



**SİVİL HAVACILIKTA YENİ NESİL RADAR
TEKNOLOJİLERİNİN İNCELENMESİ**

Tulgay CANBOLAT

**Yüksek Lisans Tezi
Anabilim Dalı: Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Yavuz EROL
TEMMUZ-2019**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİVİL HAVACILIKTA YENİ NESİL RADAR
TEKNOLOJİLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tulgay CANBOLAT

(101113105)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 25 Haziran 2019
Tezin Savunulduğu Tarih: 30 Temmuz 2019

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Yavuz EROL (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Ahmet BARAN (EBYÜ)
Prof. Dr. Mustafa TÜRK (F.Ü)



TEMMUZ-2019

ÖNSÖZ

Bu tezde, sivil havacılıkta kullanılan ve özellikle yurt dışından büyük bütçelerle satın alınan ve kullanılan RADAR sistemleri incelenmiştir. Yapılan çalışmanın konuyla ilgilenenlere ve bu alanda çalışma yapmak isteyenlere bir yön verebileceğini düşünüyorum ve diliyorum.

Bu çalışma esnasında bana her türlü sabır, destek ve bilgisiyle katkıda bulunan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Yavuz EROL'a, çalışmalarım sırasında yardımını esirgemeyen DHMİ Genel Müdürlüğü, Elektronik Dairesi Başkanlığı, Radar Sistemleri Şubesindeki meslektaşlarım Gökhan UZUN, Şenol TIĞLI ve Fatih AKSOY'a, Arş. Gör. Kubilay AYTURAN'a, Öğr. Gör. Dr. Suat TORAMAN'a, ve Dr. Öğr. Üyesi Ömer DURSUN'a ayrıca büyük bir sabırla her zaman yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen eşime ve çocuklarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Tulgay CANBOLAT
ELAZIĞ, 2019

İçindekiler

ÖNSÖZ	iii
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	x
SEMBOLLER LİSTESİ	xi
KISALTMALAR LİSTESİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. CNS SİSTEMLERİ	5
2.1. Haberleşme Sistemleri	5
2.2. Seyrüsefer Sistemleri	7
2.2.1. NDB (Yönlendirilmemiş Radyo İşaretçisi)	8
2.2.2. VOR (VHF Çok Yönlü Radyo Seyrüsefer İstikamet Cihazı)	10
2.2.3. DME (Mesafe Ölçme Cihazı)	11
2.2.4. ILS (Aletli İniş Sistemi)	12
2.2.4.1. Localizer	14
2.2.4.2. Glide Path (Slope)	15
2.2.4.3. Marker	16
2.3. Gözetim Sistemleri	16
2.3.1. Radarlar	17
2.3.2. MLAT	20
2.3.3. ADS-B ve ADS-C (Otomatik Bağımlı Gözetim)	21
2.3.4. AMAN ve DMAN	25
3. BİRİNCİL GÖZETİM RADARI (PSR)	26
3.1. PSR'in Çalışma Prensipleri	26
3.2. PSR Karakteristikleri	29
3.3. En-Route İçin PSR Kullanımı	37
3.4. PSR Bileşenleri	37
3.4.1. Anten Elemanları ve Karakteristikleri	37
3.4.2. Verici Elemanları ve Karakteristikleri	41
3.4.3. Alıcı Elemanları ve Karakteristikleri	43

3.4.4. Veri İletimi	45
3.4.5.ASTERIX	45
3.4.6. Sinyal İşleme	46
4. İKİNCİL GÖZETİM RADARI (SSR)	48
4.1. SSR'ın Çalışma Prensibi.....	49
4.2. SSR Bileşenleri	53
4.2.1. SSR Anten Bileşenleri.....	53
4.2.2.SSR Verici Bileşenleri	57
4.2.3. SSR Alıcı Bileşenleri	62
4.3. Transponder	64
4.4. Mode-S.....	66
4.4.1. Mode-S Çalışma Prensibi.....	68
4.4.2. ICAO Mode-S Adresi.....	69
4.4.3. ModeS Uplink-Downlink Sinyal Formatları.....	70
4.4.4. Mode-S Ara Mod Sinyal Formatları	71
4.4.5. Mode-S Gözetim Döngüsü.....	72
4.4.6. Mode-S All-Call Sorgulama	74
4.4.7. Roll-Call Program	74
4.4.8. Sorgulayıcı Kimlik (II) Kodları.....	76
4.4.9. Kümeleme (Cluster) Prensibi	77
4.4.10. Mode-S Gelişmiş Gözetim	78
5. YÜZEY HAREKET RADARI (SMR)	80
5.1. Alıcı-Verici Donanımı ve Fonksiyonu	81
5.2. Anten Donanımı ve Fonksiyonu	86
6. KUŞ TESPİT RADAR SİSTEMİ	88
6.1. Sistemin Genel Tanıtımı	88
6.2. Sistem Parametreleri	90
6.3. Sistem Bileşenleri	92
7.SONUÇ VE ÖNERİLER	98
KAYNAKLAR.....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	102

ÖZET

Radar sistemleri hem askeri alanda hem de sivil alanda çok önemli bir yere sahiptir. Hiçbir ülke, askeri ve sivil havacılık alanında radar kullanmadan güvenlik ve emniyetini sağlayamaz. Bu sebeple radar sistemleri sürekli olarak gelişmekte ve önemli aşamalar kaydetmektedir.

Dünyanın en önemli havalimanlarından biri olarak gösterilen ve 2019 yılı içerisinde hizmete giren İstanbul Havalimanında aylık 35.000'in üzerinde uçuş yapılmaktadır. Uçuşlarda hava trafik kontrolörlerinin en büyük yardımcılarında birisi radar sistemleridir. En güvenli ulaşım şeklinin hava ulaşımı olduğu kabul edilirse bu sistemlerin önemi bir kat daha artmaktadır. Bu çalışmada, Ülkemizde kullanılan yeni nesil radar sistemleri incelenmiştir. Sistemlerin çalışma biçimleri, elde edilen sinyallerin işlenmesi ve hava trafik birimine iletilmesi ile ilgili yöntemler açıklanmıştır. Çalışmada özellikle Avrupa sivil havacılığı ile ilgili eğitimleri veren Eurocontrol Teşkilatına ait notