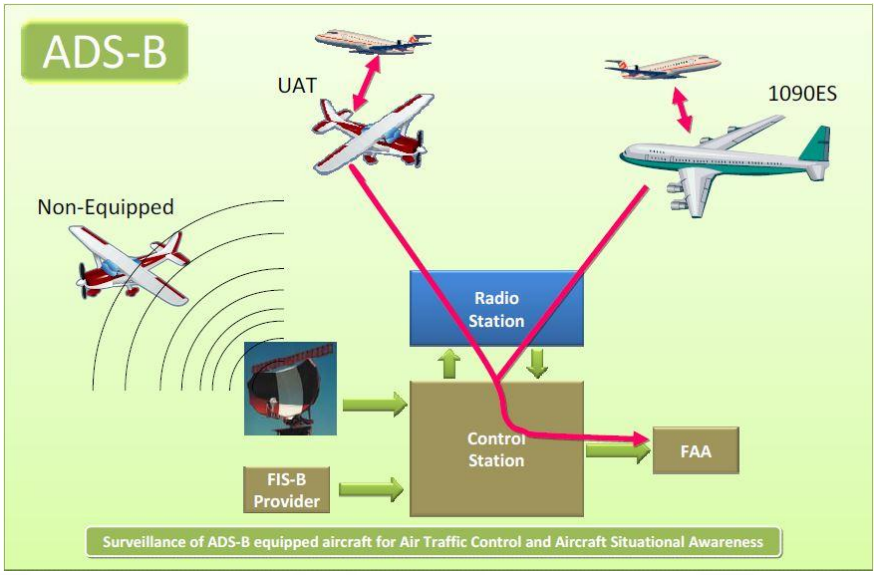
2020 yılına kadar 18000 ft ve üstü uçan uçaklarda 1090ES tipi ADS-B OUT ekipmanını; 18000 ft altı uçan uçakların ise UAT veya 1090ES tipi ADS-B ekipmanlarının en az biriyle donatılması zorunlu kılınmıştır. (Surveillance and Broadcast Services Description Document, 2011, s. 13 of 132)

Yukarıdaki kural metninden de anlaşılacağı üzere, sertifikasyon almış iki farklı ADS-B donanım çeşidi mevcuttur. Bu donanımlar **Tablo *2.1***'de kısaca tanıtılmıştır.

Tablo 2.1. *ADS-B donanım çeşitleri (Surveillance and Broadcast Services Description Document, 2011, s. 13 of 132)*

Donanım Çeşidi	Açıklama	Uygulanabilirlik
ADS-B 1090 Extended Squitter (ES)	Uçağın kimliğini, durumunu (pozisyon ve hız) ve başka uçağın durum bilgisini 1090 MHz frekansındaki kısa mesajlarla devamlı yayınlayan bir MOD-S teknolojisi yükseltmesidir.	• Yüksek irtifa hava sahasında uçan uçaklar. • 1090ES donanımı, ADS-B için küresel bir şekilde kullanılabilen bir veri bağı olacak şekilde Eurocontrol ve diğer hava sahası otoriteleri ile düzenlenmiştir.
Universal Access Transceiver (UAT)	Uçağın kimliğini, durumunu (pozisyon ve hız) ve diğer durum bilgilerini 978 Mhz frekansındaki mesajlarla yayınlayan bir teknolojidir.	• Çoğunlukla FL180 seviyesinin altında uçan genel havacılık uçakları için tasarlanmıştır.

SBSS içerisinde ADS-B mesajlarının dolaşımı **Görsel *2.5***'da gösterilmiştir. Görselden de anlaşılacağı üzere, ADS-B IN ekipmanına sahip olan uçaklardan yalnızca **Tablo *2.1***'de açıklanan donanım çeşidi aynı olanlar kendi aralarında doğrudan izleme kabiliyetine sahiptirler.



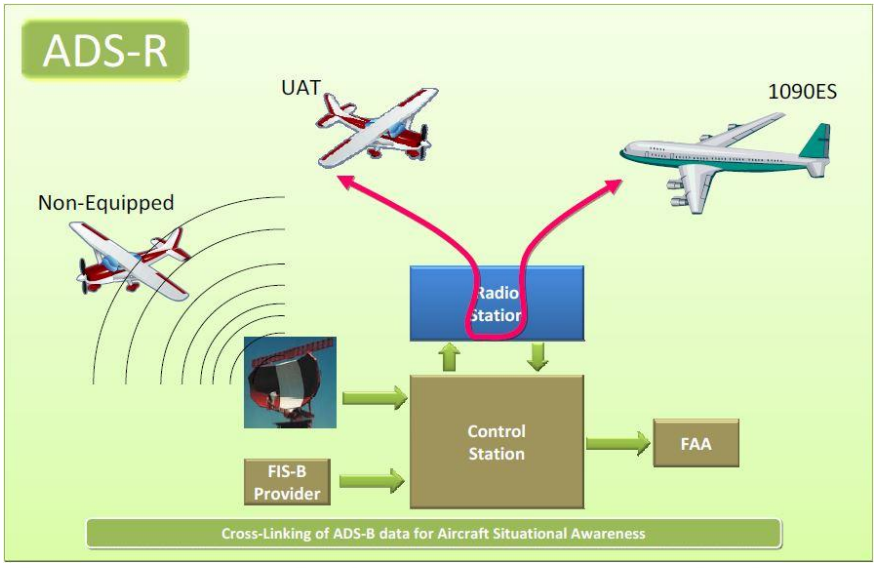
Görsel 2.5. *ADS-B mesajlarının SBSS içerisinde dolaşımı (Surveillance and Broadcast Services Description Document, 2011, s. 15 of 132)*

ADS-B mesajları ayrıntılı bir şekilde başka bir başlık altınca incelenecektir.

2.2.2. Otomatik bağımlı izleme tekrar yayını (ADS-R)

ADS-B sistemi anlatılırken yalnızca aynı donanım türünde ADS-B IN ekipmanlarına sahip olan uçakların birbirlerinin mesajlarını doğrudan alabildikleri belirtilmişti. ADS-B IN ekipmanlarının donanım türleri farklı olan uçak pilotlarının birbirlerini görebilmesi için yerde bir sistem mevcuttur. Bu sistem ADS-R olarak adlandırılır.

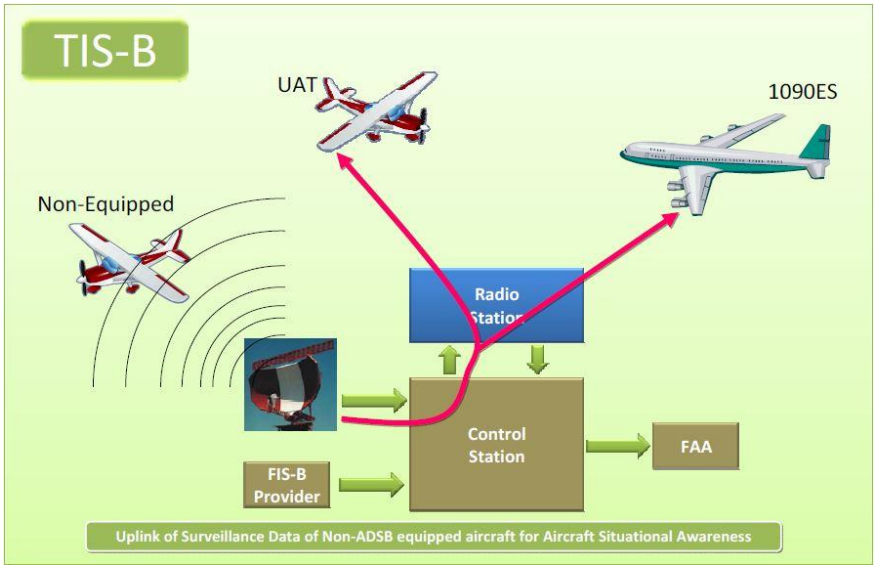
Sistemin işleyişi oldukça basittir. Bu sistemin iki donanım türünü de destekleyen alıcı ve vericileri yerde vardır. Aynı bölgede uçan ve farklı donanım çeşidine sahip olan uçaklar fark edildiğinde alınan mesajlar donanım türleri arasında çapraz geçiş yapılarak tekrar yayınlanmaktadır. Böylece bu uçaklar birbirlerini fark ederler. ADS-R sisteminin işleyişi **Görsel *2.6***'da gösterilmiştir.



Görsel 2.6. *ADS-R sisteminin veri akışı (Surveillance and Broadcast Services Description Document, 2011, s. 16 of 132)*

2.2.3. Trafik bilgi servisi yayını (TIS-B)

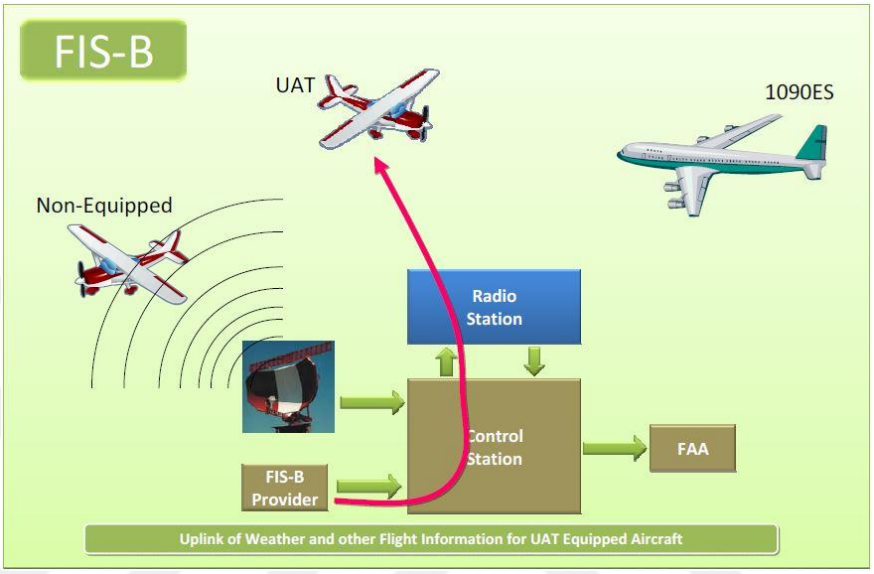
Trafik Bilgi Servisi Yayını (TIS-B), SBSS tarafından sağlanan bir hizmettir. ADS-B OUT ekipmanı olmayan hava araçları bir bölgede radar veya başka sistemler tarafından tespit edildiğinde, bu hava araçlarına ait izleme verileri yer istasyonları tarafından yayınlanarak bölgedeki ADS-B IN ekipmanına sahip uçaklar tarafından ADS-B OUT ekipmanı olmayan uçakların da izleme bilgilerinin takip edilmesi sağlanır. TIS-B hizmeti aynı zamanda ADS-B OUT ekipmanı arızalanan uçaklar için de yedek sistem vazifesi görmektedir. TIS-B hizmetinin işleyişi **Görsel *2.7***'de gösterilmiştir.



Görsel 2.7. *TIS-B sisteminin veri akışı (Surveillance and Broadcast Services Description Document, 2011, s. 17 of 132)*

2.2.4. Uçuş bilgi servisi yayını (FIS-B)

Uçuş Bilgi Servisi Yayını (FIS-B), meteoroloji ve havacılık verilerini kokpite sağlayan bir hizmettir. SBSS meteoroloji ve havacılık verilerini toplar ve bunları ait oldukları bölgedeki radyo istasyonlarından yayınlar. Bu hizmet, **Görsel *2.8***'de görüldüğü gibi sadece UAT veri bağlantına sahip uçaklara sunulmaktadır.



Görsel 2.8. *FIS-B sisteminin veri akışı (Surveillance and Broadcast Services Description Document, 2011, s. 18 of 132)*

2.2.5. Otomatik bağımlı izleme kontratı (ADS-C)

Otomatik Bağımlı İzleme Kontrat (ADS-C), uçak ile hava trafik kontrol yer sistemi arasında kurulan kontrat uyarınca, uçağın istenen bilgileri otomatik olarak yerdeki birimlere raporlama yapmasını sağlayan sistemdir. ADS-B ile ismi ve işlevi çok benzeyen ancak tamamen farklı bir sistem olan ADS-C, aslında UHF kapsama alanının dışında, yani ADS-B'nin hizmet veremediği alanda uçağın izlenebilmesi ve herhangi bir olumsuz durumda hava trafik kontrolör birimlerine otomatik olarak bilgi verilmesini sağlayan bir sistemdir. Bahsi geçen işlevleri sağlayan üç çeşit kontrat vardır:

- Periyodik Kontrat
- Talep Kontratı
- Olay Kontratı

2.2.5.1. Periyodik kontrat

Periyodik Kontrat, ATC birimine aşağıdaki seçenekleri ayarlama imkânı sunar:

- ADS-C Raporlarının gönderilme sıklığını ayarlama
- Periyodik raporda bulunan seçmeli ADS-C gruplarının seçimi

ADS-C grupları, ICAO Doc 4444 dökümanında ADS-C veri blokları olarak geçer ve aşağıdaki şekilde özetlenmektedir:

a) Uçak Kimliği
b) Temel ADS-C: Enlem, boylam, irtifa, zaman ve seyrüsefer kalitesini ifade eden "Figure of Merit" bilgilerini içerir.

Temel ADS-C veri bloğu her kontratta zorunludur ve her ADS-C raporunda bulunur.

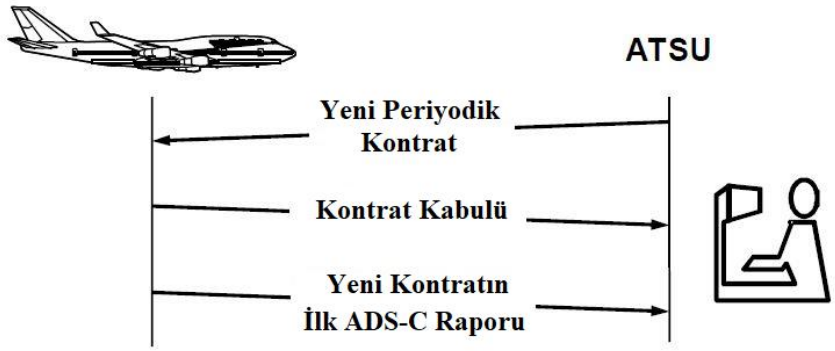
c) Yer Vektörü: Yer hızı büyüklüğü ve yönü ile düşey hız bilgisini içerir.
d) Hava Vektörü: Gerçek baş açısı, düşey hız ve mach sayısı ya da gösterge hava hızı (IAS) bilgilerini içerir.
e) Planlanmış Uçuş Profili: Takip edilen yol noktası, bu noktasında öngörülen irtifa, zaman, sonraki yol noktası, sonraki yol noktasındaki öngörülen irtifa ve zaman bilgilerini içerir.
f) Meteorolojik Bilgilendirme: Rüzgâr hızı, rüzgâr yönü ve sıcaklık bilgileri mutlaka içerilir. Mümkün olması durumunda ise rüzgâr kalite bayrağı, türbülans ve nem bilgileri de bu grup içerisinde gönderilir.
g) Kısa Süreli Niyet: Planlanan hedef noktasındaki enlem, boylam ve irtifa bilgileri ile planlama zamanı bilgilerini içerir.

Eğer ki uçağın şu anki konumu ile planlanan hedef noktası arasında irtifada, uçuş yolunda ya da hızda bir değişimin olacağı öngörülürse aşağıdaki ek bilgiler de sağlanabilir:

- Değişim noktasının uçağın şu anki konumuna göre bağıl konum bilgileri: mesafe ve doğrultu
- Değişim noktasındaki irtifa
- Değişim noktasına kalan tahmini zaman

Her bir ADS-C grubunun periyodik raporda ne sıklıkla bulunacağı hava trafik kontrolörü tarafından tanımlanabilir. Örneğin, 5'lik bir modül, ilgili ADS-C grubunun her beş periyodik raporda bir defa yer alacağı anlamına gelir. Periyodik kontrattaki zaman aralığı parametresi kullanıcıya raporlama periyodunu 1 saniyeden 4096 saniyeye (~68 dakika) kadar belirleme imkânı sunar. Ancak, RTCA DO-258A/EUROCAE ED-100A minimum zaman aralığını 64 saniye olarak belirlemiştir. Kullanıcı 64 saniyeden küçük bir değer girdiğinde sistem otomatik olarak 64 saniyelik bir periyot tanımlar. Kullanıcı herhangi bir değer belirtmediği durumda Acil Periyodik Raporlar için 64 saniye ve Normal Periyodik Raporlar için ise 304 saniye varsayılan periyot değeri olarak tanımlanır.

İptal edilinceye veya değiştirilinceye kadar periyodik bir sözleşme yürürlükte kalır. Bir ATS birimi ne zaman yeni bir periyodik sözleşme yaparsa, uçak sistemi otomatik olarak önceki periyodik sözleşmeyi yenisiyle değiştirir. Periyodik kontrat için sistemin işleyişi **Görsel *2.9***'da gösterilmektedir.



Görsel 2.9. *Yeni ADS-C periyodik kontrata geçiş (Global Operational Data Link (GOLD) Manual, 2016, s. 1-42)*

2.2.5.2. Talep kontratı

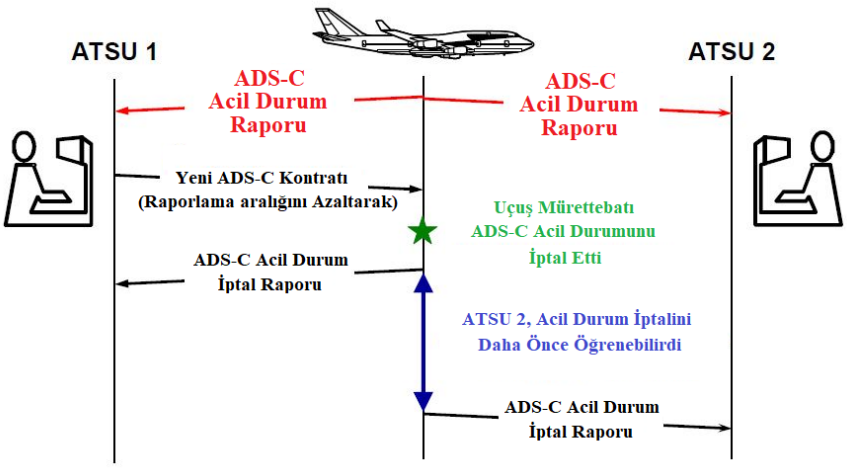
Talep Kontratı ATC Birimine tek bir ADS-C periyodik raporu talep etmesini sağlar. Başka bir deyişle, periyodik kontratta gönderilebilen bilgileri bir defaya mahsus olarak almasıdır. Talep Kontratı başka herhangi bir ADS kontratını iptal etmez veya değiştirmez. Periyodik kontratta bir kontrat oluşturulur ve kontrat uçak tarafında kabul edildikten sonra kontratta belirtilen gönderilme sıklığı ile ADS-C raporları otomatik olarak tekrar tekrar gönderilir. Talep kontratında ise ADS-C raporu bir kere gönderilir ve tekrar etmez.

2.2.5.3. Acil raporlar

ADS-C uygulaması acil alarm durumlarını da desteklemektedir. ADS-C acil rapor, ATC birimlerinin acil durumların farkına varmasını sağlayan periyodik bir rapordur. Uçuş personeli 2 şekilde bu raporu tetikleyebilir:

- Manuel olarak, ADS-C acil fonksiyonunu seçerek
- Dolaylı olarak, başka bir acil uyarı sistemini tetikleyerek. Örneğin, SSR acil kodunun seçilmesi

Normal şartlar altında bir kere ADS-C acil durum alarmı tetiklendiğinde, uçuş personeli iptal edene kadar sistem ADS-C acil periyodik raporlarını göndermeye devam eder. Uçuş personeli ADS-C acil durum alarmını kapattığında "ADS-C acil raporu iptal" raporu bir sonraki periyodik raporla gönderilir ki bu da ayarlanan periyoda bağlı olarak, 20-30 dakikayı bulabilir. Eğer yanlışlıkla acil durum alarmı verilmişse uçuş personeli sesli haberleşme vasıtasıyla durumu ATC birimine bildirmelidir. Diğer yandan, acil durum raporu alan hava trafik kontrolörünün de yapması gereken bir işlem vardır. Acil durum raporu alan kontrolör, daha kısa zaman aralığına sahip yeni bir periyodik kontrat oluşturarak acil durumun yanlışlıkla oluşup oluşmadığını kontrol etmelidir. Böylelikle acil durum raporunun sehven yollanıp yollanmadığı daha çabuk anlaşılacaktır. **Görsel *2.10***'da yanlışlıkla oluşan acil durum raporunu alan iki kontrolörün durumu kıyaslanmaktadır. Görüldüğü gibi yeni bir periyodik kontrat tanımlayan kontrolör acil durumun ortadan kalktığını daha önce öğrenmektedir.



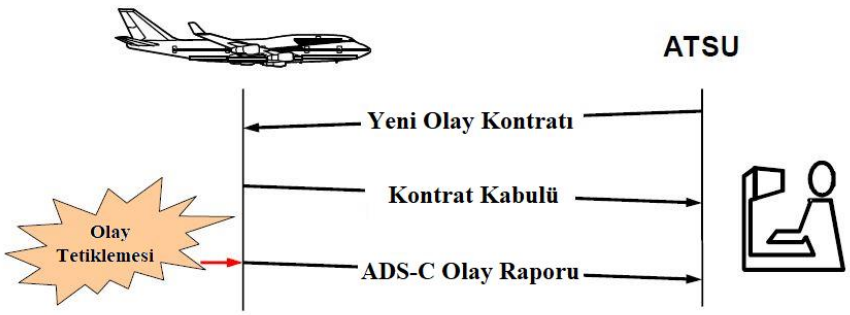
Görsel 2.10. *ADS-C acil durum ve acil durum iptal raporlamalarının işleyişi (Global Operational Data Link (GOLD) Manual, 2016, s. 1-43)*

2.2.5.4. Olay kontratı

Olay Kontratı, ATC Birimine belirli bir olay meydana geldiğinde ADS-C raporu alma talebi oluşturma imkânı sağlar. ATC birimi bir uçak ile sadece bir olay kontratı oluşturabilir. Ancak, bir olay kontratı birden fazla olayı kapsayabilir. Bu olaylar şu şekilde listelenebilir:

- Yol Noktası Değişim Olayı (WCE)
- İrtifa Aralığından Sapma Olayı (LRDE)
- Yatay Sapma Olayı (LDE)
- Tırmanma-Alçalma Oranı Aşım Olayı (VRE)

ADS-C olay kontratının işleyişi Görsel 2.12'de gösterilmektedir.



Görsel 2.11. *ADS-C olay kontratı işleyişi (Global Operational Data Link (GOLD) Manual, 2016, s. 1-44)*

2.3. Radarlar Yerlerini Neden SBSS Sistemlerine Bırakıyor?

Uçakların kendine ait bilgileri yayınlaması aşağıdaki sorunlara çözüm getirmektedir:

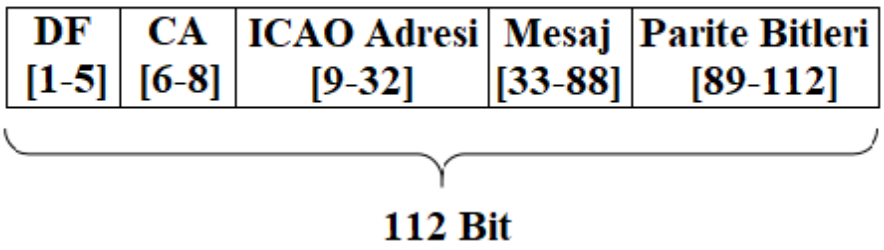
- Hava trafiğinin yıldan yıla üstel bir hızla artması
- Radar sistemlerinin düşük çözünürlüğe, uzun veri güncelleme aralığına ve yüksek yayın gücüne sahip olması
- SSR sorgularında, aynı anda birden fazla uçağın cevap verdiği durumda, alıcı tarafında bilgi kaybına neden olan sinyal çakışmalarına neden olması (Optimum Receiver for Decoding ADS-B Signals, 2015)
- Hava trafiğinde minimum yaklaşma mesafesinin azaltılarak kapasite artırımına ihtiyaç duyulması

Görsel *2.12*'de ADS-B sisteminin kurulum ve işletme maliyetleri açısından radarlara göre avantajları mevcuttur.

Görsel 2.12. *ADS-B'nin radar sistemlerine karşı üstünlükleri (ADS-B Introduction, 2020, s. 10)*

2.4. ADS-B Mesajları

Bilindiği üzere ADS-B mesajları Mode-S mesajlarının alt kümesidir. Downlink Format'ı (DF) 17 ve 18 olan mesajlar ADS-B mesajlarıdır. ADS-B mesajları, Mode-S transponderlerden DF 17 ile gönderilirken; transponderi olmayan ADS-B mesaj gönderici sistemler ile 2.2.3 numaralı başlıkta bahsi geçen TIS-B gönderici sistemlerinden DF 18 ile gönderilir. Bu sayede, DF 18 ile gönderilmiş ADS-B mesajını alan alıcı, bu mesajı gönderen ekipmanın sorguya cevap vereme kabiliyeti olmadığını anlar. MODE-S mesajları **Şekil *2.1***'de gösterildiği gibi 112 bir uzunluğundaki mesaj paketleri ile yollanır. Bu mesaj paketleri **Tablo *2.2***'de açıklanan 5 ana bölümden oluşur.



Şekil 2.1. *MODE-S mesaj paketinin yapısı*

Tablo 2.2. *MODE-S Mesaj paketinin bölümleri*

Bit Numarası	Bit Sayısı	Kısaltması	Açıklaması
1-5	5	DF	Downlink Format
6-8	3	CA	Transponder Kabiliyeti
9-32	24	ICAO	ICAO Adresi
33-88	56	ME	Mesaj
[33-37]	(5)	(TK)	(Mesaj Tip Kodu)
89-112	24	PI	Parite

Şekil *2.1* ve **Tablo *2.2***'de görüldüğü gibi Mode-S mesajları çözümlenirken DF alanına bakılır. DF alanı 17 veya 18 ise alınan bu mesaj paketi ADS-B mesajı olarak çözümlenir. CA alanı ise mesajı yollayan transponderin kabiliyetini ifade eder. ICAO Adresi alanı ise her bir sivil uçak için tanımlanan kimlik numarasıdır. Bu adres askeri uçaklar için değiştirilme kabiliyeti mevcut iken sivil uçaklar için sabittir. Devamındaki 56 bitlik alan ise esas gönderilmek istenen mesaj içeriğidir. ADS-B mesajları için bu alanın ilk 5 bitlik kısmı mesaj tip kodu (TK) alanıdır. Bu alan, tıpkı DF alanı gibi bize mesajın tipini ifade eder ve mesaj bu tipe göre çözümlenir. Son 24 bitlik alan ise parite kısmıdır. Bu alan CRC (Cyclic Redundancy Check) yöntemi ile alınan mesajın doğru bir şekilde ulaştığının kontrol edilmesini sağlar.

ADS-B mesaj tip kodları (TK) ve belirttiği mesaj tipleri **Tablo *2.3***'de gösterilmektedir.

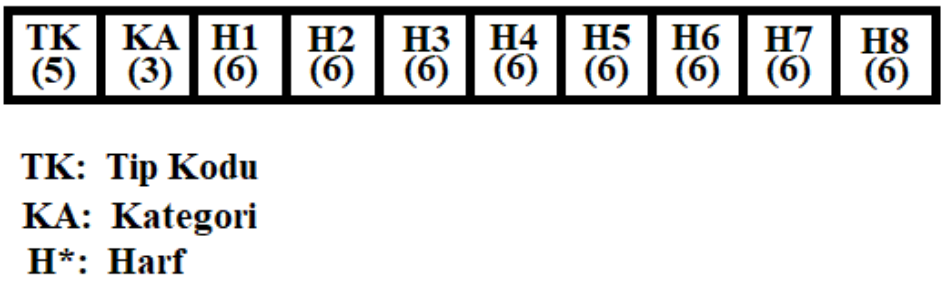
Tablo 2.3. *ADS-B mesaj tip kodları ve içerikleri*

Mesaj Tip Kodu	Mesaj İçeriği
1-4	Uçak Kimliği (Uçuş Kodu, Çağrı Adı)
5-8	Yeryüzü Konumu
9-18	Seyir Konumu (Barometrik İrtifa ile)
19	Seyir Hızı
20-22	Seyir Konumu (GNSS İrtifa ile)
23-27	Rezerve
28	Uçak Durumu
29	Hedeflenen Durum ve Mevcut Durum Bilgisi (Versiyon 1 ve Versiyon 2)
30	Rezerve
31	Uçağın Operasyonel Durumu

Bu noktadan sonra ADS-B mesaj türleri tanıtılmıştır. Tanıtılan bu mesaj türleri **Şekil *2.1***'de gösterilen MODE-S mesaj paketinin 56 bitlik ME alanında yer almaktadır.

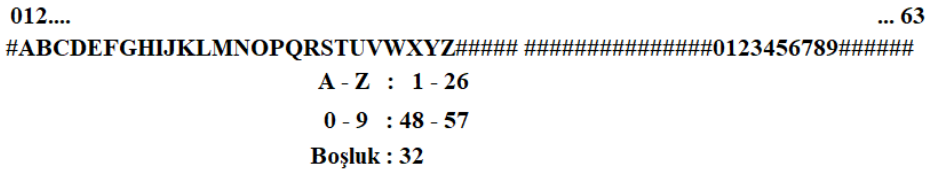
2.4.1. Uçak kimliği (Çağrı adı) ve kategorisi mesaj paketi

Bu mesaj uçağın çağrı adı ile kategorisini bildirmek için yayınladığı mesajdır. ADS-B mesaj tip kodu ise [1,4] aralığıdır. Mesaj yapısı ise **Şekil *2.2***'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. *ADS-B uçak kimliği ve kategorisi mesajı bit alanları*

Bu mesajda uçağın çağrı adı yer almaktadır. Fakat bu çağrı adının uçaklar için bire bir olmadığını yani uçakları ayırt etmek için ICAO adresi gibi tek başına ayırt edici olarak kullanılamayacağını belirtmek gerekir. Çünkü, aynı rotada farklı zamanlarda uçan farklı uçaklar aynı çağrı adını kullanabilmektedirler. **Şekil *2.2***'de gösterilen son 8 bit alanı çağrı adının harflerini temsil eder. Her biri 6 bitlik alandır ve **Şekil *2.3***'te ifade edildiği şekilde harflere karşılık gelen sayıların tutulduğu alanlardır.



Şekil 2.3. *ADS-B mesajlarında kullanılan harf kodları*

KA bit alanı ise tip kodu ile birlikte yorumlanarak **Tablo *2.4***'te gösterildiği gibi uçağın kuyruk türbülansı kategorisinin anlaşılmasını sağlar.

Tablo 2.4. *ADS-B mesajı ile gönderilen kategori bilgisi (Versiyon 1ve Versiyon 2) (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, s. B-33,C-65)*

TK	KA	Kategori
X	0	Kategori bilgisi yok
1	X	Rezerve
2	1	Acil durum yer aracı
2	2	Yer hizmeti aracı
2	3	Noktasal engel (Bağlı balonlar dahil)
2	4	Küme engel
2	5	Hat engeli
2	6,7	Reserve
3	1	Planör / Yelkenli
3	2	Havadan hafif
3	3	Paraşütçü, Gök dalışçısı
3	4	Ultralight, Hang-Glider, Paraglider (Yamaç paraşütü) tipleri
3	5	Rezerve
3	6	İnsansız hava aracı
3	7	Uzay ya da Transatmosferik araç
4	1	Hafif (<7031 kg)
4	2	Küçük (>7031 kg, <34019 kg)
4	3	Büyük (>34019 kg, <136078 kg)
4	4	Yüksek kuyruk türbülanslı uçak (Ör: B757)
4	5	Ağır (>136078 kg)
4	6	Yüksek performans (>5 G ivmelenme) ve Yüksek hız (>400 kt)
4	7	Döner kanat hava aracı

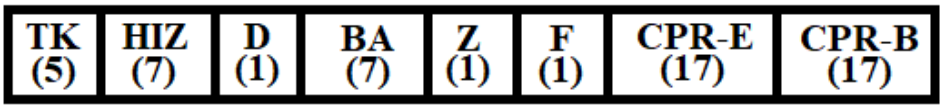
Görsel *2.13*'te, bir sonraki bölümde açıklanacak olan ve tez kapsamında geliştirilen ADS-B mesaj simülatöründen alınmış bir ekran görüntüsü verilmiştir. Bu görsel TK 4 olan ADS-B Uçak kimlik mesajının örnek bir çözümlemesini göstermektedir.

Message									
0x8D06A06220452E38DB782022347D8									
ICAO Address									
0x06A062									
Type Code	**EC**	**CH1**	**CH2**	**CH3**	**CH4**	**CH5**	**CH6**	**CH7**	**CH8**
00100	000	010001	010010	111000	111000	110110	110111	100000	100000
4	Not Available	Q	R	8	8	6	7	_	_

Görsel 2.13. *ADS-B Uçak kimlik mesajının çözümlenme örneği*

2.4.2. Yeryüzü konumu mesaj paketi

Uçaklar yerde iken mesaj tip kodu 5 ile 8 arasında değişen ADS-B mesajları yayınlar. Yayınladıkları bu mesajlar "Yeryüzü konumu mesajları" olarak adlandırılır. Tip kodunun 5 ile 8 arasında değişmesinin sebebi ise tip kodunun, konum bilgisinin doğruluk seviyesi olarak yorumlanmasını sağlamaktır. Bu mesajlarda daha az bit kullanarak konum bilgisini aktarmak için EK-1'de anlatılan sıkıştırılmış pozisyon raporlama (CPR) tekniği kullanılmaktadır. Kısaca değinmek gerekirse, dünyayı farklı enlem değerlerinde farklı sayıda bölgelere ayırarak bu bölgeleri numaralandıran bir sistemdir. Yani yeryüzü kareli defterin sayfaları gibi bölgelere ayrılmış ve bu bölgeler numaralandırılmıştır. Mantığı kartezyen koordinat sistemi ile aynıdır. Ancak, kartezyen koordinat sistemi, bir noktayı doğrudan orijin noktasını referans alarak ifade ederken; ADS-B mesajlarında uçağın bulunduğu noktanın bilgisi, o noktanın içinde bulunduğu CPR bölgesi sınırları referans alınarak iletilir. Bu nedenle uçağın konumunu hesaplamak için tek ve çift CPR formatında iki mesaja ya da bir referans koordinata ihtiyaç vardır. Bu husus EK-1'de detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Özetle, ADS-B mesajlarında uçağın konumunun enlem ve boylam değerlerini sayısal olarak doğrudan yollamak yerine uçağın bulunduğu konumun CPR bölgesi sınırlarına göre bağıl konumu bilgileri yollanır. Mesaj yapısı ise **Şekil *2.4***'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4. *ADS-B yeryüzü konumu mesajı bit alanları*

Şekil *2.4*'te gösterilen bit alanlarının açıklamaları **Tablo *2.5***'te tanımlanmıştır.

Tablo 2.5. *ADS-B yeryüzü konumu mesaj yapısı*

Bit Alanı Adı	Kısaltması	ME Alanı Bit Numarası	Bit Sayısı
Mesaj Tip Kodu	TK	1-5	5
Yer Hızı	HIZ	6-12	7
Baş Açısı Verisi Durumu	D	13	1
0: Geçersiz			
1: Geçerli			
Baş Açısı/Hareket Yönü	BA	14-20	7
Zaman	Z	21	1
CPR Formatı	F	22	1
0: Çift Format			
1: Tek Format			
Kodlanmış CPR Enlem	CPR-E	23-39	17
Kodlanmış CPR Boylam	CPR-B	40-56	17

2.4.2.1. Yer hızı

Yer hızı bit alanında uçağın yer hızının sayısal değeri yerine kodlanmış hali tutularak kullanılan bit sayısından tasarruf edilir. Düşük hızlarda daha yüksek doğruluk elde edildiği için, uçağın yer hızı doğrusal olmayan şekilde **Tablo *2.6***'daki gibi kodlanır.

Tablo 2.6. *ADS-B yeryüzü konumu mesaj paketinde yer hızının kodlama aralıkları*

Kodlanmış Hız	Yer Hızı Aralığı	Hız Hassasiyeti	Hata Yüzdesi
0	Hız Bilgisi Yok		
1	Duruyor (v <0.125 kt)		
2-8	0.125 ≤ v <1 kt	0.125 kt	%14.29-%50
9-12	1 ≤ v <2 kt	0.25 kt	%12.5-%25
13-38	2 ≤ v <15 kt	0.5 kt	%3.33-%12.5
39-93	15≤ v <70 kt	1 kt	%1.43-%3.33
94-108	70≤ v <100 kt	2 kt	%1.43-%2
109-123	100≤ v <175 kt	5 kt	%2.5-%2.86
124	v ≥ 175 kt		
125-127	Rezerve		

2.4.2.2. Baş açısı

Tek başına hız bilgisinin uçağı takip etmek için yeterli değildir. Uçağın hangi hızla gittiği bilgisinin yanında hangi yöne gittiği de önemlidir. Bu ise bulunulan konumdaki gerçek kuzey vektörü ile hareket vektörünün saat yönünde yapmış olduğu açı ile ifade

edilir. Baş açısı [0˚, 359˚] aralığında değer alır. Buna karşın mesaj paketinde 7 bitlik bir alan ayırıldığı için bu bit alanında 128 farklı değer tutulabilir. Bu sebeple [0˚, 359˚] aralığındaki baş açısı değerleri, [0,127] aralığına ölçeklendirilerek mesaj paketine yerleştirilir. Alınan mesajdan gerçek baş açısı değeri denklem **(2.1)**'de gösterildiği gibi elde edilir.

$$x = \frac{360\ \mathrm{n}}{128}\ \ (derece) \qquad \textbf{(2.1)}$$

Burada; *x*, 0˚ ile 360˚ arası gerçek baş açısı ve *n* mesaj içerisinde gelen kodlanmış değerdir.

2.4.2.3. Konum

Mesaj içerisinde gelen CPR enlem ve boylam değerlerinden standart olarak kullandığımız enlem boylam değerlerinin nasıl hesaplandığı EK-1'de anlatılmıştır. Burada, kısaca yeryüzü konumu mesajı için yapılan hesaplamaların seyir konumu mesajı için yapılan hesaplamalardan farklı olan kısımlarına dikkat çekilecektir. Devamında Dr. Junzi SUN tarafından hazırlanan "The 1090 Megahertz Riddle" isimli kitabındaki mesaj çözümleme örnekleri gösterilecektir.

Farklılıklardan ilki enlem bölgesinin boyutudur. Bu seyir konumu mesajına göre 4 kat daha küçüktür ve denklem **(2.2)**'deki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} \mathrm{dLatE} &= \frac{90^{\circ}}{4\,Nz} \qquad (CPR\ Çift\ Format) \\ \mathrm{dLatO} &= \frac{90^{\circ}}{4\,Nz - 1}\ \ (CPR\ Tek\ Format) \end{aligned} \qquad \textbf{(2.2)}$$

Denklem **(2.2)**'de N_Z, ekvator ile bir kutup (kuzey ya da güney) arasında kalan enlem bölgelerinin sayısıdır. MODE-S sistemi için bu sayı 15 olarak tanımlanmıştır. (The 1090 Megahertz Riddle, 2020, s. 42)

CPR formatın tek ya da çift olduğuna ME bit 22 pozisyonundaki değere göre karar verilir.

Benzer şekilde boylam bölgesinin boyutu da seyir konumu mesajına göre 4 kat küçüktür ve denklem **(2.3)**'teki gibi hesaplanır.

$$dLon_{\mathrm{e}} = \frac{90^{\circ}}{n_{\mathrm{e}}} \qquad (CPR\ Çift\ Format)$$
$$n_{\mathrm{e}} = max(NL(enlem),1)\ \ (CPR\ Çift\ Format)$$
$$dLon_{\mathrm{o}} = \frac{90^{\circ}}{n_{\mathrm{o}}} \qquad (CPR\ Tek\ Format) \qquad \textbf{(2.3)}$$
$$n_{\mathrm{o}} = max(NL(enlem-1),1)\ \ (CPR\ Tek\ Format)$$

Denklem **(2.3)**'te, *n* değerleri ilgili enlemde bulunan boylam bölgelerinin sayısını ifade ederken; *dLon* değerleri ise ilgili enlemdeki boylam bölgesinin boyutunu ifade eder

Yeryüzü konumu mesajı çözümlemesinin seyir konumu mesajı çözümlemesinden en fazla ayrıştığı nokta ise yer konumu koordinatları kodlanırken 19 bit e göre kodlanır ve mesajda ise sadece düşük dereceli 17 biti iletilir. EK-1'de belirtilen küresel kesin konum çözümleme yaparken bile bahsi geçen eksik 2 bit nedeniyle tek ve çift CPR formatlı mesaj ikilisi için 4 farklı çözüm elde edilir. Doğru çözümü bulmak için bir referans koordinat bilinmelidir. Bu referans koordinat, alıcının ya da havaalanının koordinatı olabilir. Yerel kesin konum çözümleme yaparken referans koordinat gerçek konuma en fazla 45 deniz mili uzaklıkta olmalıdır. Genellikle uçak yerde olduğu için hava meydanının koordinatı kullanılır.

Aşağıda verilen örnek çözümlemeden de anlaşılacağı üzere, enlem için elde edilen ilk çözüm kuzey yarımkürede bir sonuç vermektedir. Güney yarımküre için sonuçtan 90˚ çıkarmak gerekir. Doğru enlem değeri ise referans konumuna en yakın olandır.

Benzer şekilde, boylam için elde edilen ilk sonuç 0˚ ile 90˚ arasındaki çeyrek dilime karşılık gelmektedir. Diğer üç çözümü elde etmek için sonuca 90˚, 180˚ ve 270˚ eklenmelidir. Doğru boylam değeri yine referans koordinatına en yakın olandır.

Küresel kesin konum çözümleme örneği

Örnek olarak, uçaktan aşağıdaki **Tablo *2.7***'de gösterilen iki mesaj paketinin tabloda belirtilen sırayla alındığı varsayılsın.

Tablo 2.7. *Örnek yer konumu mesaj paketleri*

Geliş Sırası	İçerik
1	0x8C4841753AAB238733C8CD4020B1
2	0x8C4841753A8A35323FAEBDAC702D

Mesajı paketleri MODE-S bit alanlarına ayrıldığında elde edilen değerler **Tablo *2.8***'de gösterilmiştir.

Tablo 2.8. *Örnek yeryüzü konumu mesaj paketlerinin MODE-S bit alanlarına bölünmesi (Hex format)*

DF	CA	ICAO Adresi	ME	Parite
0x11	0x4	0x484175	0x3AAB238733C8CD	0x4020B1
0x11	0x4	0x484175	0x3A8A35323FAEBD	0xAC702D

Mesajların ME alanının ADS-B yeryüzü konumu mesajı bit alanlarına ayrılmış hali **Tablo *2.9***'da gösterilmiştir.

Tablo 2.9. *Örnek yeryüzü konumu mesaj paketlerinin ADS-B bit alanlarına bölünmesi (İkili format)*

TK	HIZ	D	BA	Z	F	CPR-Enlem	CPR-Boylam
00111	0101010	1	0110010	0	0	11100001110011001	11100100011001101
00111	0101000	1	0100011	0	1	01001100100011111	11010111010111101

Alıcının konumunun ise 51.990˚ enleminde ve 4.375˚ boylamında olduğu varsayılsın.

Tablo *2.9*'da gösterilen kodlanmış CPR-Enlem ve CPR-Boylam değerleri, ikili formattan 10 tabanındaki değerlerine dönüştürüldüğünde CPR-Enlemlerin 115609 ve 39199; CPR-Boylamların ise 116941 ve 110269 olduğunu bulunur. Denklem **(2.4)**'te gösterildiği gibi 10 tabanındaki değerler 2^{17} değerine bölünerek CPR enlem boylam tanım kümesi ölçeklendirilmiş olur.

$$\begin{aligned} \text{EnlemCPR} &= \frac{115609}{2^{17}} \quad (CPR\ Çift\ Format) \\ \text{BoylamCPR} &= \frac{116941}{2^{17}} \quad (CPR\ Çift\ Format) \\ \text{EnlemCPR} &= \frac{39199}{2^{17}} \quad (CPR\ Tek\ Format) \\ \text{BoylamCPR} &= \frac{110296}{2^{17}} \quad (CPR\ Tek\ Format) \end{aligned} \qquad \textbf{(2.4)}$$

EK-1'de formülünün verildiği gibi enlem indeksi denklem **(2.5)**'te hesaplanmıştır.

$$\mathrm{j} = \mathrm{floor}\left(59 \times \frac{115609}{2^{17}} - 60 \times \frac{39199}{2^{17}} + \frac{1}{2}\right) = 34 \qquad \textbf{(2.5)}$$

Hem CPR çift formatı için hem de CPR tek formatı için enlem değerleri 10 tabanında denklem **(2.6)**'da gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} \mathrm{Enlem_Ç} &= \frac{90}{4 \times 15}\left(mod(34{,}60) + \frac{115609}{2^{17}}\right) = 52.32304001^{\circ} \\ \mathrm{Enlem_T} &= \frac{90}{4 \times 15 - 1}\left(mod(34{,}59) + \frac{39199}{2^{17}}\right) = 52.32060707^{\circ} \end{aligned} \qquad \textbf{(2.6)}$$

EK-1'de CPR konum çözümlemede anlatıldığı gibi buradan sonra hesaplamaya devam edebilmemiz için CPR tek ve CPR çift mesajlarından elde ettiğimiz enlem değerlerin eşit sayıda boylam bölgesine sahip olması gerekir. Denklem **(2.7)**'de enlemlerin sahip olduğu boylam bölgeleri hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} \mathrm{NL(Enlem_Ç)} &= \mathrm{NL}(52.32304001^{\circ}) = 36 \\ \mathrm{NL(Enlem_T)} &= \mathrm{NL}(52.32060707^{\circ}) = 36 \end{aligned} \qquad \textbf{(2.7)}$$

Denklem **(2.7)**'de görüldüğü gibi iki mesaj için de boylam bölgesi sayısı aynıdır. Son gelen mesaj CPR Tek format mesajı olduğu için hesaplamaya bu mesajdan elde edilen değerler ile devam edilecektir. Denklem **(2.6)**'da elde edilen değerler kuzey yarımküre için elde edilen değerlerdir. Denklem **(2.8)**'de güney yarımküre için de geçerli olan değer de hesaplanmış ve bu mesajın enlem değerleri için çözüm kümesi gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} \mathrm{Enlem_Kuzey} &= 52.32060707^{\circ} && (CPR\ T) \\ \mathrm{Enlem_Güney} &= 52.32060707^{\circ} - 90^{\circ} = -37.67939293^{\circ} && (CPR\ T) \end{aligned} \qquad \textbf{(2.8)}$$

Referans enleminin, yani alıcının enleminin, 51.990° olduğu da hesaba katıldığında hesaplamanın sonucunun kuzey yarım küreyi gösteren 52.32060707° olması gerektiği açıktır.

Boylam değeri hesaplanırken elde edeceğimiz değer [0°,90°] aralığında yani birinci çeyrekte olacaktır. Hesaplaması ise **(2.9)**, **(2.10)** ve **(2.11)** numaralı denklemlerde izah edilmiştir.

$$\mathrm{m} = \mathrm{floor}\left(\frac{116941}{2^{17}} \times (36-1) - \frac{110269}{2^{17}} \times 36 + \frac{1}{2}\right) = 1 \qquad \textbf{(2.9)}$$

$$n = \max(36-1,1) = 35 \qquad \textbf{(2.10)}$$

$$\mathrm{Boylam1} = \frac{90}{35}\left(mod(1, 36-1) + \frac{110269}{2^{17}}\right) = 4.73473467^{\circ} \qquad \textbf{(2.11)}$$

Boylam için çözüm kümesi ise denklem **(2.12)**'de gösterilmiştir

$$\begin{gathered} \text{Boylam1} = 4.73473467^{\circ} \\ \text{Boylam2} = \text{Boylam1} + 90^{\circ} = 94.73473467 \\ \text{Boylam3} = \text{Boylam1} + 180^{\circ} = 184.73473467 \\ \text{Boylam4} = \text{Boylam1} + 270^{\circ} = 274.73473467 \end{gathered} \quad \textbf{(2.12)}$$

Referans boylamının, yani alıcının boylamının, 4.375° olduğu da hesaba katıldığında hesaplamanın sonucunun birinci çeyreği gösteren 4.73473467° olması gerektiği açıktır.

Sonuç olarak, hesapladığımız enlem ve boylam değerlerini bir araya getirdiğimizde uçağımızın konumunu 52.32060707° enlemi ve 4.73473467° boylamı olarak buluruz

Yerel kesin konum çözümleme örneği

Burada, tek bir ADS-B yeryüzü konumu mesajı ve bir referans konum bilgisini kullanarak uçağın konumunun hesaplanışı örnek üzerinden gösterilecektir. Bu örnekte referans konumumuz önceki örnekte elde ettiğimiz konum, yani 52.32060707° enlemi ve 4.73473467° boylamı olacaktır.

Önceki konumunu bildiğimiz ve bu konumunu referans konum olarak kullanacağımız uçaktan 0x8C4841753A9A153237AEF0F275BE mesajını aldığımız varsayılsın. Bu mesajın MODE-S bit alanlarına göre ayrıştırılmış hali **Tablo *2.10***'da gösterilmektedir.

Tablo 2.10. *Örnek yeryüzü konumu mesaj paketinin MODE-S bit alanlarına bölünmesi (Hex format)*

DF	CA	ICAO Adresi	ME	Parite
0x11	0x4	0x484175	0x3A9A153237AEF0	0xF275BE

Mesajların ME alanının ADS-B yer konumu mesajı bit alanlarına ayrılmış hali **Tablo *2.11***'de gösterilmiştir.

Tablo 2.11. *Örnek yeryüzü konumu mesaj paketinin ADS-B bit alanlarına bölünmesi (İkili format)*

TK	HIZ	D	BA	Z	F	CPR-Enlem	CPR-Boylam
00111	0101001	1	0100001	0	1	01001100100011011	11010111011110000

Format bitinden açıkça anlaşıldığı gibi son gelen mesaj CPR tek formatındadır. Bu sebeple, denklem **(2.2)**'de gösterilen enlem bölgesinin boyutu CPR tek formatına göre denklem **(2.13)**'te hesaplanmıştır.

$$\mathrm{dLat} = \frac{90^\circ}{4 \times 15 - 1} = \frac{90^\circ}{59} \qquad (CPR\ Tek\ Format) \qquad \textbf{(2.13)}$$

EK-1'de formülü verildiği gibi enlem indeksi denklem **(2.14)**'te hesaplanmıştır. Bunun için ikili formattaki CPR Enlem değeri 10 tabanına çevrilerek 39195 değeri elde edilmiştir.

$$\mathrm{j} = \mathrm{floor}\left(\frac{52.32060707^\circ}{90^\circ/59}\right) + \mathrm{floor}\left(\frac{mod(52.32060707^\circ, 90^\circ/59)}{90^\circ/59} - \frac{39195}{2^{17}} + \frac{1}{2}\right) \qquad \textbf{(2.14)}$$

$$j = 34$$

Enlem değeri denklem **(2.15)**'teki gibi hesaplanır. Burada, denklem **(2.14)**'te referans konum hesaba katıldığı için çözüm kümesinde tek bir eleman vardır.

$$\mathrm{Enlem} = \frac{90^\circ}{59} \times \left(34 + \frac{39195}{2^{17}}\right) = 52.32056052^\circ \qquad \textbf{(2.15)}$$

Boylam değerinin hesaplaması ise **(2.16)**, **(2.17)** ve **(2.18)** numaralı denklemlerde izah edilmiştir.

$$dLon_o = \frac{90^\circ}{max(NL(Enlem_T) - 1, 1)} = \frac{90^\circ}{max(36 - 1, 1)} = \frac{90^\circ}{35} \qquad \textbf{(2.16)}$$

$$\mathrm{m} = \mathrm{floor}\left(\frac{4.73473467^\circ}{90^\circ/35}\right) + \mathrm{floor}\left(\frac{mod(4.73473467^\circ, 90^\circ/35)}{90^\circ/35} - \frac{110320}{2^{17}} + \frac{1}{2}\right) = 1 \qquad \textbf{(2.17)}$$

$$Boylam = \frac{90^\circ}{35} \times \left(1 + \frac{110320}{2^{17}}\right) = 4.73573521^\circ \qquad \textbf{(2.18)}$$

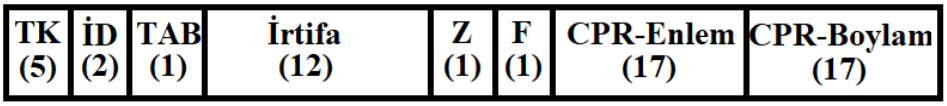
Sonuç olarak, hesapladığımız enlem ve boylam değerlerini bir araya getirdiğimizde uçağımızın konumu, 52.32056052˚ enlemi ve 4.73573521˚ boylamı olarak bulunur.

2.4.3. Seyir konumu mesaj paketi

ADS-B mesajları içinde seyir konumu mesaj paketi, uçağın konumu ve irtifa bilgilerini yayınlamak için kullanılır. Bu mesaja ait mesaj tip kodunun, [9,18] ve [20,22] olmak üzere iki ayrı değer aralığı vardır. Mesaj tip kodu 9-18 aralığındaki bir değer ise irtifa bilgisi barometriktir. Eğer, mesaj tip kodu 20-22 aralığındaki bir değer ise irtifa GNSS ile belirlenmiş irtifa bilgisidir. Mesaj tip kodu aynı zamanda iletilen konum bilgisinin doğruluk derecesini de ifade etmektedir.

Eğer, yatay konum bilgisi yoksa ve irtifa bilgisi mevcutsa, bu mesaj TK 0 (sıfır) ile yayınlanır. Eğer, irtifa bilgisi yoksa irtifa bilgisi 0 (sıfır) olarak iletilir. (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, s. C-62)

Mesaj yapısı **Şekil *2.5***'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. *ADS-B seyir konumu mesaj yapısı*

Yukarıda **Şekil *2.5***'te gösterilen bit alanlarının detaylı açıklamaları ve kısaltmaları aşağıda **Tablo *2.12***'de gösterilmektedir.

Tablo 2.12. *ADS-B seyir konumu mesajı bit alanları*

Bit Alanı Adı	Kısaltması	ME Alanı Bit Numarası	Bit Sayısı
Tip Kodu	TK	1-5	5
İzleme Durumu	İD	6-7	2
Tek Anten Belirteci (Versiyon 0) 0: Gönderici 1'den çok antenli 1: Gönderici tek antene sahip	TAB	8	1
Kodlanmış İrtifa	İ	9-20	12
Zaman	Z	21	1
CPR Formatı 0: Çift Format 1: Tek Format	F	22	1
Kodlanmış CPR Enlem	CPR-E	23-39	17
Kodlanmış CPR Boylam	CPR-B	40-56	17

Bu mesajda en önemli içeriği irtifa ve konum verileri oluşturmaktadır. Bu veriler detaylı olarak ayrı başlıklar halinde incelenecektir. Diğer bit alanları burada kısaca tanıtılacaktır.

İzleme durumu bit alanı, dört farklı değer alarak alarm bildirimi sağlar. Tanımlı değerler **Tablo *2.13***'te sunulmuştur.

Tablo 2.13. *İzleme durumu tanımlı değerleri (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, 2020, s. C-62)*

İD	Tanım
0	Bildirilecek durum yok
1	Sabit alarm (Acil durum)
2	Geçici alarm (Acil durum harici MODE-A kimlik kodunda değişim).
3	SPI durumu.

Tek bitlik "Zaman" isimli bit alanı, gönderilen mesajın UTC zamanı ile senkronize olup olmadığını ifade eder. Eğer bu bit 1'e eşitse, ardışık yollanan iki CPR Tek ve CPT Çift formatındaki mesajın arasındaki zaman farkının 0.2 saniye olduğu anlamına gelir.

CPR Çift formatındaki mesajda CPR Formatı bitinin 0 olarak gelirken, CPR Tek formatındaki mesajda CPR Formatı biti 1 olarak gelir. Eğer "Zaman" isimli bit 1'e eşitse, CPR Formatı bitinin 0'dan 1'e ve 1'den 0'a olan geçişlerinin arasının 0.2 saniyelik zaman dilimini ifade etiği sonucu çıkar. CPR Formatı biti, alıcı tarafından saat sinyali olarak yorumlanırsa elde edeceği saat sinyalinin periyodu 0.4 saniye olur. Eğer "Zaman" isimli bit 0 ise, ardışık yollanan iki CPR Tek ve CPT Çift formatındaki mesajın arasındaki zaman farkının, sabit olarak, 0.2 saniye olmadığı anlamına gelir ve CPR Formatı biti, 0.4 saniyelik bir periyodu olan saat sinyali olarak kullanılamaz demektir. (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, s. A-8)

2.4.3.1. İrtifa

Mesaj içerisindeki irtifa bit alanı, uçağın barometrik ya da GNSS irtifası bilgisinin tutulduğu alandır. Bu alan mesajın tip koduna göre farklı şekilde çözümlenir. Tip kod, [9,18] aralığında ise barometrik irtifanın feet biriminden mesaj içerisinde tutulduğunu; [20,22] aralığında ise GNSS'den sağlanan irtifanın metre biriminden mesaj içerisinde tutulduğunu belirtir. Barometrik ve GNSS'den sağlanan irtifaları taşıyan mesajlar farklı şekillerde çözümlenmektedir. Burada, bu çözümlemeler açıklanacaktır.

Barometrik irtifa bilgisinin çözümlenmesi

Mesaj tip kodu [9,18] aralığı, mesajdaki irtifa bilgisinin barometrik irtifa olduğunu belirtir ve bu 12 bitlik alanın sekizinci biti Q biti olarak adlandırılır. Q biti, irtifa bilgisinin 25 ft ya da 100 ft hassasiyet değerlerinden hangisiyle kodlandığını belirtir. Hesaplama Q bit çıkarıldıktan sonra kalan sayının hassasiyet değeriyle çarpımından 1000 ft çıkararak yapılır. Formülleri denklem **(2.19)**'da verilmiştir.

$$\begin{aligned} \mathrm{h} &= 25 \times N\ - 1000 \qquad (ft)\ (Q = 1) \\ \mathrm{h} &= 100 \times N\ - 1000 \qquad (ft)\ (Q = 0) \end{aligned} \tag{2.19}$$

Örnek olarak, irtifa bit alanının ikili format değerinin 110010111011 geldiğini varsayalım. Q bitinin değeri 1'e ve Q biti çıkarıldıktan sonra kalan kısmın değeri 11001011011'e eşittir. İrtifanın hesaplanışı denklem **(2.20)**'de gösterilmektedir.

$$\begin{aligned} 0\mathrm{b}11001011011 &= 1627 \\ \mathrm{h} &= 25 \times 1627\ - 1000\ = 39675(ft) \end{aligned} \tag{2.20}$$

Mesaj çözümlerken dikkate alınması gereken bir husus ise 50175 ft değerinden büyük irtifaların 100 ft aralıkla kodlanıyor olmasıdır. Böyle bir durumda Q biti 0 (sıfır) değerini alır. (The 1090 Megahertz Riddle, 2020, s. 53)

GNSS irtifa bilgisinin çözümlenmesi

Mesaj tip kodu [20,22] aralığı, mesajdaki irtifa bilgisinin GNSS'den sağlanan irtifa olduğunu belirtir. Gelen verinin 10 tabanındaki karşılığı uçağın metre biriminde irtifa değeridir. Denklem **(2.21)**'de örnek çözümleme gösterilmektedir.

$$\begin{aligned} 0\mathrm{b}11001011011 &= 1627\ (\mathrm{m}) \\ 1627 \times 3.28084 &= 5338\ (\mathrm{ft}) \end{aligned} \tag{2.21}$$

2.4.3.2. Konum

Seyir konumu mesajlarında konum bilgisinin taşınması, yeryüzü konumu mesajlarında olduğu gibi CPR tekniği ile gerçekleştirilir. Burada seyir konumu ve yeryüzü konumu mesajlarındaki konum bilgisinin çözümlenmesi için yapılan hesaplamaların farklılıklarından bahsedilecek ve bu tez çalışması kapsamında geliştirilen ADS-B mesaj simülatöründe üretilen seyir konumu mesajları örnek olarak çözümlenerek konuya açıklık getirilecektir.

Seyir konumu mesajı için konum çözümlemesi yaparken kullanılan hesaplamalarda, yeryüzü konumu mesajlarına göre, ilk farklılık enlem bölgelerinin boyutunu hesaplarken görülür. Enlem bölgesi boyutunun hesaplanışı denklem **(2.22)**'de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} \mathrm{dLatE} &= \frac{360^{\circ}}{4\ Nz} \qquad (CPR\ Çift\ Format) \\ \mathrm{dLatO} &= \frac{360^{\circ}}{4\ Nz - 1}\ \ (CPR\ Tek\ Format) \end{aligned} \tag{2.22}$$

Denklem **(2.2)**'de de bahsedildiği gibi, N_Z denklem **(2.22)**'de ekvator ile bir kutup arasında kalan enlem bölgelerinin sayısını ifade eder ve MODE-S sistemi için 15 olarak tanımlanmıştır.

CPR formatının tek ya da çift olduğuna ME bit 22 pozisyonundaki değere göre karar verilir.

Enlem bölgesinin boyutunun hesaplanması, seyir konumu ve yeryüzü konumu mesajları için farklı olduğu gibi boylam bölgesinin de boyutunun hesaplanması farklıdır. Seyir konumu mesajı için boylam bölgesinin boyutunun hesaplanışı denklem **(2.23)**'te gösterilmiştir.

$$
\begin{aligned}
dLon_e &= \frac{360^\circ}{n_e} \qquad (CPR\ Çift\ Format) \\
n_e &= max(NL(enlem),1)\ \ (CPR\ Çift\ Format) \\
dLon_o &= \frac{360^\circ}{n_o} \qquad (CPR\ Tek\ Format) \\
n_o &= max(NL(enlem-1),1)\ \ (CPR\ Tek\ Format)
\end{aligned}
\qquad \textbf{(2.23)}
$$

Yeryüzü konumu mesajından farklı olarak seyir konumu mesajında konum bilgisi 17 bite göre kodlanıp 17 bite göre çözümleme yapılır. Bunun sonucunda bir adet tek ve bir adet çift CPR format ile kodlanmış toplam iki adet seyir konumu mesajı ile, referans konuma ihtiyaç duymadan, küresel kesin konum çözümlemesi yapılabilir.

Küresel kesin konum çözümleme örneği

Örnek olarak, uçaktan aşağıdaki **Görsel *2.14*** ve **Görsel *2.15***'te gösterilen iki mesaj paketinin görsellerde belirtilen zamana göre aldığı varsayılsın.

Type Code	ICAO Address	Message	Callsign	Sim. Time
9	0x4BB84A	0x8D4BB84A482D964F080799FC8421	PC2674	15:13:42

Type Code	Surveillance Status	NIC supplement-B	Altitude[0:6]	Q-bit (Altitude[7])	Altitude[8:11]	Time	Format	Latitude CPR	Longitude CPR
01001	00	0	0010110	1	1001	0	1	10010011110000100	00000011110011001

Type Code	Surveillance Status	NIC supplement-B	Q-bit	Altitude	Real Altitude	Altitude Difference	Time
9	Not Available	False	<25 ft	8025 (ft)	8020 (ft)	5 (ft)	Not Sync. to UTC

Format	Latitude	Real Latitude	Longitude	Real Longitude	Location Difference
Odd	N 40° 7.9164'	N 40° 7.9156'	E 32° 50.9210'	E 32° 50.9192'	2.9880876811715 72 (m)

Görsel 2.14. *ADS-B seyir konumu mesajı örneği 1*

Type Code	ICAO Address	Message	Callsign	Sim. Time
9	0x4BB84A	0x8D4BB84A482D82C108364AB28B06	PC2674	15:13:43

Type Code	Surveillance Status	NIC supplement-B	Altitude[0:6]	Q-bit (Altitude[7])	Altitude[8:11]	Time	Format	Latitude CPR	Longitude CPR
01001	00	0	0010110	1	1000	0	0	10110000010000100	00011011001001010

Type Code	Surveillance Status	NIC supplement-B	Q-bit	Altitude	Real Altitude	Altitude Difference	Time
9	Not Available	False	<25 ft	8000 (ft)	8000 (ft)	0 (ft)	Not Sync. to UTC

Format	Latitude	Real Latitude	Longitude	Real Longitude	Location Difference
Even	N 40° 7.8625'	N 40° 7.8631'	E 32° 50.8960'	E 32° 50.8956'	1.1249343800363378 (m)

Görsel 2.15. *ADS-B seyir konumu mesajı örneği 2*

Görsel *2.14* ve **Görsel *2.15***'te gösterilen kodlanmış CPR-Enlem ve CPR-Boylam değerlerini ikili formattan 10 tabanındaki değerlerine dönüştürdüğümüzde CPR-Enlemlerin 75652 ve 90244; CPR-Boylamların ise 1945 ve 13898 olduğunu buluruz. Denklem **(2.24)**'te gösterildiği gibi 10 tabanındaki değerler 2^{17} değerine bölünerek CPR enlem boylam tanım kümesi ölçeklendirilmiş olur.

$$\begin{aligned} \text{EnlemCPR} &= \frac{90244}{2^{17}} \quad (CPR\ Çift\ Format) \\ \text{BoylamCPR} &= \frac{13898}{2^{17}} \quad (CPR\ Çift\ Format) \\ \text{EnlemCPR} &= \frac{75652}{2^{17}} \quad (CPR\ Tek\ Format) \\ \text{BoylamCPR} &= \frac{1945}{2^{17}} \quad (CPR\ Tek\ Format) \end{aligned} \qquad \textbf{(2.24)}$$

Ek-1'de formülü verildiği gibi enlem indeksi denklem **(2.25)**'te gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\text{j} = \text{floor}\left(59 \times \frac{90244}{2^{17}} - 60 \times \frac{75652}{2^{17}} + \frac{1}{2}\right) = 6 \qquad \textbf{(2.25)}$$

Hem CPR çift hem de CPR tek formatları için enlem değeri denklem **(2.26)**'da gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} \text{Enlem_Ç} &= \frac{360^\circ}{4 \times 15}\left(mod(6{,}60) + \frac{90244}{2^{17}}\right) = 40.13104248^\circ \\ \text{Enlem_T} &= \frac{360^\circ}{4 \times 15 - 1}\left(mod(6{,}59) + \frac{75652}{2^{17}}\right) = 40.13193939^\circ \end{aligned} \qquad \textbf{(2.26)}$$

Bu noktadan sonra hesaplamaya devam edilebilmesi için CPR tek ve CPR çift mesajlarından elde edilen enlem değerlerinin eşit sayıda boylam bölgesine sahip olması gerekir. Denklem **(2.27)**'de enlemlerin sahip olduğu boylam bölgelerinin sayısı hesaplanmıştır

$$\begin{aligned} \text{NL}(\text{Enlem_Ç}) &= \text{NL}(40.13104248^\circ) = 45 \\ \text{NL}(\text{Enlem_T}) &= \text{NL}(40.13193939^\circ) = 45 \end{aligned} \qquad \textbf{(2.27)}$$

Denklem **(2.27)**'de görüldüğü gibi iki mesaj için de boylam bölgesi sayısı aynıdır. Son gelen mesaj CPR çift format mesajı olduğu için hesaplamaya bu mesajdan elde edilen değer olan 40.13104248˚ ile devam edilecektir

Boylam değerinin hesaplanması ise denklem **(2.23)**'te belirtilen CPR çift formatına ait formüller ile denklem **(2.28)**, **(2.29)** ve **(2.30)**'da hesaplanmıştır.

$$n_e = max(NL(40.13104248),1) = 45$$

$$\mathrm{dLon} = \frac{360^\circ}{n_e} \qquad \textbf{(2.28)}$$

$$\mathrm{m} = \mathrm{floor}\left(\frac{13898}{2^{17}} \times (45-1) - \frac{1945}{2^{17}} \times 45 + \frac{1}{2}\right) = 4 \qquad \textbf{(2.29)}$$

$$\mathrm{Boylam} = \frac{360^\circ}{45}\left(mod(4,45) + \frac{13898}{2^{17}}\right) = 32.8482666^\circ \qquad \textbf{(2.30)}$$

Sonuç olarak denklem **(2.26)**'da elde edilen enlem 40.13104248˚ değeri ve denklem **(2.30)**'da elde edilen boylam 32.8482666˚ değeri uçağımızın konumunu vermektedir. Bu konum değerinin simülatör tarafından mesajın çözümlenmesi ile elde edilen ve **Görsel *2.15***'de gösterilen değer ile uyumlu olduğu gözlenmektedir.

Yerel kesin konum çözümleme örneği

Burada, tek bir ADS-B seyir konumu mesajı ve bir referans konum bilgisini kullanarak uçağın konumunun hesaplanışı örnek üzerinden gösterilecektir. Bu örnekte referans konum olarak önceki örnekte elde edilen konum, yani 40.13104248˚ enlemi ve 32.8482666˚ boylamı kullanılacaktır. Referans konum ile uçağın gerçek konumu arasında en fazla 180NM mesafe olmalıdır. (The 1090 Megahertz Riddle, 2020, s. 50)

Önceki konumunu bilinen ve bu konumu referans konum olarak kabul edilen uçaktan **Görsel *2.16***'deki mesajın alındığı varsayılsın.

Type Code	ICAO Address	Message	Callsign	Sim. Time
9	0x4BB84A	0x8D4BB84A482D764EAA0789BA30E5	PC2674	15:13:44

Type Code	Surveillance Status	NIC supplement-B	Altitude[0:6]	Q-bit (Altitude[7])	Altitude[8:11]	Time	Format	Latitude CPR	Longitude CPR
01001	00	0	0010110	1	0111	0	1	10010011101010101	00000011110001001

Type Code	Surveillance Status	NIC supplement-B	Q-bit	Altitude	Real Altitude	Altitude Difference	Time
9	Not Available	False	<25 ft	7975 (ft)	7970 (ft)	5 (ft)	Not Sync. to UTC

Format	Latitude	Real Latitude	Longitude	Real Longitude	Location Difference
Odd	N 40° 7.7851'	N 40° 7.7843'	E 32° 50.8611'	E 32° 50.8601'	2.001953006905658 6 (m)

Görsel 2.16. *ADS-B seyir konumu mesajı örneği 3*

Format bitinden açıkça anlaşılacağı gibi son gelen mesaj CPR tek formatındadır. Bu sebeple, denklem **(2.22)**'de gösterilen enlem bölgesinin boyutu CPR tek formatına göre **(2.31)**'de hesaplanmıştır.

$$\mathrm{dLat} = \frac{360^\circ}{4\,Nz - 1} = \frac{360^\circ}{59} \qquad \textbf{(2.31)}$$

EK-1'de formülü verilen enlem indeksi denklem **(2.32)**'de hesaplanmıştır. Bunun için ikili formattaki CPR Enlem değeri 10 tabanına çevrilerek 75605 değeri elde edilmiştir.

$$\mathrm{j} = \mathrm{floor}\left(\frac{40.13104248^\circ}{360^\circ/59}\right) + \mathrm{floor}\left(\frac{mod(40.13104248^\circ, 360^\circ/59)}{360^\circ/59} - \frac{75605}{2^{17}} + \frac{1}{2}\right) \qquad \textbf{(2.32)}$$

$$j = 6$$

Enlem değeri **(2.33)**'te hesaplanmıştır.

$$\mathrm{Enlem} = \frac{360^\circ}{59} \times \left(6 + \frac{75605}{2^{17}}\right) = 40.12975143^\circ \qquad \textbf{(2.33)}$$

Boylam bölgesinin boyutu, denklem **(2.23)**'de CPR tek formatı için verilen formüle göre denklem **(2.34)**'te hesaplanmıştır

$$\mathrm{dLon} = \frac{360^\circ}{max(45 - 1{,}1)} = \frac{360^\circ}{44} \qquad \textbf{(2.34)}$$

EK-1'de formülü verilen boylam bölgesi indeksi denklem **(2.35)**'te hesaplanmıştır. Burada, son gelen mesaj içerisindeki CPR boylam değeri ikili formattan 10 tabanına çevrilmesi sonucu elde edilen 1929 değeri kullanılmıştır.

$$\mathrm{m} = \mathrm{floor}\left(\frac{32.8482666^\circ}{360^\circ/44}\right) + \mathrm{floor}\left(\frac{mod(32.8482666^\circ, 360^\circ/44)}{360^\circ/44} - \frac{1929}{2^{17}} + \frac{1}{2}\right) \qquad \textbf{(2.35)}$$

$$\mathrm{m} = 4$$

Son aşama olarak boylam değeri denklem **(2.36)**'da hesaplanmıştır.

$$Boylam = \frac{360^\circ}{44} \times \left(4 + \frac{1929}{2^{17}}\right) = 32.84768538^\circ \qquad \textbf{(2.36)}$$

Sonuç olarak denklem **(2.33)**'de elde edilen enlem 40.12975143° değeri ve denklem **(2.36)**'da elde edilen boylam 32.84768538° değeri uçağımızın konumunu vermektedir. Bu konum değerinin, geliştirilen ADS-B mesaj simülatörü tarafından mesajın çözümlenmesi ile elde edilen ve **Görsel *2.16***'da gösterilen değer ile uyumlu olduğu gözlenmektedir.

2.4.4. Seyir hızı mesaj paketi

ADS-B mesajları içinde seyir hızı mesaj paketi, uçağın yatay ve düşey hız bilgilerini yayınlamak için kullanılır. Bu mesaj paketine ait tip kodu yalnızca TK 19'dur. Bu mesaj paketini diğer mesaj paketlerinden ayıran en büyük özellik ise, kendi alt mesaj tiplerine sahip olmasıdır. ME bit alanının [6-8] bitleri seyir hızı mesajının alt tiplerini belirler. Bu tipler, alt tip 1, 2, 3 ve 4 olarak adlandırılmıştır. Alt tip 1 ve 2 mesajları, yer hızı bilgisini taşırlarken; alt tip 3 ve 4 mesajları gerçek hava hızı ya da gösterge hava hızı bilgisini taşır. Uçağın hava hızı, yani alt tip 3 ve 4 mesajları, yalnızca uçağın yer hızı bilgisinin mevcut olmadığı durumlarda yayınlanır. (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, 2020, s. A-13) Bu sebeple, alt tip 3 ve 4 mesajları çok nadiren görülür. Alt tip 1 ve 3 mesajları ses hızının altında seyir ederken yayınlanır. Alt tip 2 ve 4 mesajları ise seyir hızı 1022 kt değerinin üzerinde iken yayınlanır.

Concorde uçağının 25 Temmuz 2000 tarihinde geçirdiği kazadan sonra uçuşları durduruldu ve son ticari uçuşunu 24 Ekim 2003 tarihinde yaptı. Bu son uçuştan sonra artık ses hızını aşabilecek operasyonel bir uçak olmadığı için alt tip 2 ve 4 mesajları günümüzde kullanılmamaktadır. Alt tip 1 ve 2 mesajlarının bit alanları **Şekil *2.6***'da gösterilmekte ve alt tip 3 ve 4 mesajlarının mesaj yapıları ise **Şekil *2.7***'de gösterilmektedir.

TK (5)	AT (3)	NDB (1)	IFR (1)	NUC_R (3)	D-B (1)	D-B Hız (10)	K-G (1)	K-G Hız (10)	DHK (1)	T-A (1)	DH (9)	R (2)	İFİ (1)	İF (7)

Şekil 2.6. *Alt tip 1 ve 2 mesajlarının bit alanları*

TK (5)	AT (3)	NDB (1)	IFR (1)	NUC_R (3)	MBAD (1)	MBA (10)	HHT (1)	HH (10)	DHK (1)	T-A (1)	DH (9)	R (2)	İFİ (1)	İF (7)

Şekil 2.7. *Alt tip 3 ve 4 mesajlarının bit alanları*

Yer hızı bilgisini taşıyan alt tip 1 ve 2 mesajları ile hava hızı bilgisini taşıyan alt tip 3 ve 4 mesajlarının ortak bit alanları **Tablo *2.14***'de gösterilmektedir.

Tablo 2.14. *Seyir hızı mesajının alt tip mesajlarının ortak bit alanları*

Bit Alanı Adı	Kısaltması	ME Alanı Bit Numarası	Bit Sayısı
Mesaj Tip Kodu	TK	1-5	5
Alt Tip Kodu	AT	6-8	3
Niyet Değişim Bayrağı	NDB	9	1
IFR Kabiliyeti Bayrağı (Versiyon 0, Versiyon 1)	IFR	10	1
Hız İçin Seyrüsefer Belirsizlik Kategorisi	NUC_R	11-13	3
Düşey Hız Kaynağı	DHK	36	1
Tırmanma-Alçalma	T-A	37	1
Düşey Hız	DH	38-46	9
Rezerve	R	47-48	2
İrtifa Farkı İşareti	İFİ	49	1
GNSS'ten Sağlanan İrtifa ile Barometrik İrtifa Farkı	İF	50-56	7

Alt tip kodu bit alanı, 3 bitlik bir alan olarak tanımlanmasına rağmen sadece 1,2,3 ve 4 değerleri tanımlı değerleridir. Bu tanımlı dört değer ise mesajın alt tipini ifade eder.

Niyet değişim bayrağı, uçuş kontrol ünitesi (FCU) veya uçuş yönetim sistemi (FMS) tarafından takip edilen hedef irtifa verisi güncellendikten 4 saniye sonra 1'değerini alır. (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, 2020, s. A-13,D-9)

IFR kabiliyeti bayrağı, mesajı yollayan uçağın ADS-B tabanlı çarpışma algılama ya da daha üst seviye bir uygulamaya sahip olup olmadığını belirtir. Eğer uçak bu kabiliyete sahipse bu bitin değeri 1'e eşittir. Bu durumda, uçağın A1 sınıfı ve üzeri bir seyrüsefer sistemine sahip olduğu çıkarımı yapılır. Uçağın bahsi geçen seviyede bir sisteme sahip olmadığı durumda ise bu bit 0 (sıfır) değerini alır. (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, s. A-34)

Hız için seyrüsefer belirsizlik kategorisi (NUC_R) bit alanı yatay ve düşey hız için iletilen bilginin ne kadar güvenilir olduğunu ifade eder. Hız bilgisi için bu kategoriler **Tablo *2.15***'te gösterilmiştir.

Tablo 2.15. *NUC_R bit alanı için tanımlı değerler (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, 2020, s. A-34)*

Düzey	Yatay Hız Hatası (NAC_V)	Düşey Hız Hatası
0	Bilinmiyor	Bilinmiyor
1	<10 m/s	<15,2 m/s (50 ft/s)
2	<3 m/s	<4,6 m/s (15 ft/s)
3	<1 m/s	<1,5 m/s (5 ft/s)
4	<0,3 m/s	<0,46 m/s (1,5 ft/s)

Düşey Hız Kaynağı biti ise düşey hız bilgisinin hangi sistemden elde edildiğini ifade eder. Eğer bu bitin değeri 0 (sıfır) ise düşey hız bilgisi GNSS tarafından sağlanmıştır. Bu bitin 1 olduğu durumda ise düşey hız bilgisinin, barometrik irtifanın değişim bilgisi kullanılarak belirlendiğini ifade eder.

Tırmanma-Alçalma bit alanı, uçağın düşey hareketinin yönünü ifade eder. Başka bir deyişle, mesajda iletilen düşey hız bilgisinin işaret bilgisini (pozitif ya da negatif) taşır. Bu bitin değeri, 0 (sıfır) ise tırmanmayı; 1 ise alçalmayı ifade eder.

Düşey hız bilgisi mesajda 64 ft/dk hassasiyet ile kodlanarak iletilir. Hesaplanışı denklem **(2.37)**'de gösterilmiştir

$$Düşey\ Hız = (1 - 2 \times [T - A]) \times 64([DH] - 1) \qquad \textbf{(2.37)}$$

Denklem **(2.37)**'de *T-A*, mesaj içerisinde gelen tırmanma-alçalma bitinin değerini ifade ederken; *DH* ise mesaj içerisinde gelen düşey hız bilgisini ifade eder.

Denklem **(2.37)**'den çıkarılacak bir başka sonuç ise düşey hız (DH) bit alanındaki değerin 0 (sıfır) gelmesidir. Bu durumda denklem **(2.37)**'ye göre düşey hız –64 ft/dk olarak hesaplanır ancak T-A biti bu durumda anlamını yitirmektedir. Bu çelişkili durum gerçekte mevcut değildir. Düşey hız (DH) bit alanındaki değerin 0 (sıfır) gelmesi, düşey hız bilgisinin mevcut olmadığı anlamına gelir. (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, s. A-34)

İrtifa farkı işareti biti, mesaj paketi içerisinde iletilen GNSS'ten sağlanan irtifa ile barometrik irtifa arasındaki fark bilgisinin işaret (pozitif ya da negatif) bitidir. Bu bitin değeri 0 (sıfır) ise GNSS'ten sağlanan irtifa değeri, barometrik irtifa değerinden büyüktür. Eğer bu bitin değeri 1 ise GNSS'ten sağlanan irtifa değeri, barometrik irtifa değerinden küçüktür.

GNSS'ten sağlanan irtifa ile barometrik irtifa arasındaki fark ise 25 ft hassasiyet ile kodlanarak iletilir. Mesaj içerisinden irtifa farkı bilgisinin elde edilişi denklem **(2.38)**'de gösterilmiştir.

$$\Delta h = (1 - 2 \times [\dot{I}F\dot{I}]) \times 25([\dot{I}F] - 1) \qquad \textbf{(2.38)}$$

Denklem **(2.38)**'de Δh, GNSS'ten sağlanan irtifa ile barometrik irtifa arasındaki farkı; $\dot{I}F\dot{I}$ ise irtifa farkı işaret bitinin değerini; $\dot{I}F$ ise irtifa farkının 10 tabanındaki değerini ifade eder.

İF bit alanının tüm bitlerinin 0 (sıfır) gelmesi bu bilginin mevcut olmadığı anlamına gelir. (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, s. A-34)

2.4.4.1. Alt tip 1 ve 2: Yer hızı mesajları

Yer hızı verisini ileten alt tip 1 ve 2 mesajlarının bit alanları tamamen aynı olmasına karşın ses hızının altında seyir ederken alt tip 1 mesajı; ses hızının üzerinde seyir ederken alt tip 2 mesajı yayınlanır. Bu iki tip yer hızı mesajlarında, düşey hız verisinde olduğu gibi, yer hızı verileri bir bitlik işaret bitleri ile birlikte iletilir. Burada farklı olan husus ise yer hızı verisinin doğrudan gönderilmesi yerine kuzey-güney eksenindeki ve doğu-batı eksenindeki iki ayrı bileşeninin gönderilmesidir. ME bit alanının [14,35] bitlerinin alt tip 1 ve 2 mesajları için tanımlanan formu **Tablo *2.16***'da gösterilmiştir. Hız verilerinin tüm bitlerinin 0 (sıfır) olması, hız verisinin mevcut olmadığı anlamına gelir. (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, s. A-34)

Tablo 2.16. *Yer hızı mesajının bit alanları*

Bit Alanı Adı	Kısaltması	ME Alanı Bit Numarası	Bit Sayısı
Doğu-Batı Hız Bileşeninin Yönü	D-B	14	1
0: Doğu, 1: Batı			
Doğu-Batı Hız Bileşenin Büyüklüğü	D-B Hız	15-24	10
Kuzey-Güney Hız Bileşeninin Yönü	K-G	25	1
0: Kuzey, 1: Güney			
Kuzey-Güney Hız Bileşenin Büyüklüğü	K-G Hız	26-35	10

Alt tip 1 mesajı, 1 kt'lık hassasiyetle hız verisini iletirken; alt tip 2 mesajları, hız verisini 4 kt'lık hassasiyetle iletir. Alt tip 1 ve 2 mesajları için yer hızının çözümlenmesi sırasıyla **(2.39)** ve **(2.40)** numaralı denklemlerde gösterilmiştir. Denklemlerdeki analitik

hesaplamalarda doğu yönü, pozitif x ekseni olarak; kuzey yönü ise pozitif y ekseni olarak kabul edilmiştir.

$$V_x = (1 - 2 \times [D - B]) \times ([D - B\ Hız] - 1)$$
$$V_y = (1 - 2 \times [K - G]) \times ([K - G\ Hız] - 1) \quad \textbf{(2.39)}$$

$$V_x = 4 \times (1 - 2 \times [D - B]) \times ([D - B\ Hız] - 1)$$
$$V_y = 4 \times (1 - 2 \times [K - G]) \times ([K - G\ Hız] - 1) \quad \textbf{(2.40)}$$

Denklem **(2.39)** ve **(2.40)**'da *Vx* ifadeleri, doğu-batı ekseni üzerindeki hız bileşeni büyüklüğünü; *Vy* ifadeleri, kuzey-güney ekseni üzerindeki hız bileşeni büyüklüğünü; *[D-B]* ve *[K-G]* ifadeleri, ilgili bit alnındaki sayısal değeri; *[D-B Hız]* ve *[K-G Hız]* ifadeleri, ilgili bit alnındaki hız verisinin 10 tabanındaki değerini ifade etmektedir.

Her iki alt tip mesajı için yer hızının büyüklüğü denklem **(2.41)**'de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\mathrm{V} = \sqrt{{V_x}^2 + {V_y}^2} \quad \textbf{(2.41)}$$

Mesajdan elde edilen x ve y doğrultusundaki hız bileşenleri kullanılarak uçağın baş açısı denklem **(2.42)**'de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\lambda = mod(\cot^{-1}(V_y, V_x) \times 180°/\pi\,, 360°) \qquad ([K - G] = 0)$$
$$\lambda = mod(\cot^{-1}(V_y, V_x) \times 180°/\pi + 180°, 360°) \quad ([K - G] = 1) \quad \textbf{(2.42)}$$

Denklem **(2.42)**'de λ, baş açısını; *Vx*, doğu-batı ekseni üzerindeki hız bileşeni büyüklüğünü; *Vy*, kuzey-güney ekseni üzerindeki hız bileşeni büyüklüğünü ifade eder.

Denklem **(2.42)**'de cot^{-1} trigonometrik fonksiyonu ile radyan biriminde bir açı hesaplandıktan sonra açı birimi dereceye çevrilmiştir. Elde edilen açı, [-90˚,90˚] aralığında olacağından dolayı sadece kuzey-güney ekseni ilen yapılan açıyı ifade eder. Bu sebeple güneye doğru uçan uçaklar için 180˚ ofset açısı eklenmelidir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen ADS-B mesaj simülatörünün çözümlemiş olduğu örnek bir alt tip yer hızı mesajı **Görsel *2.17***'da gösterilmiştir.

Type Code	ICAO Address	Message	Callsign	Sim. Time
19	0x4BB84A	0x8D4BB84A9924297C8501D0DDEC	PC2674	15:13:36

Type Code	Sub-Type	Intent Change Flag	IFR Capability	Velocity Uncertainty (NAC)	E-W Velocity Sign	E-W Velocity	N-S Velocity Sign	N-S Velocity	Vertical Rate Source	Vertical Rate Sign	Vertical Rate	RESV_B	Diff Baro Alt Sign	Diff Baro Alt
10011	001	0	0	100	1	0001000010	1	0010111110	0	1	0000010100	00	0	0000001

Type Code	Sub-Type	Intent change flag	IFR Capability	Velocity uncertainty (NAC)
19	Sub-Type 1 (Subsonic,GS)	False	False	< 0.3 m/s

East-West Velocity Sign	East-West Velocity	North-South Velocity Sign	North-South Velocity	Calculated Ground Speed	Real Ground Speed	Ground Speed Diff	Calculated Heading	Real Heading	Heading Diff
1	65 (kt)	1	189 (kt)	200 (kt)	200 (kt)	0 (kt)	199 °	199 °	0 °

Vertical Rate Source	Vertical Rate Sign	Vertical Rate	Real Vertical Rate	Vertical Rate Diff	Reserved-B	Diff Baro Alt Sign	Diff Baro Alt
GNSS altitude change rate	Down	1216 (fpm)	-1200 (fpm)	-16 (fpm)	0	0	0 (ft)

Görsel 2.17. *ADS-B yer hızı mesaj örneği*

2.4.4.2. Alt tip 3 ve 4: Hava hızı mesajları

Hava hızı verisini ileten alt tip 3 ve 4 mesajlarının bit alanları tamamen aynı olmasına karşın ses hızının altında seyir ederken alt tip 3 mesajı; ses hızının üzerinde seyir ederken alt tip 4 mesajı yayınlanır. Hava hızı mesajları uçağın yer hızı bilgisinin mevcut olmadığı durumlarda yayınlanır. Bu sebeple hava trafiğinde çok az rastlanır. Yer hızı mesajlarından farklı olarak uçağın baş açısı bilgisi, doğu-batı ve kuzey-güney hız bileşenlerinden hesaplanmak yerine, kendine ait bir alanına sahiptir.

ME bit alanının [14,35] bitlerinin alt tip 3 ve 4 mesajları için tanımlanan formu **Tablo *2.17***'de gösterilmiştir. Hız verisinin tüm bitlerinin 0 (sıfır) olması, hız verisinin mevcut olmadığı anlamına gelir. (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, s. A-35)

Tablo 2.17. *Hava hızı mesajının bit alanları*

Bit Alanı Adı	Kısaltması	ME Alanı Bit Numarası	Bit Sayısı
Manyetik Baş Açısı Durumu 0: Mevcut Değil, 1: Mevcut	MBAD	14	1
Manyetik Baş Açısı	MBA	15-24	10
Hava Hızı Tipi 0: Gösterge Hava Hızı 1: Gerçek Hava Hızı	HHT	25	1
Hava Hızı	HH	26-35	10

MBAD bit alanı, manyetik baş açısı verisinin mevcut olup olmadığını belirtir. Manyetik baş açısı verisi için 10 bitlik alan ayrılmıştır ve [0˚,360˚] aralığındaki baş açısı bilgisi [0,1023] aralığına ölçeklendirilerek taşınır. Tanım kümesinin büyümesi sayesinde baş açısı verisi, 360˚/1024 yani 0.35˚ hassasiyetle taşınır. Alt tip 3 ve 4 mesajları için manyetik baş açısı (ϕ) denklem **(2.43)**'te gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$\phi = [\text{MBA}] \times \frac{360^{\circ}}{2^{10}} = [\text{MBA}] \times \frac{360^{\circ}}{1024} \qquad \textbf{(2.43)}$$

Denklem **(2.43)**'te ϕ, manyetik baş açısını; *[MBA]* ise mesajda MBA bit alanında tutulan değerin 10 tabanındaki karşılığını ifade eder.

Alt tip 3 mesajı, 1 kt'lık hassasiyetle hız verisini iletirken; alt tip 4 mesajları, hız verisini 4 kt'lık hassasiyetle iletir. Alt tip 3 ve 4 mesajları için yer hızının çözümlenmesi sırasıyla **(2.44)** ve **(2.45)** numaralı denklemlerde gösterilmiştir.

$$\mathrm{V} = \ [HH] - 1 \ (kt) \qquad \textbf{(2.44)}$$

$$\mathrm{V} = \ 4 \times ([HH] - 1) \ (kt) \qquad \textbf{(2.45)}$$

(2.44) ve **(2.45)** numaralı denklemlerde *V*, hava hızını; *[HH]* ise HH bit alanında tutulan değerin 10 tabanındaki karşılığını ifade eder.

Alt tip 3 mesajına ait örnek bir çözümleme **Tablo *2.18***'da gösterilen ME bit alanının [14,35] bitleri ile yapılmıştır

Tablo 2.18. *Seyir Hızı mesajına ait örnek alt tip 3 mesajı ME [14,35] bitlerinin değerleri*

Sayı Tabanı	MBAD	MBA	HHT	HH
2	0b1	0b1011101110	0b1	0b0101111100
10	1	750	1	380

Denklem **(2.43)**'te verilen hesaplama yöntemine uygun şekilde **Tablo *2.18***'de belirtilen manyetik baş açısı verisi ile uçağın baş açısı denklem **(2.46)**'da hesaplanmıştır

$$\phi = 750 \times \frac{360^{\circ}}{1024} = 263.67^{\circ} \approx 264^{\circ} \qquad \textbf{(2.46)}$$

Örnek mesaj alt tip 3 mesajı olduğu için hava hızı denklem **(2.44)**'de belirtilen hesaplama yöntemine uygun şekilde denklem **(2.47)**'de hesaplanmıştır.

$$\mathrm{V} = \ 380 - 1 = 379 \ kt \qquad \textbf{(2.47)}$$

Sonuç olarak, örnek mesajı yayınlayan uçağın 379 kt değerinde bir süratle ve 264° başla seyir ettiği hesaplanmıştır.

2.4.5. Uçak durumu mesaj paketi

Uçağın durumuna ait ek bilgilerin iletilmesi için yayınlanan bir mesajdır. ADS-B mesajları içerisinde en basit mesaj yapısına sahip olan mesajdır. Bu mesaj paketine ait tip kodu yalnızca TK 28'dir. Mesaj yapısı **Şekil *2.8***'de gösterilmiştir. Mesaj yapısında bulunan MODE-A kodu sadece Versiyon 2'de mevcuttur.

TK (5)	AT (3)	AD (3)	MODE-A KOD (13)	REZ

Şekil 2.8. *ADS-B Uçak durumu mesajı bit alanları*

Şekil *2.8*'de gösterilen mesaj yapısındaki bit alanları **Tablo *2.19***'da gösterilmektedir.

Tablo 2.19. *Uçak durumu mesajının bit alanları (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, s. A-69,B-36,C-69)*

Bit Alanı Adı	Kısaltması	ME Alanı Bit Numarası	Bit Sayısı
Tip Kodu	TK	1-5	5
Alt Tip Kodu	AT	6-8	3
Acil Durum	AD	9-11	3
MODE A Kodu (Versiyon 2)	MODE-A KODE	12-24	13
Rezerve	REZ	25-56	32

Alt tip kodu bit alanı için tanımlı değerler **Tablo *2.20***'de gösterilmiştir.

Tablo 2.20. *Uçak durumu mesajı alt tip kodları (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, s. A-69,B-36,C-69)*

Alt Tip Kodu	Açıklaması
0	Bilgi mevcut değil
1	Acil/Öncelik durumu (Tüm Versiyonlar) ve MODE-A kodu (Versiyon 2)
2	TCAS/ACAS RA Broadcast (Versiyon 1, Versiyon 2)
3-7	Rezerve

Acil durum bit alanı için tanımlanan değerler **Tablo *2.21***'de gösterilmiştir.

Tablo 2.21. *Acil durum kodları*

Alt Tip Kodu	Açıklaması
0	Acil durum mevcut değil
1	Genel acil durum
2	Cankurtaran / Tıbbi
3	Minimum yakıt
4	Haberleşme yok
5	Yasadışı müdahale
6	Düşen uçak
7	Rezerve

MODE-A kodu alanında pilot tarafından girilen squawk kodu iletilir. (Mode A and Mode C: The Straight Scoop on How It Works, 2020)

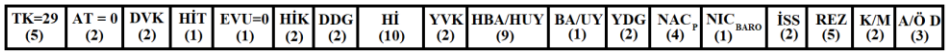
2.4.6. Hedeflenen durum ve mevcut durum bilgisi mesaj paketi

Uçağın hedeflenen irtifa ve baş açısı bilgileri ile çeşitli durum bilgilerini içeren mesajlardır. Bu mesajlar tip kodu olarak TK 29 ile yayınlanmaktadır. Bu mesajlar sadece

ADS-B Versiyon 1 ve Versiyon 2 sistemler tarafından yayınlanmakta ve kullanılmaktadır. Bu mesaj iki alt tip mesaja sahiptir. Alt tip 0 mesajı, her iki versiyon (Versiyon 1 ve Versiyon 2) için ortaktır. Alt tip 1 mesajı ise yalnızca Versiyon 2 için tanımlıdır. Alt tip 1 mesajı içerisinde seçilen irtifa ve seçilen baş açısı bilgisinin yanında otomatik pilot ve TCAS/ACAS gibi alt sistemlere ait durum bilgisi taşınmaktadır. Bu çalışma kapsamında hedeflenen irtifa ve baş açısı bilgilerinin ve alt sistemlere ait durum bilgilerinden daha büyük önem arz etmesinden dolayı alt tip 0 mesajı burada açıklanacaktır. Mesaj yapısına girmeden önce ise hedeflenen irtifa ve baş açısı bilgilerinin önemli olmasının sebebi kısaca açıklanacaktır.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen ADS-B mesaj simülatörünün en önemli özelliği, çözümlediği mesajlardan elde ettiği konum ve hareket verilerini inceleyerek birbirine minimum yaklaşma limitinin altında yaklaşan ve yaklaşma potansiyeli olan uçakları tespit edip hava trafik kontrolörüne uyarıcı ve bilgilendirici işaretler vermesidir. Daha da geliştirilmesi durumunda, tip kodu 29 ile yayınlanan "Hedeflenen durum ve mevcut durum bilgisi" mesajı kullanılarak, mevcut durumun da ötesinde hedeflenen durumların bir kazaya sebebiyet verme potansiyelinin olup olmadığı tespit edilebilir olacaktır. Eğer hedeflenen durumların kazaya sebebiyet verme potansiyeli varsa bu da kullanıcıya uyarı olarak verilecektir.

Hedeflenen durum ve mevcut durum bilgisi mesajının yapısı **Şekil *2.9***'da gösterilmektedir.



Şekil 2.9. *Hedeflenen durum mesajı bit alanları*

Hedeflenen durum ve mevcut durum bilgisi mesajının bit alanları **Tablo *2.22***'de tanımlanmıştır.

Tablo 2.22. *Hedeflenen durum mesajı bit alanları*

Bit Alanı Adı	Kısaltması	ME Alanı Bit Numarası	Bit Sayısı
Mesaj Tip Kodu	TK	1-5	5
Alt Tip Kodu	AT	6-7	2
Düşey Veri Kaynağı	DVK	8-9	2
Hedeflenen İrtifa Tipi	HİT	10	1
Eski Versiyon Uyumluluğu	EVU	11	1
Hedef İrtifa Kabiliyeti	HİK	12-13	2
Düşey Durum Göstergesi	DDG	14-15	2
Hedeflenen İrtifa	Hİ	16-25	10
Yatay Veri Kaynağı	YVK	26-27	2
Hedeflenen Baş Açısı/Uçuş Yolu	HBA/HUY	28-36	9
Baş Açısı / Uçuş Yolu Göstergesi	BA/UY	37	1
Yatay Durum Göstergesi	YDG	38-39	2
Seyrüsefer Doğruluk Kategorisi-Konum	NAC_P	40-43	4
Seyrüsefer Bütünlük (Integrity) Kategorisi-Baro.	NIC_{BARO}	44	1
İzleme Bütünlük (İntegrity) Seviyesi	İSS	45-46	2
Rezerve	REZ	47-51	5
Kabiliyet / Mod	K/M	52-53	2
Aciliyet/Öncelik Durumu	A/Ö D	54-56	3

Alt tip bit alanı için sadece 0 (sıfır) değeri Versiyon 0'da tanımlıdır. Diğer değerler (1,2,3) rezervedir. Versiyon 1'de ise alt tip için 0 ve 1 tanımlı olup; 2 ve 3 rezervedir. Alt tip 1 mesajı, Doc 9871 AN/460 teknik el kitabında C.2.9.3 başlığı altında çok detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

Düşey veri kaynağı bit alanı, mesajda ilgili bit alanında düşey veri bilgisinin mevcut olup olmadığı ile birlikte bu verinin hangi kaynaktan elde edildiğini belirtir. Mesaj üretildiği anda, hedeflenen düşey duruma ait parametrelerinin son güncellemesinin üzerinden 5 saniyeden fazla bir zaman geçtiyse son veri artık geçersiz sayılır ve bu durum yine düşey veri kaynağı bit alanında belirtilir. Bu bit alanı için tanımlı değerler **Tablo *2.23***'te gösterilmektedir.

Tablo 2.23. *Düşey veri kaynağı bit alanının tanımlı değerleri ve anlamları*

Tanımlı Değer	Anlamı
0	Geçerli bir hedeflenen düşey durum verisi yok
1	MCP ya da FCU gibi otomatik pilot kontrol paneli kaynaktır.
2	Mevcut irtifa değeri korunmaktadır
3	FMS/RNAV sistemi kaynaktır

Hedeflenen irtifa tipi bit alanı, mesajda iletilen hedeflenen irtifa değerinin referans noktasını verir. Bu alanın 0 (sıfır) değerini alması, uçuş seviyesinin referans alındığı anlamına gelir. Bu alanın 1 olması ise hedeflenen irtifa değerinin ortalama deniz seviyesi (MSL) referanslı olduğunu ifade eder.

Eski versiyon uyumluğu bit alanı, sistemin eski versiyonlarla uyumlu çalışabildiğini (1) ya da çalışamadığını (0) belirtir. Bu bit alanı her zaman 0 (sıfır) değeri ile yollanır. (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, s. B-38)

Hedef irtifa kabiliyeti bit alanı, uçağın hedeflenen irtifa bilgisini sağlama kabiliyetini ifade eder. Bu bit alanı için tanımlı değerler ve anlamları **Tablo *2.24***'te gösterilmiştir.

Tablo 2.24. *Hedef irtifa kabiliyeti bit alanı tanımlı değerlerin anlamları*

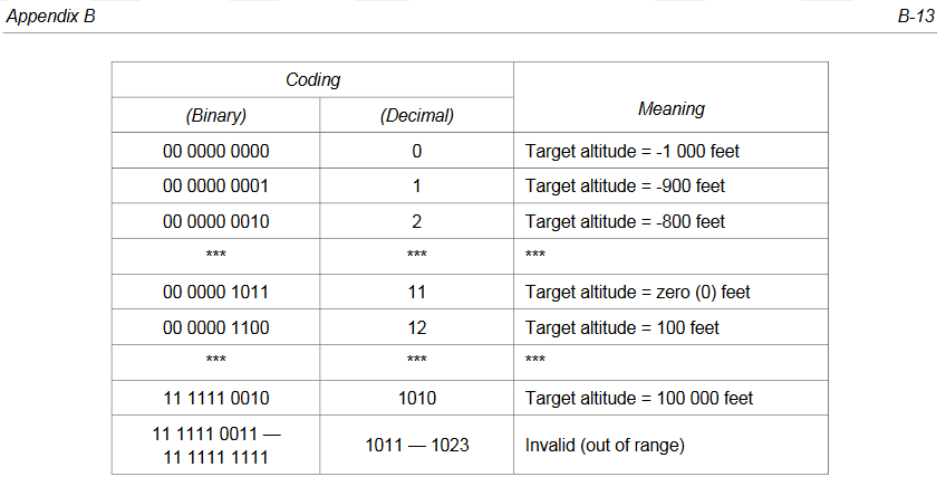
Düzey	Anlamı
0	Sadece korunan irtifayı raporlama kabiliyeti var.
1	Korunan irtifayı ya da otomatik pilot kontrol panelinden seçilen irtifayı raporlama kabiliyeti var.
2	Korunan irtifayı, otomatik pilot kontrol panelinden seçilen irtifayı ya da herhangi FMS/RNAV seviye atlama irtifasını raporlama kabiliyeti var.
3	Rezerve

Düşey durum göstergesi bit alanı ise hedef irtifanın elde edildiğini ya da elde edilme sürecinde olduğunu ifade eder. Tanımlı değerleri **Tablo *2.25***'te gösterilmektedir.

Tablo 2.25. *Düşey durum göstergesi bit alanı tanımlı değerleri*

Değer	Anlamı
0	Bilinmeyen durum ya da bilgi mevcut değil
1	İrtifa elde edilme sürecinde
2	İrtifa elde edildi ya da korunuyor
3	Rezerve

Hedeflenen irtifa bit alanı, eğer uçak tırmanma ya da alçalma yapıyorsa uçağın sonraki hedeflenen irtifa değerini içerir. Eğer uçak mevcut irtifasını korumaktaysa hedeflenen irtifa bit alanında mevcut hedeflenmiş irtifa bilgisi iletilir. Burada bildirilen irtifa değeri uçağın otomatik pilot sistemi tarafından kabul edilen operasyonel bir irtifadır. Hedeflenen irtifa bilgisi 100 ft hassasiyetle kodlanarak iletilir. Hedeflenen irtifa bilgisinin kodlanışını gösteren **Görsel *2.18*.** Hedeflenen irtifa değerinin kodlanışının anlatımı, Doc 9871 AN/460 teknik el kitabına aittir. Burada 0 ft (sıfır) ve 100 ft için gösterilen 11 ve 12 değerlerinin hatalı olduğu değerlendirilmektedir. Görseldeki tanım aralığı içerisinde bulunan diğer değerler denklem **(2.48)**'e uymaktadır. Ancak 11 ve 12 değerleri denklem ile uyuşmamaktadır.



Appendix B *B-13*

Coding		*Meaning*
(Binary)	*(Decimal)*	
00 0000 0000	0	Target altitude = -1 000 feet
00 0000 0001	1	Target altitude = -900 feet
00 0000 0010	2	Target altitude = -800 feet
***	***	***
00 0000 1011	11	Target altitude = zero (0) feet
00 0000 1100	12	Target altitude = 100 feet
***	***	***
11 1111 0010	1010	Target altitude = 100 000 feet
11 1111 0011 — 11 1111 1111	1011 — 1023	Invalid (out of range)

Görsel 2.18. *Hedeflenen irtifa değerinin kodlanışının anlatımı (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, 2020, s. B-13)*

$$\text{Hİ} = 100 \times [\text{Hİ}] - 1000 \text{ (ft)} \qquad \textbf{(2.48)}$$

Denklem **(2.48)**'de *Hİ*, hedeflenen irtifa değerini ft biriminde; *[Hİ]* ise mesaj içerisinde gelen kodlanmış değerin 10 tabanındaki karşılığını ifade eder.

Yatay veri kaynağı bit alanı, mesajda ilgili bit alanında yatay veri bilgisinin mevcut olup olmadığı ile birlikte bu verinin hangi kaynaktan elde edildiğini belirtir. Mesaj üretildiği anda, hedeflenen yatay duruma ait parametrelerinin son güncellemesinin üzerinden 5 saniyeden fazla bir zaman geçtiyse son veri artık geçersiz sayılır ve bu durum yine düşey veri kaynağı bit alanında belirtilir. Bu bit alanı için tanımlı değerler ve anlamları **Tablo *2.26***'da gösterilmektedir.

Tablo 2.26. *Yatay veri kaynağı bit alanının tanımlı değerleri ve anlamları*

Tanımlı Değer	Anlamı
0	Geçerli bir hedeflenen yatay durum verisi yok
1	MCP ya da FCU gibi otomatik pilot kontrol paneli kaynaktır.
2	Mevcut baş açısı ya da uçuş yolu değeri korunmaktadır
3	FMS/RNAV sistemi kaynaktır

Hedeflenen baş açısı/uçuş yolu bit alanı, uçağın hedeflenen baş açısı ya da uçuş yolu verisinin derece biriminde tutulduğu alandır. Bu veri için herhangi bir kodlayarak iletme söz konusu değildir. Baş açısı ve uçuş yolu değerleri 0˚ ile 359˚ arasında tanımlı olduğu için 9 bitlik bir alan ayrılmıştır. Ancak, 9 bitlik alanda 0 ile 511 (2^9-1) arasındaki değerler tutulduğu için 360 ile 511 arasındaki değerler geçersizdir ve alıcı tarafından yok sayılmaktadır.

Baş açısı/uçuş yolu göstergesi bit alanı, hedeflenen baş açısı/uçuş yolu bit alanındaki verisin baş açısı mı yoksa uçuş yolu mu olduğu belirtir. Bu bit alanı 0 (sıfır) olduğuna taşınan veri baş açısı; 1 olduğunda taşınan veri uçuş yolunu belirtmektedir.

Yatay durum göstergesi bit alanı, mesajda iletilen hedef baş açısı ya da uçuş yolu değerinin elde edilmekte ya da elde edilip korunmakta olduğunu belirtir. Yatay durum göstergesi bit alanının tanımlı değerleri ile anlamları **Tablo *2.27***'de gösterilmektedir.

Tablo 2.27. *Yatay durum göstergesi bit alanının tanımlı değerleri ile anlamları*

Değer	Anlamı
0	Bilinmeyen durum ya da bilgi mevcut değil
1	Hedeflenen Baş açısı/Uçuş yolu elde edilme sürecinde
2	Hedeflenen Baş açısı/Uçuş yolu elde edildi ya da korunuyor
3	Rezerve

Seyrüsefer doğruluk kategorisi-Konum bit alanı, uçağın raporladığı konum bilgisi için temel olarak kullanılan seyrüsefer bilgisinin seyrüsefer doğruluk kategorisini belirtmek için kullanılır. Mesaj üretildiği anda uçak üzerindeki veri kaynağından 2 saniye içinde NAC_P için bir güncelleme gelmediyse bu bit alanı, 0'a (sıfır) ayarlanır. Bu da bilinmeyen doğruluk kategorisi anlamına gelir. Bu bit alanı için tanımlı değerler ile anlamları **Tablo *2.28***'de gösterilmektedir. **Tablo *2.28***'de belirtilen uzunluk değerleri, merkezi uçağın raporladığı konum olan ve %95 olasılıkla uçağın gerçek konumunun içerisinde bulunduğu çemberi ifade eder. Bu olasılığa, tahmini konum belirsizliği (EPU) denir. EPU, GPS ya da GNSS tarafından raporlanırken genellikle HFOM (Horizontal Figure of Merit) olarak adlandırılır.

Tablo 2.28. *Seyrüsefer doğruluk kategorisi-Konum bit alanının tanımlı değerleri*

Değer	EPU Yarıçapı	VEPU Mesafesi
0	EPU ≥ 18.52 km (10 NM)	-
1	EPU < 18.52 km (10 NM)	-
2	EPU < 7.408 km (4 NM)	-
3	EPU < 3.704 km (2 NM)	-
4	EPU < 1852 m (1 NM)	-
5	EPU < 926 m (0.5 NM)	-
6	EPU < 555.6 m (0.3 NM)	-
7	EPU < 185.2 m (0.1 NM)	-
8	EPU < 92.6 m (0.05 NM)	-
9	EPU < 30 m	VEPU < 45 m
10	EPU < 10 m	VEPU < 15 m
11	EPU < 3 m	VEPU < 4 m
12-15	Rezerve	-

Seyrüsefer bütünlük (Integrity) kategorisi-baro biti, seyir konumu mesaj paketinde taşınan barometrik irtifa verisinin başka barometrik irtifa kaynakları ile çapraz kontrolünün yapılıp yapılmadığını belirtir. Bu bit, 0 (sıfır) olduğunda çapraz kontrolün yapılmadığını; 1 olduğunda çapraz kontrolün yapıldığını belirtir. Mesaj üretildiği anda uçak üzerindeki veri kaynağından 2 saniye içinde NIC_{BARO} için bir güncelleme gelmediyse bu bit alanı, 0'a (sıfır) ayarlanır.

İzleme bütünlük (Integrity) sevisyesi bit alanı, kaynak olarak seçilen seyrüsefer sistemi tarafından kullanılan harici sinyal dahil olmak üzere, seyrüsefer bütünlük

(Integrity) kategorisi tarafından belirtilen bütünlük çevirim bölgesinin olasılığını belirtmek için kullanılır. Bu olasılık, aşağıdaki olaylardan gerçekleşme olasılığı en büyük olanın olasılık değerine eşittir.

a. Konum kaynağı ekipmanın arızası (saat başına)
b. Yatay veya düşey bütünlük (integrity) çevirim bölgesinden daha büyük bir konum kaynağı hatasının numune başına olasılığı
c. GNSS tabanlı konum kaynağı için yatay ve düşey çevirim bölgesinden daha büyük bir konum hatasının uzaydaki sinyalden kaynaklı olarak oluşma olasılığı

İzleme bütünlük (Integrity) seviyesi bit alanının tanımlı değerleri ve ifade ettikleri olasılık değerleri **Tablo *2.29***'da gösterilmiştir.

Tablo 2.29. *İzleme bütünlük (Integrity) seviyesi bit alanının tanımlı değerleri*

Değer	**NIC'nin belirttiği bölgenin dışında olma olasılığı (Yatay)**	**NIC'nin belirttiği bölgenin dışında olma olasılığı (Düşey)**
0	Belirsiz	Belirsiz
1	$\leq 10^{-3}$	$\leq 10^{-3}$
2	$\leq 10^{-5}$	$\leq 10^{-5}$
3	$\leq 10^{-7}$	$\leq 10^{-7}$

Tablo *2.29*'da belirtilen olasılık değerleri, her bir uçuş saati başına ya da her bir örnekleme başına düşen hata olasılığıdır. Sadece izleme bütünlük (Integrity) sevisyesi bit alanının değerinin 3 olduğu durumda düşeydeki hata olasılığı her bir 150 saniye başına ya da her bir örnekleme başına düşen hata olasılığını belirtir.

Kabiliyet/Mod bit alanı, TCAS/ACAS sistemlerinin ya da fonksiyonlarının mevcut operasyonel durumunu belirtmek için kullanılır. Mesajın üretildiği anda uçak üzerindeki veri kaynağından 2 saniye içinde Kabiliyet/Mod bit alanı için bir güncelleme gelmediyse bu bit alanı, 0'a (sıfır) ayarlanır. Bu bit alanı için tanımlı değerler **Tablo *2.30***'da gösterilmiştir.

Tablo 2.30. *Kabiliyet/Mod bit alanının tanımlı değerleri ve anlamları*

K/M Biti	Anlamı
K/M bit-0 = 0	TCAS/ACAS faal ya da durumu bilinmiyor
K/M bit-0 = 1	TCAS/ACAS faal değil
K/M bit-1 = 0	TCAS/ACAS çözüm öneri özelliği aktif değil
K/M bit-1 = 1	TCAS/ACAS çözüm öneri özelliği aktif

Aciliyet/Öncelik durumu bit alanı, uçak durumu mesajı içerisinde yer alan acil durum bit alanı ile birebir aynıdır. Bu bit alanına ait tanımlı değerler ile anlamları **Tablo *2.21***'de verilmiştir.

2.4.7. Uçağın operasyonel durumu mesaj paketi

Hava trafik kontrolörü ile ilgili uygulamaların kabiliyet sınıfını ve mevcut operasyonel modu ile birlikte diğer operasyonel bilgileri yayınlamak amacıyla kullanılan bir mesajdır. Bu mesaj, tip kodu olarak TK 31 ile yayınlanmaktadır. Bu mesaj tipi tüm ADS-B versiyonlarında tanımlı olmasına rağmen operasyonel kullanımda ADS-B Versiyon 0 sistemlerde kullanılmamaktadır. (The 1090 Megahertz Riddle, 2020, s. 70)

Uçağın operasyonel durumu mesajının yapısı her bir ADS-B sistem versiyonunda farklılık göstermektedir. ADS-B Versiyon 0 sistemlerde bu mesaj kullanılmadığından ve ADS-B Versiyon 2 için tanımlanan mesaj yapısının Versiyon 1 için tanımlanan mesaj yapısını kapsamasından dolayı bu mesaja ait mesaj yapısı Versiyon 2 üzerinden açıklanacaktır. Versiyon 1 ve Versiyon 2'de bu mesaj için seyir durumu ve yer durumu mesajları olarak iki alt tip mesaj tanımlanmıştır. Seyir durumu ve yer durumu mesajlarının Versiyon 2'deki tanımlı mesaj yapıları sırasıyla **Şekil *2.10***'da ve **Şekil *2.11***'de gösterilmiştir

TK=31 (5)	AT = 0 (3)	SKS (16)	SOM (16)	VN (3)	NIC-A (1)	NAC_P (4)	GDD (2)	KSS (2)	NIC_{BARO} (1)	YRD (1)	KSS-E (1)	REZ (1)

Şekil 2.10. *Seyir durumu mesajının bit alanları*

TK=31 (5)	AT=1 (3)	YKS (12)	U/G K (4)	YOM (16)	VN (3)	NIC-A (1)	NAC_P (4)	REZ (2)	KSS (2)	UY/BA (1)	YRD (1)	KSS-E (1)	REZ (1)

Şekil 2.11. *Yer durumu mesajının bit alanları*

Seyir durumu ve yer durumu mesajlarının bit alanlarının açıklamaları öncelikle her iki mesajda ortak olan bit alanları için yapılacaktır. Ortak olmayan bit alanlarının

açıklamaları ise iki ayrı başlık altında yapılacaktır. Seyir durumu ve yer durumu mesajlarının ortak bir alanları **Tablo *2.31***'de gösterilmiştir.

Tablo 2.31. *Seyir durumu ve yer durumu mesajlarının ortak bit alanları*

Bit Alanı Adı	Kısaltması	ME Alanı Bit Numarası	Bit Sayısı
Mesaj Tip Kodu	TK	1-5	5
Alt Tip Kodu	AT	6-8	3
ADS-B Versiyon Numarası	VN	41-43	3
Seyrüsefer Bütünlük (Integrity) Kategorisi Ek A Biti	NIC-A	44	1
Seyrüsefer Doğruluk Kategorisi-Konum	NAC_P	45-48	4
Kaynak Bütünlük (Integrity) Seviyesi	KSS	51-52	2
Yatay Referans Doğrultusu	YRD	54	1
Kaynak Bütünlük (Integrity) Seviyesi Ek Biti	KSS-E	55	1
Rezerve	REZ	56	1

Alt tip kodu bit alanı, 3 bitlik bir alan olmasına rağmen sadece 0 (sıfır) ve 1 değerleri tanımlıdır. Geriye kalan değerler (2 – 7) rezerve durumdadır. Seyir durumu mesajı için bu bit alanı 0 (sıfır) değerini alırken; yer durumu mesajı için 1 değerini alır.

ADS-B Versiyon numarası bit alanı ise uçağın üzerindeki ekipmanın kullandığı ADS-B protokolünün versiyon numarasını ifade eder. **Tablo *2.32***'de ADS-B Versiyon numarası bit alanı için tanımlı değerler ile açıklamaları verilmiştir

Tablo 2.32. *ADS-B Versiyon numarası bit alanı için tanımlı değerler*

ADS-B Versiyon numarası bit alanı	Anlamı
0	ICAO Doc 9871, Appendix A ile uyumludur (Versiyon 0)
1	ICAO Doc 9871, Appendix B ile uyumludur (Versiyon 1)
2	ICAO Doc 9871, Appendix C ile uyumludur (Versiyon 2)
3-7	Rezerve

Seyrüsefer Bütünlük (Integrity) Kategorisi Ek A Biti, ADS-B mesajının tip kodu ile birleştirilerek konum raporu için kullanılan kaynağın seyrüsefer bütünlük (integrity) kategorisinin (NIC) alıcı tarafından bilinmesi için kullanılır. NIC bütünlük çevrim bölgesi, yatay çevrim yarıçapı (R_C) olarak tanımlanır. Mesaj üretildiği anda, eğer tip kodunu belirleyen kaynaktan 2 içinde bir güncelleme gelmemişse tip kodu bilinmeyen R_C

değerini ifade edecek değere ayarlanır. NIC değerleri ve ifade ettikleri R_C değerlerine karşılık gelen tip kodu, NIC-A ve NIC-B bitleri seyir konumu ve yer konumu mesajları için sırasıyla **Tablo *2.33*** ve **Tablo *2.34***'te gösterilmektedir.

Tablo 2.33. *NIC değerleri (Seyir konumu mesajı için) (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, s. C-35)*

NIC Değeri	Tip Kodu	NIC-A	NIC-B	R_C
0	0,18,22	0	0	Bilinmeyen R_C
1	17	0	0	R_C < 37.04 km (20 NM)
2	16	0	0	R_C < 14.816 km (8 NM)
3	16	1	1	R_C < 7.408 km (4 NM)
4	15	0	0	R_C < 3.704 km (2 NM)
5	14	0	0	R_C < 1852 m (1 NM)
6	13	1	1	R_C < 1111.2 m (0.6 NM)
6	13	0	0	R_C < 926 m (0.5 NM)
6	13	0	1	R_C < 555.6 m (0.3 NM)
7	12	0	0	R_C < 370.4 m (0.2 NM)
8	11	0	0	R_C < 185.2 m (0.1 NM)
9	11	1	1	R_C < 75 m
10	10,21	0	0	R_C < 25 m
11	9,20	0	0	R_C < 7.5 m
12-15	**REZERVE**			

Tablo 2.34. *NIC değerleri (Yer konumu mesajı için) (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, s. C-35)*

NIC Değeri	Tip Kodu	NIC-A	NIC-C	R_C
0	0,8	0	0	Bilinmeyen R_C
1-5	Yok	Yok	Yok	Yok
6	8	0	1	R_C < 1111.2 m (0.6 NM)
6	8	1	0	R_C < 555.6 m (0.3 NM)
7	8	1	1	R_C < 370.4 m (0.2 NM)
8	7	0	0	R_C < 185.2 m (0.1 NM)
9	7	1	0	R_C < 75 m
10	6	0	0	R_C < 25 m
11	5	0	0	R_C < 7.5 m
12-15	**REZERVE**			

Seyrüsefer Doğruluk Kategorisi-Konum (NAC_P) verisi, TK 29 ile gönderilen hedef durum ve mevcut durum mesajı içerisinde de gönderilmektedir. NAC_P değerleri ve açıklamaları **Tablo *2.28***'de gösterilmiştir. Bu veri 2 saniye içerisinde güncellenmediği takdirde, Versiyon 2'de, otomatik olarak "Bilinmeyen Doğruluk" değerine ayarlanır.

Kaynak bütünlük (Integrity) seviyesi, uçağın ilettiği konum bilgisinin yine uçağın ilettiği NIC değerinin belirttiği R_C alanının dışına düşme olasılığını ifade eder. Belirtilen olasılık, her bir uçuş saati başına ya da her bir örnek başına gerçekleşme olasılığıdır. Bit alanı için tanımlı değerler ile ifade ettikleri olasılıklar **Tablo *2.35***'te gösterilmiştir

Tablo 2.35. *Kaynak bütünlük (Integrity) seviyesi tanımlı değerleri*

İSS Değeri	R_C Alanı dışında konum belirleme olasılığı
0	Belirsiz
1	$\leq 10^{-3}$
2	$\leq 10^{-5}$
3	$\leq 10^{-7}$

Yatay referans doğrultusu biti uçuş yolu ve baş açısı verilerinin referans doğrultusunu belirtmek için kullanılır. Eğer gerçek kuzey referans ise bu bit 0 (sıfır) değerini alır. Bu bitin 1 değerini alması, referans doğrultusunun manyetik kuzey olduğu anlamına gelir.

Kaynak bütünlük (integrity) seviyesi ek biti, uçağın ilettiği kaynak bütünlük (integrity) seviyesi verisinin saat başına olasılık ya da örnek başına olasılık olduğunu belirtmek için kullanılır. Bu bitin 0 (sıfır) değeri, saat başına olasılığı; 1 değeri ise örnek başına olasılığı ifade eder.

2.4.7.1. Seyir durumu mesajı (Alt tip 0)

Bu kısımda seyir durumu mesajına özel bit alanları açıklanacaktır. **Şekil *2.10***'da gösterilen ve seyir durumu mesajına özel bit alanları **Tablo *2.36***'da tanımlanmıştır.

Tablo 2.36. *Seyir durumu mesajın bit alanları*

Bit Alanı Adı	Kısaltması	ME Alanı Bit Numarası	Bit Sayısı
Seyir Kabiliyeti Sınıfı	SKS	9-24	16
Seyir Operasyonel Modu	SOM	25-40	16
Geometrik Düşey Doğruluk	GDD	49-50	2
Seyrüsefer Bütünlük (Integrity) Kategorisi-Barometre	NIC_{BARO}	53	1

Seyir kabiliyeti sınıfı bit alanı, uçağın operasyonel kabiliyetlerini raporlamak için kullanılır. Bu bit alanındaki veriler için 2 saniye boyunca ilgili kaynaktan hiçbir güncelleme gelmezse veri otomatik olarak "Kabiliyet Yok" ya da "Bilgi mevcut değil" ifadelerine karşılık gelen değere ayarlanır. Seyir kabiliyeti sınıfı bit alanı kendi içerisinde farklı bit alanlarına bölünür. ME alanının 9 ve 10 numaralı bitleri seyir durumu mesajı için 0 (Sıfır) olmalıdır. Bu bit alanları **Tablo *2.37***'de gösterilmiştir.

Tablo 2.37. *Seyir kabiliyeti sınıfı bit alanları*

Bit Alanı Adı	**Kısaltması**	**ME Alanı Bit Numarası**	**Bit Sayısı**	**Tanımlı Değerler Ve Anlamları**
TCAS/ACAS Faal	-	11	1	0: TCAS/ACAS Faal Değil 1: TCAS/ACAS Faal
1090 MHz ES Alıcı	1090ES IN	12	1	0: Uçakta 1090ES Alıcı Yok 1: Uçakta 1090ES Alıcı Var
Rezerve	REZ	13-14	2	00
Hava Referanslı Hız Raporlama Kabiliyeti	ARV	15	1	0: Hava Referanslı Hız Raporlama Kabiliyeti Yok 1: Hava Referanslı Hız Raporlama Kabiliyeti Var
Hedeflenen Durum Raporlama Kabiliyeti	TS	16	1	0: Hedeflenen Durum Raporlama Kabiliyeti Yok 1: Hedeflenen Durum Raporlama Kabiliyeti Var
Hedef (Rota) Değişimi Raporlama Kabiliyeti (Lewis, Phojanamongkolkij, & Wing, 2012)	TC	17-18	2	0: Rota Değişim Raporu Gönderme Kabiliyeti Yok 1: Rota Değişim Raporu Gönderme Kabiliyeti Sadece TC+0 için var. 2: Birden Fazla TC Raporu Gönderme Kabiliyeti Var 3: Rezerve
UAT IN	UAT IN	19	1	0: Uçakta UAT Alıcı Yok 1: Uçakta UAT Alıcı Var
Rezerve	REZ	20-24	5	00000

Seyir operasyonel modu bit alanı, uçakta aktif olan operasyonel modları belirtmek için kullanılır. ME alanının 25 ve 26 numaralı bitleri seyir durumu mesajı için 0 (Sıfır)

olmalıdır. Seyir operasyonel modu bit alanı kendi içerisinde farklı bit alanlarına bölünür. Bu bit alanları **Tablo *2.38***'de gösterilmiştir.

Tablo 2.38. *Seyir operasyonel modu bit alanları*

Bit Alanı Adı	Kısaltması	ME Alanı Bit Numarası	Bit Sayısı	Tanımlı Değerler Ve Anlamları
TCAS/ACAS RA Aktif	TCAS/ACAS RA	27	1	0: TCAS/ACAS Çözüm Önerici Aktif Değil 1: TCAS/ACAS Çözüm Önerici Aktif
IDENT Anahtarı Aktif	IDENT SW	28	1	0: IDENT Anahtarı Aktif Değil 1: IDENT Anahtarı Aktif
Rezerve	REZ	29	1	0
Tek Anten Belirteci	SAF	30	1	0: Sistemin 2 Adet Faal Anteni Var 1: Sistemin 1 Adet Faal Anteni Var
Sistem Tasarım Güvencesi (Assurance)	STG	31-32	2	**Tablo *2.39***'da açıklanmıştır.
Rezerve	REZ	33-40	8	0x00

Tablo 2.39. *Sistem Tasarım Güvencesi (Assurance) Değerleri (Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter, s. C-38)*

STG Değeri	Algılanamayan ve Yanlış Veri Yollanma Sebep Olan Hata Olasılığı
0	$> 10^{-3}$ Saat başına / Bilinmiyor
1	$< 10^{-3}$ Saat başına / Küçük
2	$< 10^{-5}$ Saat başına / Büyük
3	$< 10^{-7}$ Saat başına / Tehlikeli

Geometrik düşey doğruluk değeri, GNSS konum kaynağından sağlanan VFOM (Vertical Figure of Merit) değeri ile ayarlanır. Geometrik düşey doğruluk değerleri **Tablo *2.40***'da gösterilmiştir.

Tablo 2.40. *Geometrik düşey doğruluk değerleri*

GDD Değeri	Düşey Doğruluk Mesafesi
0	> 150 m
1	≤ 150 m
2	≤ 45 m
3	Rezerve

Seyrüsefer bütünlük (Integrity) kategorisi-barometre biti, seyir konumu mesaj paketinde taşınan barometrik irtifa verisinin başka barometrik irtifa kaynakları ile çapraz kontrolünün yapılıp yapılmadığını belirtir. Bu bit, 0 (sıfır) olduğunda çapraz kontrolün yapılmadığını; 1 olduğunda çapraz kontrolün yapıldığını belirtir. Mesaj üretildiği anda uçak üzerindeki veri kaynağından 2 saniye içinde NIC_{BARO} için bir güncelleme gelmediyse bu bit alanı, 0'a (sıfır) ayarlanır.

2.4.7.2. Yer durumu mesajı (Alt tip 1)

Bu kısımda yer durumu mesajına özel bit alanları açıklanacaktır. **Şekil *2.11***'de gösterilen ve seyir durumu mesajına özel bit alanları **Tablo *2.41***'de tanımlanmıştır

Tablo 2.41. *Yer durumu mesajının bit alanları*

Bit Alanı Adı	Kısaltması	ME Alanı Bit Numarası	Bit Sayısı
Yer Kabiliyeti Sınıfı	YKS	9-20	12
Uzunluk/Genişlik Kodu	U/G K	21-24	4
Yer Operasyonel Modu	YOM	25-40	16
Rezerve	REZ	49-50	2
Uçuş Yolu/Baş Açısı	UY/BA	53	1

Yer kabiliyeti sınıfı bit alanı, uçağın operasyonel kabiliyetlerini raporlamak için kullanılır. Bu bit alanındaki veriler için 2 saniye boyunca ilgili kaynaktan hiçbir güncelleme gelmezse veri otomatik olarak "Kabiliyet Yok" ya da "Bilgi mevcut değil" ifadelerine karşılık gelen değere ayarlanır. Yer kabiliyeti sınıfı bit alanı kendi içerisinde farklı bit alanlarına bölünür. ME alanının 9 ve 10 numaralı bitleri yer durumu mesajı için 0 (Sıfır) olmalıdır. Bu bit alanları **Tablo *2.42***'de gösterilmiştir.

Tablo 2.42. *Yer kabiliyeti sınıfı bit alanları*

Bit Alanı Adı	Kısaltması	ME Alanı Bit Numarası	Bit Sayısı	Tanımlı Değerler Ve Anlamları
Rezerve	REZ	11	1	0
1090 MHz ES Alıcı	1090ES IN	12	1	0: Uçakta 1090ES Alıcı Yok 1: Uçakta 1090ES Alıcı Var
Rezerve	REZ	13-14	2	00
B2 Altı	B2-L	15	1	0: Verici 70 W ve Üzeri Güce Sahip (B2 Sınıfı Üzeri) 1: Verici 70 W Altında Güce Sahip
UAT IN	UAT IN	16	1	0: Uçakta UAT Alıcı Yok 1: Uçakta UAT Alıcı Var
Seyrüsefer Doğruluk Kategorisi-Hız	NAC_V	17-19	4	Versiyon 0 için tanımlı NUC_R yatay seviyeleri ile aynıdır. Bkz. **Tablo *2.15***
Seyrüsefer Bütünlük (Integrity) Kategorisi Ek C Biti	NIC-C	20	1	Tanımlı değerleri **Tablo *2.34***'de verilmiştir.

Uzunluk/Genişlik Kodu alanının alabileceği tüm değerler ICAO Doc9871 dökümanında C-30 numaralı tabloda verilmiştir.

Yer operasyonel modu bit alanı, uçakta aktif olan operasyonel modları belirtmek için kullanılır. ME alanının 25 ve 26 numaralı bitleri yer durumu mesajı için 0 (Sıfır) olmalıdır. Yer operasyonel modu bit alanı kendi içerisinde farklı bit alanlarına bölünür. Bu bit alanları **Tablo *2.43***'te gösterilmiştir.

Tablo 2.43. *Yer operasyonel modu bit alanları*

Bit Alanı Adı	Kısaltması	ME Alanı Bit Numarası	Bit Sayısı	Tanımlı Değerler Ve Anlamları
TCAS/ACAS RA Aktif	TCAS/ACAS RA	27	1	0: TCAS/ACAS Çözüm Önerici Aktif Değil 1: TCAS/ACAS Çözüm Önerici Aktif
IDENT Anahtarı Aktif	IDENT SW	28	1	0: IDENT Anahtarı Aktif Değil 1: IDENT Anahtarı Aktif
Rezerve	REZ	29	1	0
Tek Anten Belirteci	SAF	30	1	0: Sistemin 2 Adet Faal Anteni Var 1: Sistemin 1 Adet Faal Anteni Var
Sistem Tasarım Güvencesi (Assurance)	STG	31-32	2	**Tablo *2.39***'da açıklanmıştır.
GPA Anteni Ofseti	GPS ANT-O	33-40	8	ICAO Doc9871 dökümanında C-33 ve C-34 numaralı tablolarda verilmiştir.

Uçuş Yolu/Baş Açısı biti, yer konumu mesajında iletilen baş açısı verisinin doğru şekilde yorumlanmasını sağlar. İletilen veri hareket vektörünün yönü ise bu bit 0 (Sıfır) değerini alırken; iletilen veri uçağın baş açısı değeri ise 1 değerini alır.

3. ADS-B MESAJ SİMÜLATÖRÜ (ADS-B SIM)

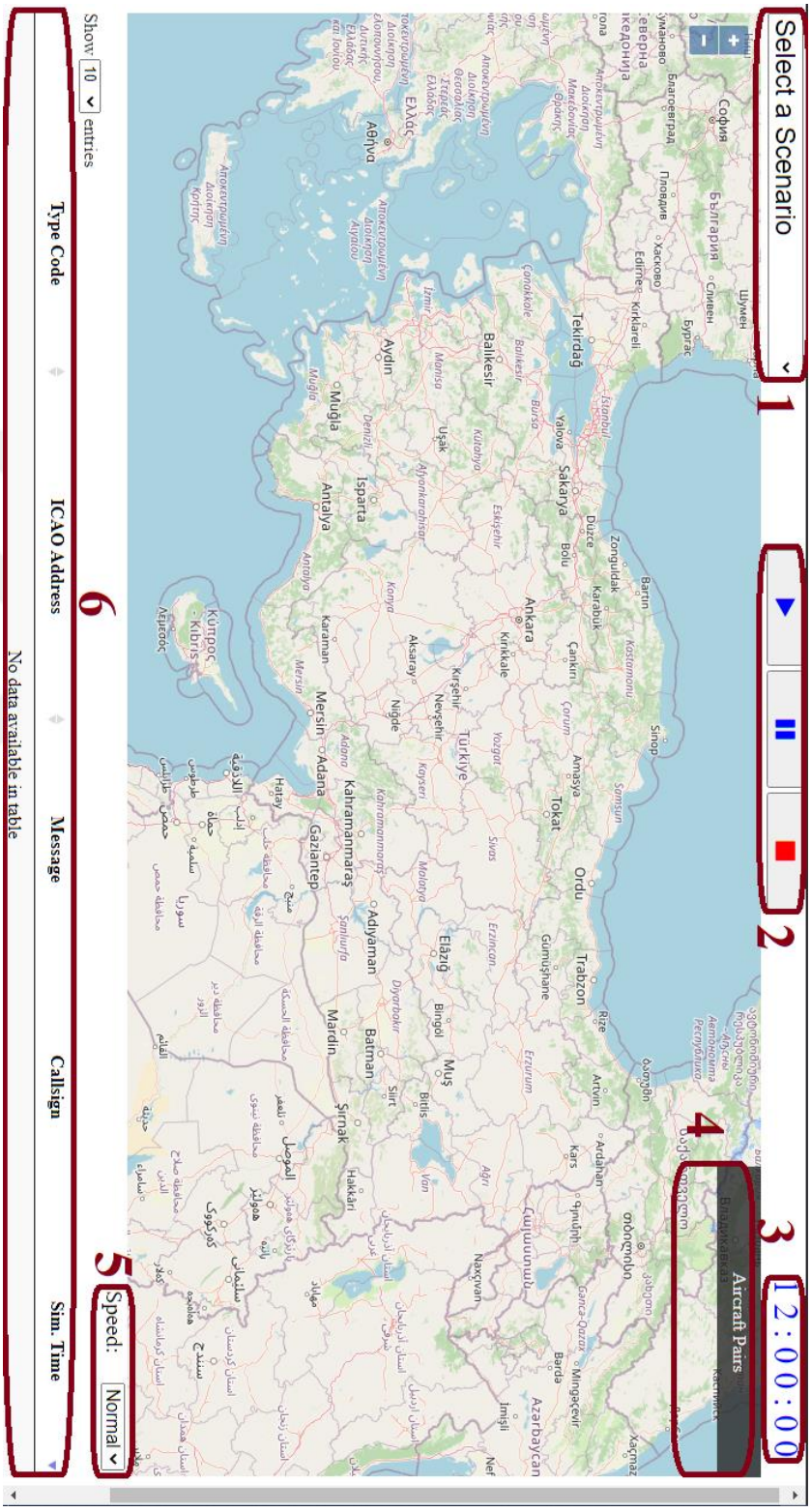
Bu bölümde ADS-B mesajlarının verileri iletme doğruluğunu analiz etme amacıyla geliştirilen ADS-B SIM çalışması tanıtılacaktır. Bu çalışmada farklı birkaç senaryo tanımlanmış ve uçaklar bu senaryoya göre uçurulmuştur. Uçakların anlık durumları hem harita üzerinde gösterilmiş hem de ADS-B mesajları üretilerek çözümleyici (yani ADS-B alıcı simülasyonu) tarafına yollanmıştır. Çözümlenen mesajlardan elde edilen veriler uçakların gerçek verileri ile kıyaslanarak çözümlenen ve gerçek verilerin arasındaki farklar gösterilmiştir. Ayrıca, çözümlenen bu veriler üzerinden hava trafiği açısından risk barındıran durumların tespit edilmesi sağlanmıştır.

Her bir ADS-B mesajının üretilmesi için gerekli olan hesaplama CRC (Cyclic Redundancy Check) hesaplamasıdır. Çünkü parite bitlerinin değerinin hesaplanması için CRC hesaplaması gereklidir ve parite bitleri her mesajda bulunmaktadır. MODE-S Transponder cihazlarına özel hazırlanmış kaynaktan yararlanılarak CRC hesaplamalarına ait kodlar yazılmıştır. (CRC Calculation For Mode-S Transponders, 1994)

Konum mesajları için CPR tekniği ile konum verisinin nasıl kodlandığının bilinmesi gerekmektedir. Konum verisini CPR tekniği ile kodlanarak ADS-B mesajının oluşturmasını sağlayan yazılım geliştirilirken ICAO tarafından hazırlanan bir dökümandan (Aeronautical Telecommunications Volume III , 2007) ve Eurocontrol tarafından hazırlanan konum raporlamayı açıklayan dökümandan (Aircraft Position Report Using DGPS and MODE-S, 1995) yararlanılmıştır. Hesaplamalar EK-2'de açıklanmıştır.

Simülasyonun kullanıcı ara yüzünün genel görünüşü **Görsel *3.1***'de verilmiştir. **Görsel *3.1***'de 1 numara ile işaretlenmiş kısım mevcut senaryoların seçimini sağlar. Senaryonun seçilmesinin ardından **Görsel *3.1***'de 2 numara ile işaretlenmiş kısımda bulunan butonlar ile senaryo yürütülür, duraklatılır ya da simülasyon sıfırlanır. Senaryonun seçilmesinin ardından senaryodaki günün saati **Görsel *3.1***'de 3 numara ile işaretlenmiş alanda gösterilir. **Görsel *3.1***'de 4 numara ile işaretlenmiş alanda ise çakışma algılayıcı yazılım tarafından takip edilen uçaklar gösterilir. Çakışma önleyici yazılım, yatayda 80,45 NM mesafe ile düşeyde ise 2500 ft irtifa ayrımının altına düşen uçak çiftlerini takip eder. **Görsel *3.1***'de 5 numara ile işaretlenmiş alandan ise simülasyonun oynatılma hızı, normal hız ve normalin iki katı hız olacak şekilde ayarlanır. **Görsel *3.1***'de

6 numara ile işaretlenmiş alan, üretilen ADS-B mesajlarını listeleyen tablodur. Aynı zamanda seçilen mesajın çözümlenmiş hali de burada gösterilmektedir.



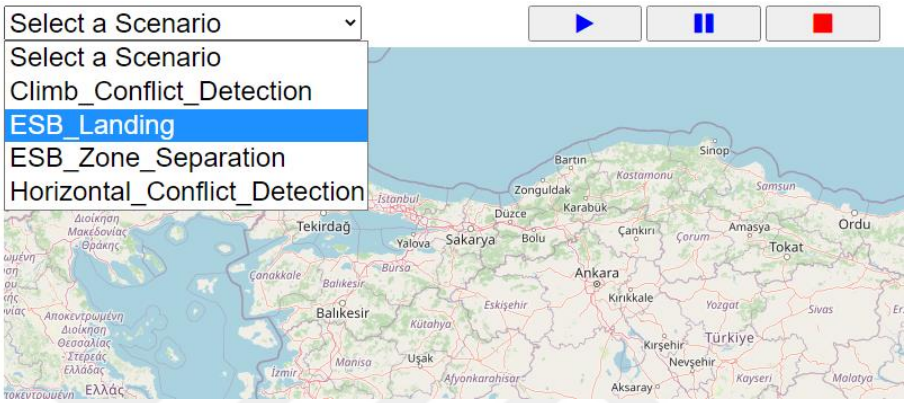
Görsel 3.1. *ADS-B SIM genel görünümü*

3.1. ADS-B SIM'in İşlevleri

Bu kısımda geliştirilen simülasyonun bir senaryoyu yürütmesi ve kullanım özellikleri anlatılacaktır.

3.1.1. Senaryo seçimi ve yürütülmesi

Simülasyonda mevcut olan senaryolar **Görsel *3.1***'de 1 numaralı alanda bulunan açılır listede listelenmektedir. Senaryo seçimi **Görsel *3.2***'de gösterilmiştir.

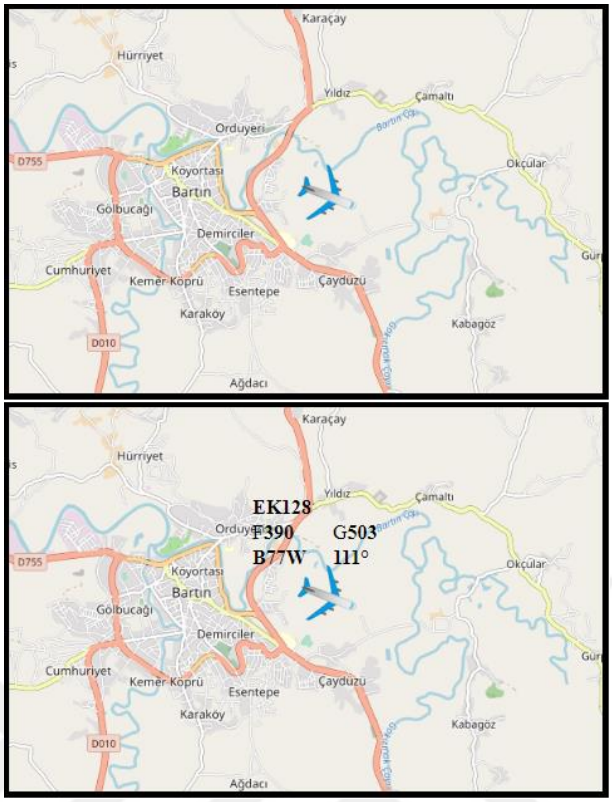


Görsel 3.2. *ADS-B SIM senaryo seçimi*

Senaryolardan birinin seçilmesinin ardından **Görsel *3.1***'de 2 numaralı alanda gösterilen oynatma butonu ile senaryo oynatılmaya başlar. Senaryolardan biri oynatılmaya başladığında senaryo seçimi için kullanılan açılır liste kilitlenir ve **Görsel *3.1***'de 2 numaralı alanda gösterilen simülasyon sıfırlama butonuna basılana kadar kilitli kalır. Senaryonun oynatılma hızı **Görsel *3.1***'de 5 numaralı alanda bulunan açılır liste ile ayarlanır. Listede normal hızda yürütme seçeneği ile birlikte bulunan hızlı oynatma seçeneği, senaryonun iki kat daha hızlı oynatılmasını sağlar.

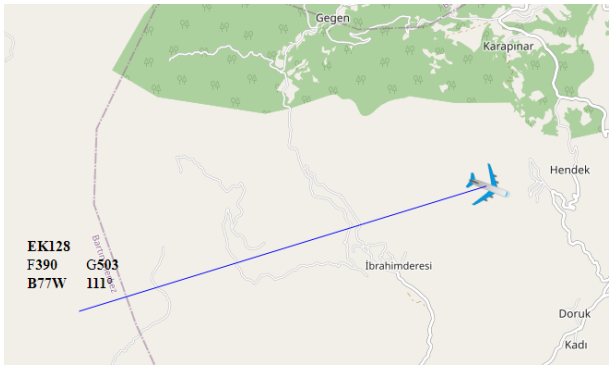
3.1.2. Uçak ikonları ve özellikleri

Simülasyonda seçilen senaryo yürütülürken senaryoda tanımlanmış uçaklar, kendileri için belirlenen rotayı takip eder ve harita üzerinde ikonlar ile gösterilir. Bu ikonlar sağ ve sol tıklama özelliklerinin yanı sıra uçağın baş açısına uygun şekilde dönme kabiliyetine sahiptirler. Bu dönme kullanıcı yetkisinde olmayıp tamamen simülasyon tarafından yönetilir. Uçak ikonuna sol tıklama yapıldığı zaman uçağın anlık bilgileri etiket olarak açıksa kapanır ve kapalıysa açılır. Uçak ikonuna sol tıklamanın etkisi 'te gösterilmektedir.



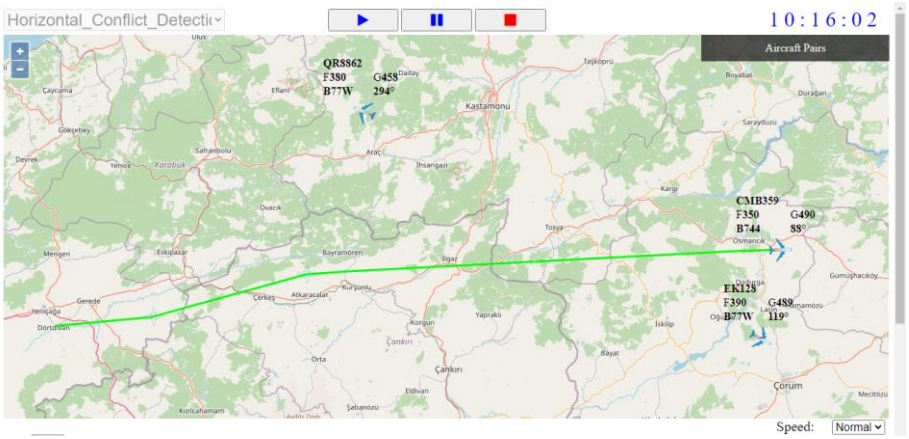
Görsel 3.3. *Harita üzerinde uçakların anlık bilgilerinin gösterimi*

Görsel *3.3*'te görüldüğü gibi uçağın bilgi etiketinde sırasıyla uçağın çağrı adı, seyir irtifası, yer hızı, modeli ve baş açısı bilgileri yer almaktadır. Bu bilgi etiketleri aynı zamanda sürükle-bırak özelliğine sahiptir ve ait olduğu uçak sembolünden uzaklaştığı zaman ait olduğu uçak sembolü ile arasına birleştirici bir çizgi çizilir. Bahsedilen sürükle-bırak özelliği **Görsel *3.4***'te gösterilmiştir.



Görsel 3.4. *Bilgi etiketlerinin sürükle-bırak özelliği*

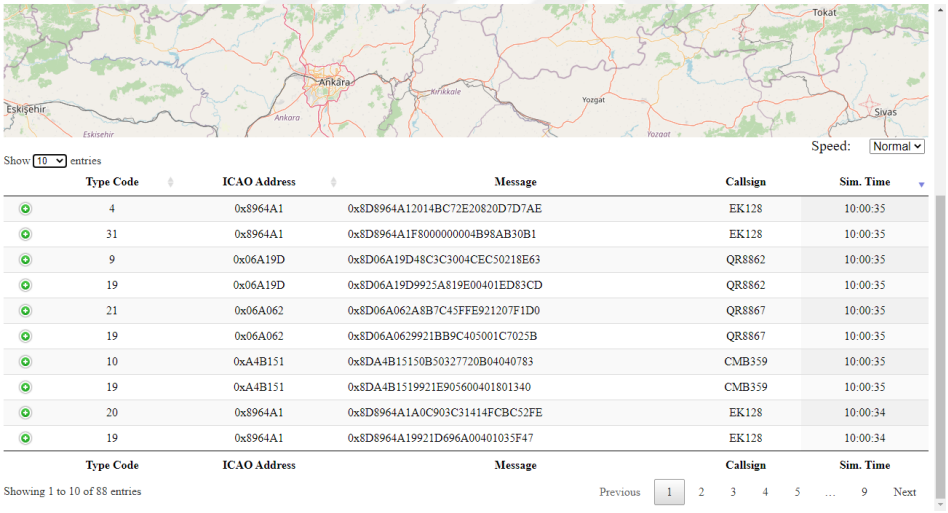
Uçak ikonlarına sağ tıklama yapıldığında, **Görsel *3.5***'te gösterildiği gibi, uçağın çözümlenen konum mesajlarından elde edilen verilerle oluşturulan ve geçmiş olduğu rotayı gösteren yeşil bir çizgi açılır veya kapanır.



Görsel 3.5. *Uçağın geçmiş rotasının gösterimi*

3.1.3. ADS-B mesajları

Uçakların anlık olarak kendine ait konum, hız, durum ve kimlik bilgilerini taşıyan ADS-B mesajları simülasyon tarafından üretilir ve kullanıcı ara yüzünün en altındaki tabloda, **Görsel *3.6***'da gösterildiği gibi, listelenir.



Görsel 3.6. *ADS-B SIM'in ADS-B mesajlarına ait tablosu*

Her bir mesaj kendisine ait olan yeşil butona tıklandığı zaman mesajın çözümlenmiş hali açılır ve detayları bu şekilde incelenebilir. Tip kodu 4 olan uçak kimliği mesajının çözümlenmiş detaylı hali **Görsel *3.7***'de gösterilmektedir.

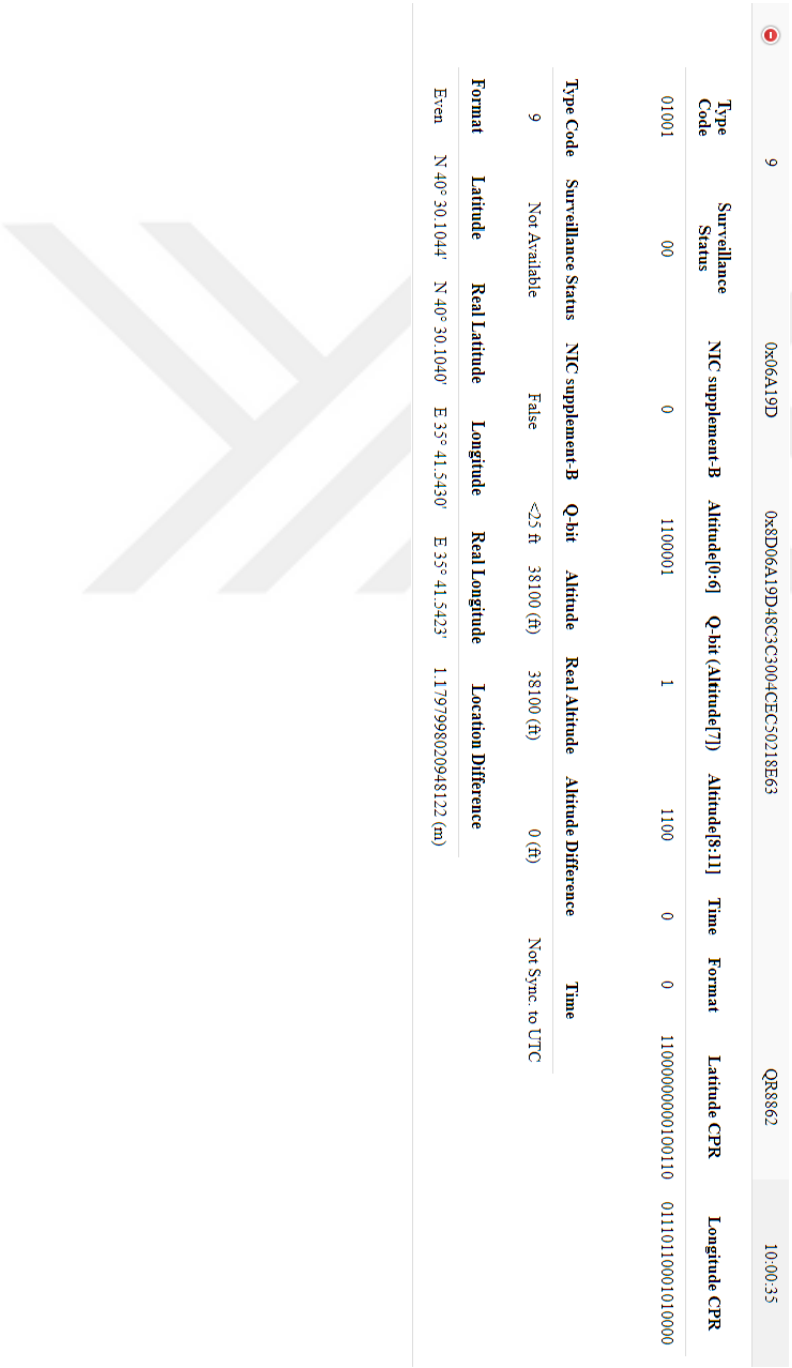
1	4	0x06A062	0x8D06A0622045 2E38DB78202347D8						QR8867		10:00:34

Type Code	EC	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8
00100	000	010001	010010	111000	111000	110110	110111	100000	100000

4	Not Available	Q	R	8	8	6	7	–	–

Görsel 3.7. *ADS-B SIM tarafından çözümlenen uçak kimliği mesajı*

Simülasyonda üretilen ve çözümlenen mesajlardan bir diğeri ise seyir konumu mesajıdır. Bu mesajın önemli bir ayrıntısı ise 2.4.3 numaralı başlıkta da anlatıldığı gibi tip kodunun uçağın seyrüsefer doğruluk derecesini bildirmesidir. Bu sebeple, aynı mesajın farklı tip kodlarıyla üretilip çözümlenebilmesi için simülasyon tarafından her uçak için farklı tip kodunda konum mesajı üretilip çözümlenir. Tip kod 9 için **Görsel *3.8***'de ve tip kod 10 için **Görsel *3.9***'da mesajların çözümlenmiş şekli gösterilmektedir.



	Type Code	Surveillance Status	NIC supplement-B	Altitude[0:6]	Q-bit (Altitude[7])	Altitude[8:11]	Time	Format	Latitude CPR	Longitude CPR
	9		0x06A19D	0x8D06A19D48C3C3004CEC50218E63				QR8862		10:00:35
	01001	00	0	1100001	1	1100	0	0	11000000000100110	01110110001010000

Type Code	Surveillance Status	NIC supplement-B	Q-bit	Altitude	Real Altitude	Altitude Difference	Time
9	Not Available	False	<25 ft	38100 (ft)	38100 (ft)	0 (ft)	Not Sync to UTC

Format	Latitude	Real Latitude	Longitude	Real Longitude	Location Difference
Even	N 40° 30.1044'	N 40° 30.1040'	E 35° 41.5430'	E 35° 41.5423'	1.1797998020948122 (m)

Görsel 3.8. *ADS-B SIM tarafından çözümlenen seyir konumu mesajı (Tip kod 9)*

	10		0xA4B151	0x8DA4B15150B50327540A599F5047				CMB359	10:00:31
	Type Code	Surveillance Status	NIC supplement-B	Altitude[0:6]	Q-bit (Altitude[7])	Altitude[8:11]	Time	Format	Latitude CPR	Longitude CPR
	01010	00	0	1011010	1	0000	0	0	11001011101010	00000101001011001

Type Code	Surveillance Status	NIC supplement-B	Q-bit	Altitude	Real Altitude	Altitude Difference	Time
10	Not Available	False	<25 ft	35000 (ft)	35000 (ft)	0 (ft)	Not Sync. to UTC

Format	Latitude	Real Latitude	Longitude	Real Longitude	Location Difference
Even	N 40° 43.8263'	N 40° 43.8254'	E 32° 9.7009'	E 32° 9.7003'	1.8714507625026544 (m)

Görsel 3.9. *ADS-B SIM tarafından çözümlenen seyir konumu mesajı (Tip kod 10)*

Konum bilgisi ile birlikte uçakların takibi için önemli olan bir diğer bilgi ise uçakların hız bilgisidir. Simülasyonda üretilen ve çözümlenen mesajlardan biri de tip kod 19 ile yayınlanan seyir hızı mesajıdır. Seyir hızı mesajının çözümlenmiş hali **Görsel *3.10***'da gösterilmiştir.

	19	0x06A19D	0x8D06A19D9925A819E00401ED83CD		QR8862	10:00:35

Type Code	Sub-Type	Intent Change Flag	IFR Capability	Velocity Uncertainty (NAC)	E-W Velocity Sign	E-W Velocity	N-S Velocity Sign	N-S Velocity	Vertical Rate Source	Vertical Rate Sign	Vertical Rate	RESV_B	Diff Baro Alt Sign	Diff Baro Alt
10011	001	0	0	100	1	0110101000	0	0011001111	0	0	000000001	00	0	0000001

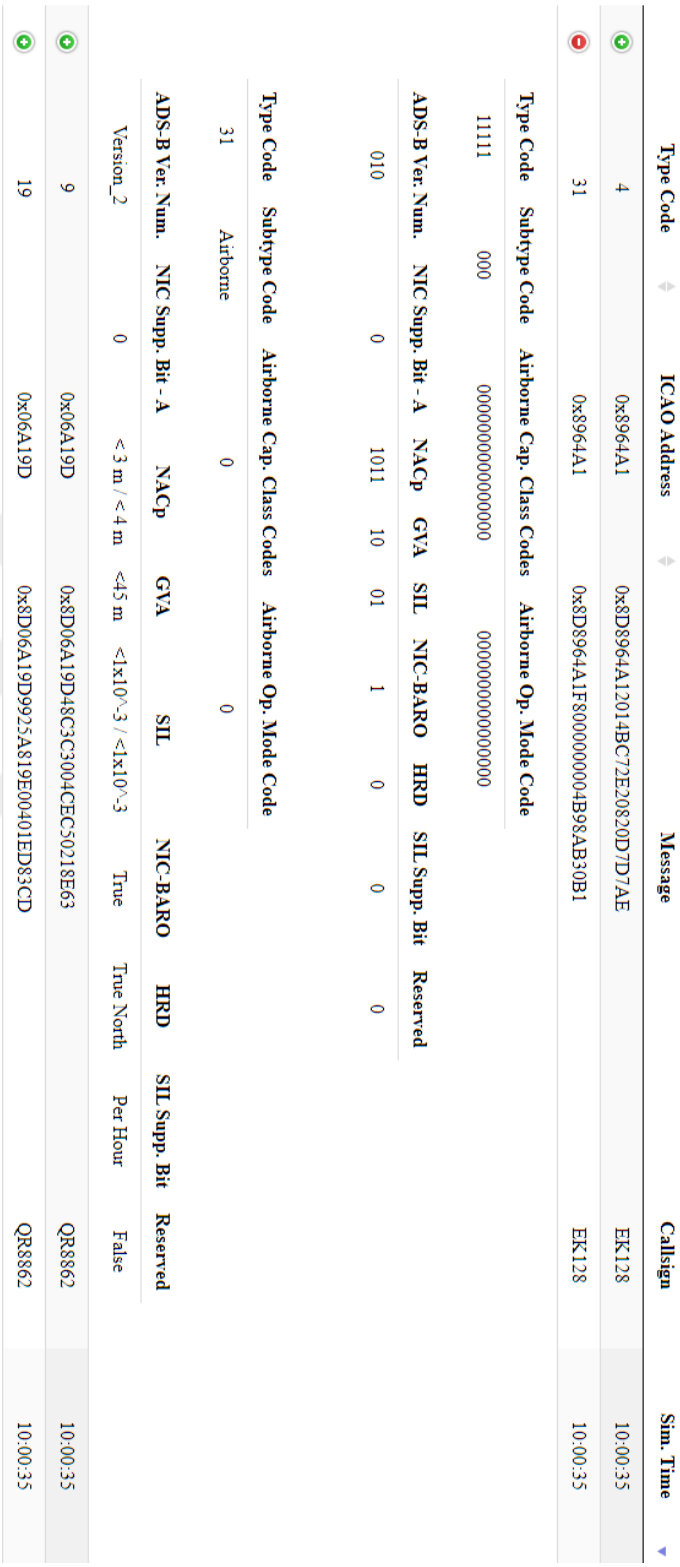
Type Code	Sub-Type	Intent change flag	IFR Capability	Velocity uncertainty (NAC)
19	Sub-Type 1 (Subsonic,GS)	False	False	< 0.3 m/s

East-West Velocity Sign	East-West Velocity	North-South Velocity Sign	North-South Velocity	Calculated Ground Speed	Real Ground Speed	Ground Speed Diff	Calculated Heading	Real Heading	Heading Diff
1	423 (kt)	0	206 (kt)	470 (kt)	471 (kt)	-1 (kt)	296 °	296 °	0 °

Vertical Rate Source	Vertical Rate Sign	Vertical Rate	Real Vertical Rate	Vertical Rate Diff	Reserved-B	Diff Baro Alt Sign	Diff Baro Alt
GNSS altitude change rate	Up	0 (fpm)	0 (fpm)	0 (fpm)	0	0	0 (ft)

Görsel 3.10. *ADS-B SIM tarafından çözümlenen seyir hızı mesajı*

Son olarak ise uçakların yayınladıkları uçağın operasyonel durum mesajının çözümlenmiş hali **Görsel *3.11***'de gösterilmektedir.



Type Code	ICAO Address	Message	Callsign	Sim. Time
4	0x8964A1	0x8D8964A12014BC72E2820D7D7AE	EK128	10:00:35
31	0x8964A1	0x8D8964A1F8000000004B98AB30B1	EK128	10:00:35

Type Code	Subtype Code	Airborne Cap. Class Codes	Airborne Op. Mode Code
11111	000	0000000000000000	0000000000000000

ADS-B Ver. Num.	NIC Supp. Bit - A	NACp	GVA	SIL	NIC-BARO	HRD	SIL Supp. Bit	Reserved
010	0	1011	10	01	1	0	0	0

Type Code	Subtype Code	Airborne Cap. Class Codes	Airborne Op. Mode Code
31	Airborne	0	0

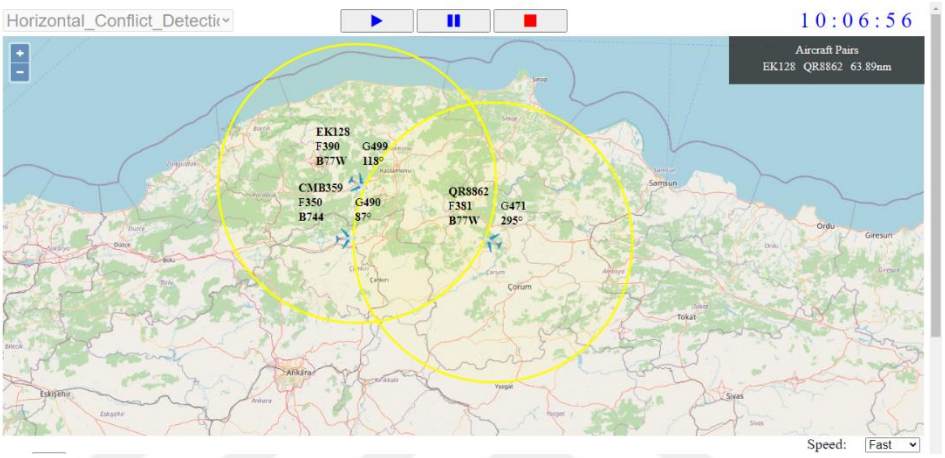
ADS-B Ver. Num.	NIC Supp. Bit - A	NACp	GVA	SIL	NIC-BARO	HRD	SIL Supp. Bit	Reserved
Version_2	0	< 3 m / < 4 m	<45 m	<1x10^-3 / <1x10^-3	True	True North	Per Hour	False

9	0x06A19D	0x8D06A19D48C3C3004CEC50218E63		QR8862	10:00:35
19	0x06A19D	0x8D06A19D9925A819E00401ED83CD		QR8862	10:00:35

Görsel 3.11. *ADS-B SIM tarafından çözümlenen uçağın seyir durumu mesajı*

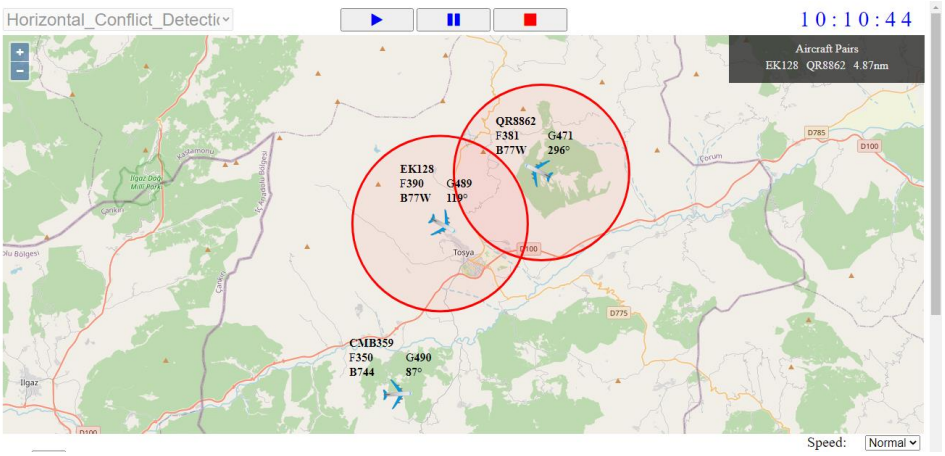
3.1.4. Hava trafiğinin ayırma limitlerinin takibi

Çözümlenen seyir konumu mesajlarından elde edilen veriler ile uçakların birbirlerine göre konumları ve hareketleri sürekli takip edilir ve hava trafiği emniyeti açısından risk barındıran uçak çiftleri belirlenir. Risk takibi belirlenen bu çiftler üzerine yoğunlaştırılarak yatayda 80,45 NM mesafe ile düşeyde ise 2500 ft irtifa ayrımının altına düşen uçak çiftleri için potansiyel çakışma uyarısı **Görsel *3.12***'de gösterildiği gibi verilir.

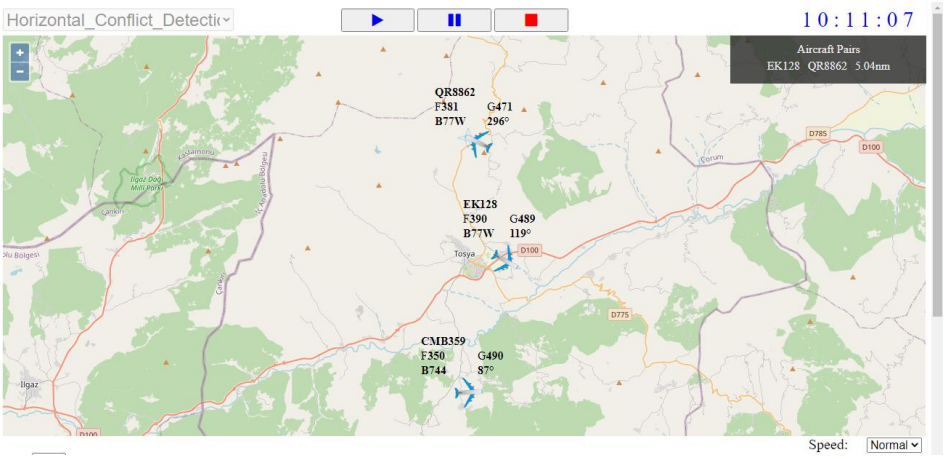


Görsel 3.12. *ADS-B SIM tarafından sağlanan potansiyel çakışma uyarısı*

Normal seyir esnasında oluşan çakışma uyarısı ise RVSM limitlerinin altında irtifa ayırımına sahip olmayan ve yatayda 5 NM mesafenin altında birbirine yaklaşan uçaklar için **Görsel *3.13***'te gösterildiği gibi verilir ve gerekli ayırma limitleri tekrar sağlanana kadar uyarı kalır. Çakışma uyarısının kalkması **Görsel *3.14***'de gösterilmektedir.

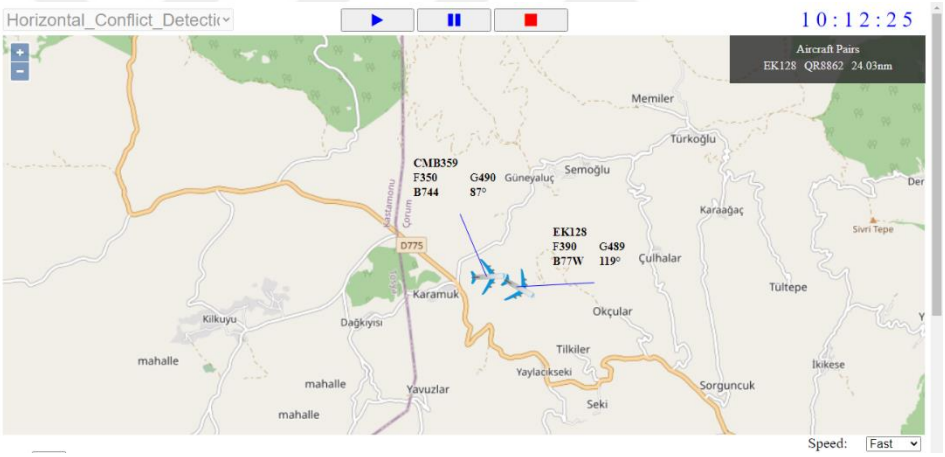


Görsel 3.13. *ADS-B SIM tarafından sağlanan çakışma uyarısı*



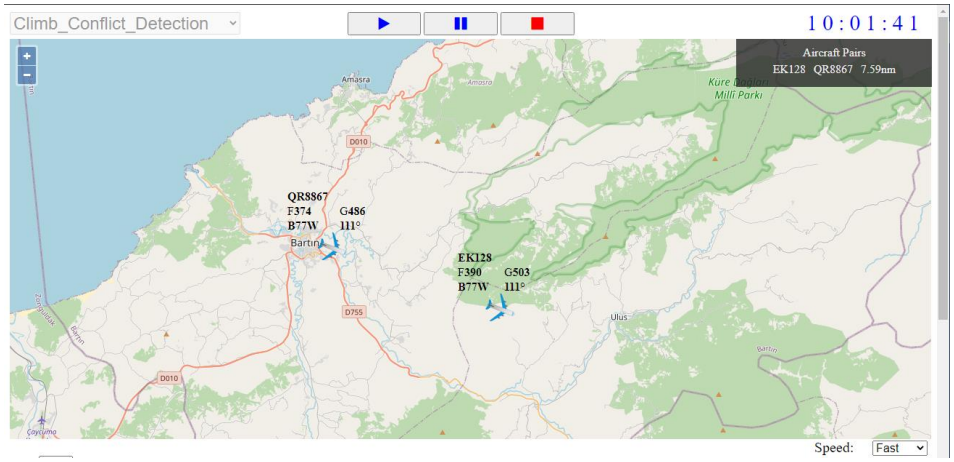
Görsel 3.14. *ADS-B SIM tarafından sağlanan çakışma uyarısının kalkması*

Simülasyonun çakışma kontrolü yaparken irtifa ayrımını hesaba kattığı **Görsel *3.15***'te gösterilmiştir. Burada uçaklar neredeyse üst üste gelmesine rağmen irtifa ayrımının yeterli olduğu görülmektedir.

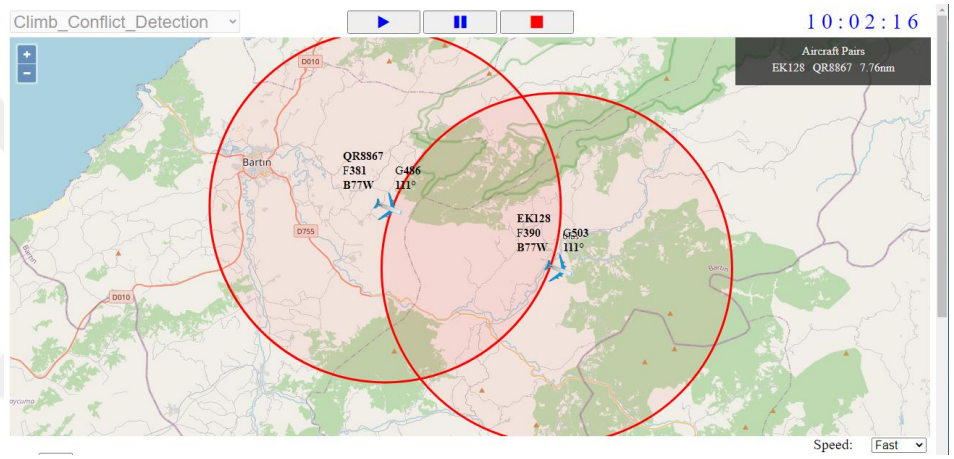


Görsel 3.15. *Yeterli irtifa ayrımının olduğu durum*

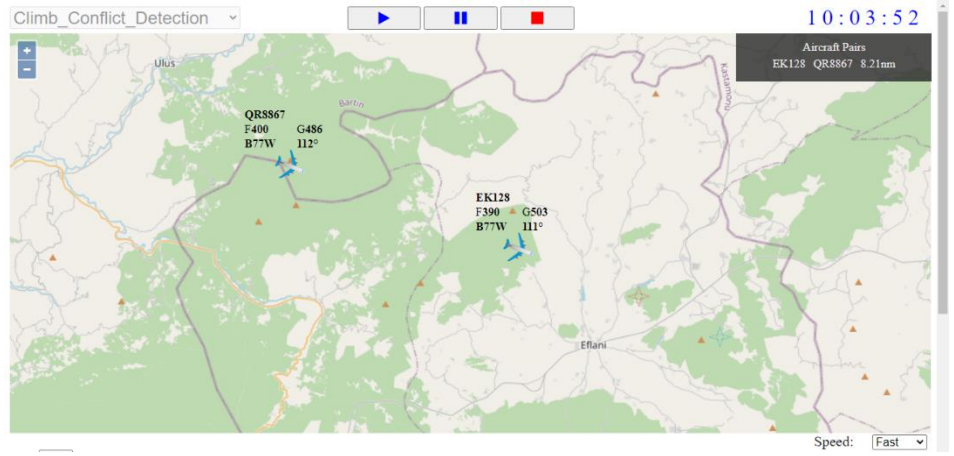
Çakışmanın bir diğer türü ise başka bir uçağa 10 NM mesafe içerisinde tırmanma ya da alçalma hareketinin yapılmasıdır. İrtifa değişiminin emniyetli mesafede yapılmamasından dolayı oluşan uyarının öncesi, uyarı anı ve tekrar emniyetli duruma erişim sırasıyla **Görsel *3.16***, **Görsel *3.17*** ve **Görsel *3.18***'de gösterilmektedir.



Görsel 3.16. *İrtifa değişimi çakışmasının öncesi*



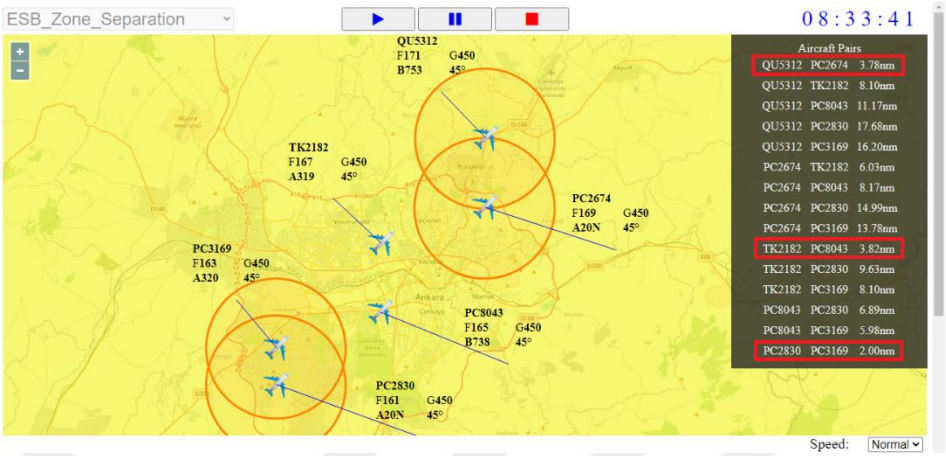
Görsel 3.17. *ADS-B SIM tarafından sağlanan irtifa değişimi çakışması uyarısı*



Görsel 3.18. *İrtifa değişimi çakışması sonrası emniyetli durum*

Yazılımın son kabiliyeti ise standart olarak uygulanan 5 NM ayırma limitinin belirlenen özel bölgelerde farklı bir değer olarak uygulanabilmesidir. **Görsel *3.19***'da Esenboğa Havalimanı'nın çevresi için tanımlanmış 3NM ayırma limitinin uygulanışı

gösterilmiştir. Havalimanının çevresi için 60NM yarıçapında ve 17000ft yükseklikte bir hava sahası belirlenmiştir.



Görsel 3.19. *Esenboğa Havalimanı bölgesinde uygulanan 3NM olarak uygulanan ayırma limiti*

Görsel *3.19*'da gösterilen uçak çiftlerinin arasındaki mesafe listesinde kırmızı dikdörtgenle işaretlenen mesafe bilgileri peş peşe uçan üç uçak çiftine aittir. Burada gösterilen en üstteki uçak çiftinden biri 17000ft irtifanın üzerinde olduğu için harita üzerinde uyarı verilmiştir. İkinci uçak çifti ise tanımlanan bölgenin içerisinde olduğu ve 3NM ayırma limitini sağladığı için uyarı verilmemiştir. Son uçak çifti için ise uyarı verilmiştir çünkü 3NM ayırma limiti korunmamıştır.

4. SONUÇ

Bu çalışmanın sonucunda özgün bir ADS-B mesaj çözümleyicisi geliştirilmiştir. Bu sayede Bölüm 2'de ADS-B tanıtılırken bahsi geçen ADS-B versiyonları gibi gelecekte faaliyete alınacak yeni bir ADS-B sürümüne hazırlık yapılmıştır. Ayrıca yeni bir konum raporlama tekniği, ya da başka bir veri paketinin kodlanarak iletilmesi durumunda veri aktarım kalitesinin önden test edilebilmesini sağlayacak bir simülasyon alt yapısı geliştirilmiştir. Bütün bunlara ek olarak ICAO Doc 7871 dökümanında C.2.3.2.3 başlığı altında belirtilen seyir konumu mesajı için konum doğruluğunun 5,1 metre olduğu da doğrulanmıştır.

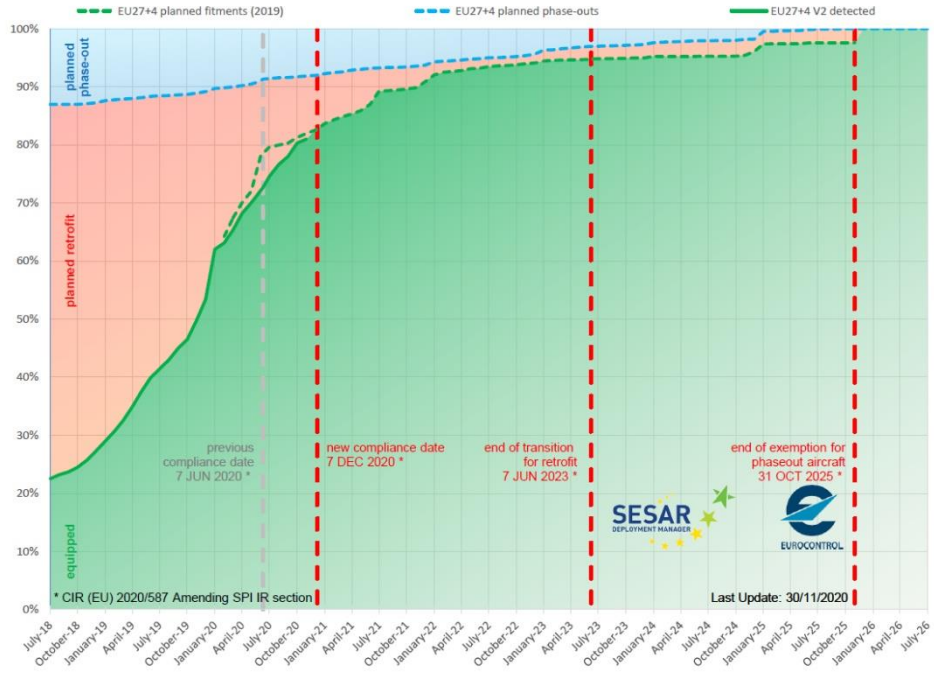
Hava trafiğinin emniyeti açısından ise çözümlenen ADS-B mesajlarından elde edilen verilerin sürekli takip edilmesi ile riskli durumların önceden tespit edilmesi sağlanmıştır. Çakışma risklerinin yerden tüm uçaklar için takip edilmesi sayesinde TCAS sistemi bulunmayan uçaklar için de hava trafik ayırma limitlerinin aşılması durumları tespit edilebilir hale gelmiştir. Mevcut radar sistemlerinde bulunan uyarı sistemlerinden farklı olarak istenen ayırma limitlerinin uygulanmasına imkân tanıyan esnek hava sahalarının tanımlanması kabiliyeti kazanılmıştır.

Bu çalışmanın geliştirilmesi halinde, mevcut hareketlerin taşıdığı potansiyel risklerin tespit edilmesinin ötesinde, hedeflenen durum ve mevcut durum mesajlarından elde edilen verilerden yola çıkarak uçakların hedeflenen irtifa ve hız değişimlerinin bir risk taşıyıp taşımadıklarının da tespiti mümkün olacaktır.

Gelecekte ADS-B mesajları ile yollanmayan bazı verilerin, yollanan veriler kullanılarak elde edilmesinin mümkün olacağı Edmund Keith STONE ve Malcolm KITCHEN tarafından yapılan bir çalışma ile ortaya konmuştur. Çalışmada yüksek irtifalarda hava sıcaklığını daha iyi modellemek için GNSS sisteminden ve pitot-statik sistemlerden sağlanan verilerin aralarındaki farkın değeri ADS-B mesajlarından alınarak kullanmıştır. (Introducing an approach for extracting temperature from aircraft GNSS and pressure altitude reports in ADS-B messages, 2015)

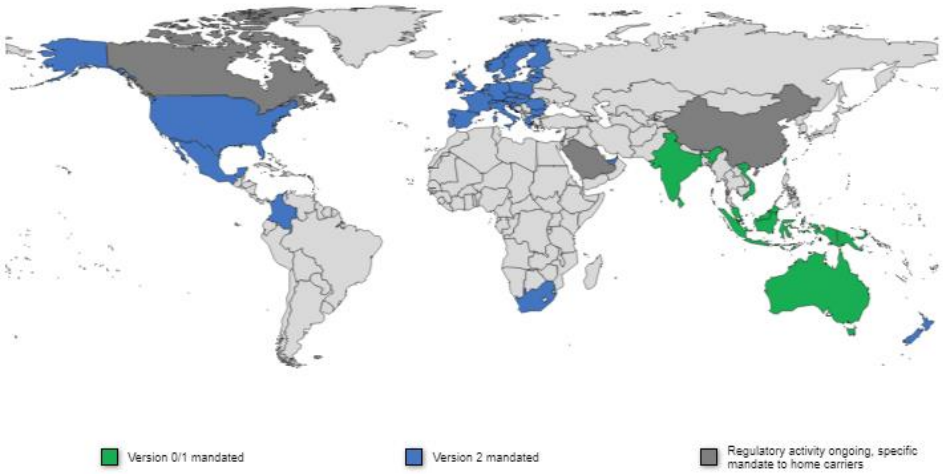
1 Ocak 2020 tarihi itibariyle uçakların uçuş izni alabilmeleri için ADS-B mesajlarını yayınlama kabiliyetine sahip olmaları gerektiği belirtilmiştir. Güncel haberlere göre COVID-19 salgını nedeniyle takvimin ötelendiği görülmektedir (ADS-B'ye Covid-19 ertelemesi, 2020). SESAR Deployment Manager kurumu

tarafından yayınlanan yol haritasına göre ADS-B geçişinde uçakların muafiyeti için son tarih, **Görsel *4.1***'de görüldüğü gibi, 31 Ekim 2025 tarihidir.

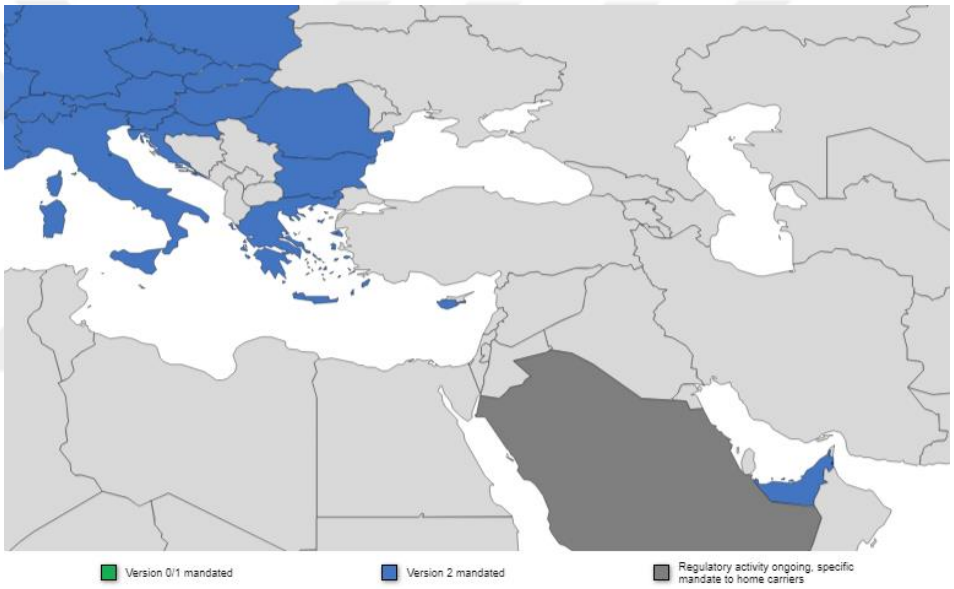


Görsel 4.1. *Eurocontrol tarafından planlanan ADS-B sistemine geçiş planı (SESAR Deployment Manager, 2021)*

Dünyada ve ülkemizde ADS-B sisteminin kapsama alanına dair bir harita bulunmasa da SESAR dağıtım yönetimi kurumu tarafından yayınlanan haritalar üzerinden bir çıkarım yapmak mümkündür. SESAR Deployment Manager kurumunun yayınladığı haritalarda (**Görsel *4.2*** ve **Görsel *4.3***), ADS-B Versiyon 2'yi zorunlu tutan ülkeler mavi renkle; ADS-B Versiyon 0 ya da Versiyon 1'i zorunlu tutan ülkeler yeşil renkle ve çalışmaların devam ettiği ülkeler ise koyu gri renkle gösterilmektedir. ADS-B sistemini zorunlu tutan ülkelerin ADS-B sistemi için alt yapı çalışmalarını tamamlayıp, ADS-B sistemini aktif olarak kullandığını söyleyebiliriz. **Görsel *4.3***'te görüldüğü gibi ülkemiz için herhangi bir ADS-B sistemine geçiş çalışmasının olduğu belirtilmemiştir.



Görsel 4.2. *ADS-B sisteminin zorunlu olduğu ülkeler (SESAR Deployment Manager, 2021)*



Görsel 4.3. *ADS-B sisteminin Türkiye'de zorunlu olmadığını gösteren harita (SESAR Deployment Manager, 2021)*

ADS-B mesajları için kurulan alıcı yer istasyonlarının yeryüzü şekilleri nedeniyle kapsama alanı sorunları yaşaması üzerine geliştirici şirketinin adıyla anılan Aireon sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem uydu tabanlı olup uçakların ADS-B mesajlarını uydular aracılığıyla toplamaktadır. Toplanan bu mesajlar belirli yerlerde kurulan yer istasyonları üzerinden hava trafiğinin takibinin yapıldığı yerlere dağıtılmaktadır. Bu sistem için uydu fırlatma işlemleri 2017 ve 2019 yılları arasında yapılmıştır. Bu sistem sayesinde **Görsel *4.3***'de gösterilen ülkemizin ADS-B sistemi noktasındaki dezavantajının ortadan kalkacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Abdulrazaq, A., Abdulmalik, S., Ashraf, A., Mahmoud, T., & Habeeb, B. (2015). Optimum Receiver for Decoding ADS-B Signals.

Airport Haber. (2020, Mayıs 03). *ADS-B'ye Covid-19 ertelemesi*. airporthaber.com: https://www.airporthaber.com/havacilik-haberleri/adsbye-covid19-ertelemesi.html adresinden alındı

CAE Oxford Aviation Academy (UK) Limited. (2014). ATPL Book 11 Radio Navigation. https://www.studocu.com/en-gb/document/university-of-oxford/radio-navigation/essays/062-radio-navigation/9039022/view.

DUNSTONE, G. (2020). ADS-B Introduction. Avusturalya: https://www.icao.int/APAC/Meetings/2012_SEA_BOB_ADSB_WG8/SP01_AUS%20-%20ADS-B%20Basics.pdf.

FAA. (2011, Ekim 24). Surveillance and Broadcast Services Description Document. *SRT-047*. ADB: http://adsbforgeneralaviation.com/wp-content/uploads/2011/12/SBS-Description-Doc_SRT_47_rev01_20111024.pdf.

HUNT, P. (1994). CRC Calculation For Mode-S Transponders. EUROCONTROL Experimental Centre.

HUNT, P., & CROUZARD, L. (1995). Aircraft Position Report Using DGPS and MODE-S. EUROCONTROL Experimental Centre.

ICAO. (2007). Aeronautical Telecommunications Volume III . *Surveillance and Collision Avoidance Systems.* içinde http://www.spilve.lv/library/law/Annex%2010%20Volume%20III.pdf.

ICAO. (2016). Global Operational Data Link (GOLD) Manual. *Doc 10037 AN/509*. https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/4134.pdf.

ICAO. (2020). Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter. https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/4134.pdf.

Lewis, T., Phojanamongkolkij, N., & Wing, D. (2012). The Effects of Limited Intent Information Availability on Self-Separation in Mixed Operations.

PHILLIPS, D. (2020, 12 27). *Mode A and Mode C: The Straight Scoop on How It Works*. Aeroelectric: http://www.aeroelectric.com/articles/Altitude_Encoding/modec.htm adresinden alındı

SESAR Deployment Manager. (2021, Ocak 1). *Home | ADS-B.* https://ads-b-europe.eu/ adresinden alındı

STONE, E., & KITCHEN, M. (2015). Introducing an approach for extracting temperature from aircraft GNSS and pressure altitude reports in ADS-B messages.

SUN, J. (2020). *The 1090 Megahertz Riddle.* TU Delft OPEN Publishing.

EKLER

EK-1. CPR Konum Çözümleme Teknikleri

Gerekli olan özel fonksiyonlar ve parametreler:

Nz: Ekvator ve güney kutup veya kuzey kutup noktası arasında kalan enlem bölgelerinin sayısıdır. MODE-S için 15 olarak tanımlanmıştır.

floor(x): x sayısından küçük olan en büyük tamsayı k değerini dönen bir fonksiyondur. ($k \leq x$)

mod(x,y): x sayısının sıfırdan farklı y sayısına bölümünden kalan sayıyı veren bir fonksiyondur. Matematiksel denklemi denklem **(0.1)**'de belirtilmiştir

$$\mathrm{mod}(\mathrm{x},\mathrm{y}) = \mathrm{x} - \mathrm{y} \times \mathrm{floor}\left(\frac{x}{y}\right) (y \neq 0) \qquad \textbf{(0.1)}$$

NL(enlem): İlgili enlem değerinde bulunan boylam bölgesi sayısını veren fonksiyondur. Matematiksel denklemi denklem **(0.2)**'de belirtilmiştir.

$$\mathrm{NL}(\mathrm{enlem}) = \mathrm{floor}\left\{\frac{2\pi}{arccos\left(1 - \frac{1 - cos\left(\frac{\pi}{2 \times N_Z}\right)}{cos^2\left(\frac{\pi}{180} \times |enlem|\right)}\right)}\right\} \qquad \textbf{(0.2)}$$

Küresel Kesin Konum Çözümleme Tekniği:

ADS-B mesajları, uçağın bulunduğu enlem ve boylam değerlerini 17 bitlik alanda tutulabilen sayı aralığına oranlayarak taşıdığı için ilk adım olarak mesajdan gelen değerler 17 bitlik alanın tutabildiği değer sayısına denklem **(0.3)**'teki gibi bölünür

$$enl_{cpr} = \frac{N_{cpr,enl}}{2^{17}}$$
$$boy_{cpr} = \frac{N_{cpr,boy}}{2^{17}} \qquad \textbf{(0.3)}$$

CPR tek ve çift formatlar için enlem bölgesinin boyutu denklem **(0.4)**'teki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} \mathrm{dEnl}_{çift} &= \frac{360^{\circ}}{4\,Nz} \quad (CPR\ Çift\ Format) \\ \mathrm{dEnl}_{tek} &= \frac{360^{\circ}}{4\,Nz-1} \quad (CPR\ Tek\ Format) \end{aligned} \qquad \textbf{(0.4)}$$

Enlem değerinin hesaplanması amacıyla tek ve çift format için denklem **(0.3)**'teki gibi hesaplanan enlem değerleri kullanılarak enlem bölgesi indeksi denklem **(0.5)**'teki gibi hesaplanır.

$$\mathrm{j} = \mathrm{floor}\left(59 \times enl_{cpr,çift} - 60 \times enl_{cpr,tek} + \frac{1}{2}\right) \qquad \textbf{(0.5)}$$

Tek ve çift CPR formatı için enlem değerleri **(0.6)**'daki gibi ayrı ayrı hesaplanır.

$$\begin{aligned} \mathrm{Enl}_{çift} &= \mathrm{dEnl}_{çift}\left(mod(j,60) + enl_{cpr,çift}\right) \ (CPR\ Çift\ Format) \\ \mathrm{Enl}_{tek} &= \mathrm{dEnl}_{tek}\left(mod(j,59) + enl_{cpr,tek}\right) \ (CPR\ Tek\ Format) \end{aligned} \qquad \textbf{(0.6)}$$

Güney yarımküredeki konumlar için denklem **(0.6)**'da enlem değerleri [270,360] aralığında olacaktır bu sebeple elde edilen değerler- hem CPR çift hem de CPR tek formatı için- denklem **(0.7)**'deki gibi [-90,90] aralığına taşınır.

$$\begin{aligned} \mathrm{Enl}_{çift} &= \mathrm{Enl}_{çift} - 360^{\circ} \ (\mathrm{Enl}_{çift} \geq 270^{\circ}) \\ \mathrm{Enl}_{tek} &= \mathrm{Enl}_{tek} - 360^{\circ} \ (\mathrm{Enl}_{tek} \geq 270^{\circ}) \end{aligned} \qquad \textbf{(0.7)}$$

Konum hesaplamasına devam edilebilmesi için denklem **(0.7)**'den elde edilen enlem değerleri, aynı sayıda boylam bölgesine sahip olmalıdır. Yani denklem **(0.8)**'deki koşul sağlanmalıdır.

$$NL(\mathrm{Enl}_{çift}) = \mathrm{NL}(\mathrm{Enl}_{tek}) \qquad \textbf{(0.8)}$$

Denklem **(0.8)**'deki koşul sağlandıktan sonra enlem değeri, CPR tek ya da CPR çift formattan hesaplanan enlem değerlerinden en son gelen olarak denklem **(0.9)**'daki gibi belirlenir.

$$\mathrm{Enl} = \begin{cases} Enl_{çift}, & T_{çift} \geq T_{tek} \\ Enl_{tek}, & T_{tek} > T_{çift} \end{cases} \qquad \textbf{(0.9)}$$

Bu noktadan sonra boylam hesaplamasına geçilir ve ilk adım olarak denklem **(0.10)**'daki gibi boylam indeksi hem CPR tek hem CPR çift için denklem **(0.3)**'te hesaplanan boylam değerleri kullanılarak hesaplanır.

$$\mathrm{m} = \mathrm{floor}\left(boy_{cpr,çift} \times [NL(Enl) - 1] - boy_{cpr,tek} \times [NL(Enl)] + \frac{1}{2}\right) \qquad \textbf{(0.10)}$$

Bulunulan enlemdeki boylam sayısı tek veya çift CPR formatı (en yeni veriye sahip olan format) için denklem **(0.11)**'deki gibi hesaplanır.

$$n_{çift} = \text{büyükOlan}(NL(\text{Enl}),1)$$
$$\text{n}_{tek} = \text{büyükOlan}(NL(\text{Enl}) - 1,1) \quad \textbf{(0.11)}$$

Boylam bölgesinin boyutu, denklem **(0.12)**'deki gibi tek veya çift CPR formatı için hesaplanır.

$$dBoy_{çift} = \frac{360^{\circ}}{n_{çift}}$$
$$dBoy_{tek} = \frac{360^{\circ}}{n_{tek}} \quad \textbf{(0.12)}$$

Konumun boylam değeri, tek veya çift CPR formatı için denklem **(0.13)**'teki gibi hesaplanır.

$$\text{Boy}_{çift} = \text{dBoy}_{çift}\left(mod(m, n_{çift}) + boy_{cpr,çift}\right)\ (CPR\ Çift\ Format)$$
$$\text{Boy}_{tek} = \text{dBoy}_{tek}\left(mod(m, n_{tek}) + boy_{cpr,tek}\right)\ (CPR\ Tek\ Format) \quad \textbf{(0.13)}$$

Sonuç boylam değeri denklem **(0.13)**'te [0,360˚] aralığında olacaktır bu sebeple elde edilen değerler- hem CPR çift hem de CPR tek formatı için- denklem **(0.14)**'deki gibi [-180,180] aralığına taşınır.

$$\text{Boy}_{çift} = \text{Boy}_{çift} - 360^{\circ}\ \ (\text{Boy}_{çift} \geq 180^{\circ})$$
$$\text{Boy}_{tek} = \text{Boy}_{tek} - 360^{\circ}\ \ (\text{Boy}_{tek} \geq 180^{\circ}) \quad \textbf{(0.14)}$$

Konumun boylam değeri, CPR tek ya da CPR çift formattan hesaplanan boylam değerlerinden en son gelen olarak denklem **(0.15)**'daki gibi belirlenir.

$$\text{Boy} = \begin{cases} \text{Boy}_{çift}, & T_{çift} \geq T_{tek} \\ \text{Boy}_{tek}, & T_{tek} > T_{çift} \end{cases} \quad \textbf{(0.15)}$$

Yerel Kesin Konum Çözümleme Tekniği:

Bu teknikte tek bir CPR konum verisi (CPR Tek veya CPR Çift format) ve bir referans konum kullanılarak konum hesaplaması yapılır. Doğru sonuç için referans konum ve gerçek konum arasındaki mesafe en fazla 180 NM olmalıdır.

Enlem bölgesinin boyutu denklem **(0.4)**'teki hesaplanır. Bu enlem bölgesinin boyutu kullanılarak denklem **(0.16)**'daki gibi enlem bölgesi indeksi hesaplanır.

$$\mathrm{j} = \mathrm{floor}\left(\frac{Enl_{ref}}{dEnl}\right) + floor\left(\frac{mod\left(Enl_{ref}, dLat\right)}{dLat} - enl_{cpr} + \frac{1}{2}\right) \qquad \textbf{(0.16)}$$

Enlem değeri denklem **(0.17)**'deki gibi hesaplanır.

$$\mathrm{Enl} = \mathrm{dEnl} \times (\mathrm{j} + enl_{cpr}) \qquad \textbf{(0.17)}$$

Boylam bölgesinin boyutu denklem **(0.12)**'deki gibi hesaplanır. Hesaplanan boylam bölgesi boyutu kullanılarak boylam bölgesi indeksi denklem **(0.18)**'deki gibi hesaplanır.

$$\mathrm{m} = \mathrm{floor}\left(\frac{Boy_{ref}}{dBoy}\right) + floor\left(\frac{mod\left(Boy_{ref}, dBoy\right)}{dBoy} - boy_{cpr} + \frac{1}{2}\right) \qquad \textbf{(0.18)}$$

Denklem **(0.18)**'de boylam bölgesi indeksi hesaplandıktan sonra konumun boylam değeri denklem **(0.19)**'daki gibi hesaplanır.

$$\mathrm{Boy} = \mathrm{dBoy} \times (\mathrm{j} + boy_{cpr}) \qquad \textbf{(0.19)}$$

EK-2. CPR Konum Kodlama Tekniği

Gerekli olan özel fonksiyonlar ve parametreler:

Nz: Ekvator ve güney kutup veya kuzey kutup noktası arasında kalan enlem bölgelerinin sayısıdır. MODE-S için 15 olarak tanımlanmıştır.

floor(x): x sayısından küçük olan en büyük tamsayı k değerini dönen bir fonksiyondur. ($k \leq x$)

mod(x,y): x sayısının sıfırdan farklı y sayısına bölümünden kalan sayıyı veren bir fonksiyondur. Matematiksel denklemi denklem **(0.20)**'de belirtilmiştir

$$\mathrm{mod}(\mathrm{x},\mathrm{y}) = \mathrm{x} - \mathrm{y} \times \mathrm{floor}\left(\frac{x}{y}\right) (y \neq 0) \qquad \textbf{(0.20)}$$

NL(enlem): İlgili enlem değerinde bulunan boylam bölgesi sayısını veren fonksiyondur. Matematiksel denklemi denklem **(0.21)**'de belirtilmiştir.

$$\mathrm{NL(enlem)} = \mathrm{floor}\left\{\frac{2\pi}{arccos\left(1 - \frac{1 - cos\left(\frac{\pi}{2 \times N_Z}\right)}{cos^2\left(\frac{\pi}{180} \times |enlem|\right)}\right)}\right\} \qquad \textbf{(0.21)}$$

N_b: Konum kodlama için kullanılacak bit sayısını ifade eder. Bu sayı seyir konumu mesajı için 17 iken yer konumu mesajı için 19'dur.

Enlem bölgesinin Kuzey-Güney doğrultusundaki uzunluğu denklem **(0.22)**'deki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} \mathrm{dEnl}_{çift} &= \frac{360^\circ}{4\,Nz} \quad (CPR\ Çift\ Format) \\ \mathrm{dEnl}_{tek} &= \frac{360^\circ}{4\,Nz - 1} \quad (CPR\ Tek\ Format) \end{aligned} \qquad \textbf{(0.22)}$$

Enlem bölgesindeki Y-koordinatı denklem **(0.23)**'teki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} \mathrm{YZ}_{çift} &= \mathrm{floor}\left(2^{N_b} \times \frac{mod\left(Enl, dEnl_{çift}\right)}{dEnl_{çift}} + \frac{1}{2}\right) (CPR\ Çift\ Format) \\ \mathrm{YZ}_{tek} &= \mathrm{floor}\left(2^{N_b} \times \frac{mod(Enl, dEnl_{tek})}{dEnl_{tek}} + \frac{1}{2}\right) (CPR\ Tek\ Format) \end{aligned} \qquad \textbf{(0.23)}$$

Renl değeri alıcının mesajı çözümlediğinde elde edeceği enlem değerini ifade eder ve denklem **(0.24)**'teki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} \mathrm{Renl}_{çift} &= \mathrm{dEnl}_{çift} \times \left(\frac{YZ_{çift}}{2^{N_b}} + floor\left(\frac{Enl}{\mathrm{dEnl}_{çift}} \right) \right) (CPR\ Çift\ Format) \\ \mathrm{Renl}_{tek} &= \mathrm{dEnl}_{tek} \times \left(\frac{YZ_{tek}}{2^{N_b}} + floor\left(\frac{Enl}{\mathrm{dEnl}_{tek}} \right) \right) (CPR\ Tek\ Format) \end{aligned} \quad \textbf{(0.24)}$$

Bulunulan enlemdeki boylam sayısı tek veya çift CPR formatı için denklem **(0.25)**'deki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} n_{çift} &= \mathrm{büyükOlan}(NL(\mathrm{Enl}),1) \\ \mathrm{n}_{tek} &= \mathrm{büyükOlan}(NL(\mathrm{Enl}) - 1,1) \end{aligned} \quad \textbf{(0.25)}$$

Boylam bölgesinin Doğu-Batı doğrultusundaki uzunluğu denklem **(0.26)**'teki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} dBoy_{çift} &= \frac{360^{\circ}}{n_{çift}} \\ dBoy_{tek} &= \frac{360^{\circ}}{n_{tek}} \end{aligned} \quad \textbf{(0.26)}$$

Enlem bölgesindeki X-koordinatı denklem **(0.27)**'teki gibi hesaplanır

$$\begin{aligned} \mathrm{XZ}_{çift} &= \mathrm{floor}\left(2^{N_b} \times \frac{mod\left(Boy, dBoy_{çift}\right)}{dBoy_{çift}} + \frac{1}{2} \right) (CPR\ Çift\ Format) \\ \mathrm{XZ}_{tek} &= \mathrm{floor}\left(2^{N_b} \times \frac{mod(Boy, dBoy_{tek})}{dBoy_{tek}} + \frac{1}{2} \right) (CPR\ Tek\ Format) \end{aligned} \quad \textbf{(0.27)}$$

Hem seyir konumu mesajında hem de yer konumu mesajında enlem ve boylam verileri için ayrı ayrı 17 bitlik alan ayrıldığından dolayı denklem **(0.28)**'deki gibi XZ ve YZ koordinat değerleri 2^{17} üst limitine sınırlanır

$$\begin{aligned} \mathrm{YZ} &= \mathrm{mod}(YZ, 2^{17}) \\ \mathrm{XZ} &= \mathrm{mod}(XZ, 2^{17}) \end{aligned} \quad \textbf{(0.28)}$$

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0002-8215-9482

Adı Soyadı : Mehmet Onur BOSTANCI

Yabancı Dil : İngilizce

Doğum Yeri ve Yılı : Gürün-SİVAS / 1993

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2018-2021, ESTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Havacılık Elektrik ve Elektroniği
- 2011-2016, ESOGÜ, Mühendislik-Mimarlık Fak., Elektrik-Elektronik Mühendisliği
- 2020, F-16 Sistem Mühendisi, TUSAŞ A.Ş., F-16 Mühendislik Müdürlüğü
- 2018-2020, Yazılım Mühendisi, HAVELSAN A.Ş., Yazılım ve Modelleme Grubu
- 2017-2018, Aviyonik Yazılım Test Mühendisi, HAVELSAN A.Ş.
- 2017, Aviyonik Yazılım Test Mühendisi, Enginsoft Turkey LTD. ŞTİ, Aselsan MGEO Akyurt Tesisleri

.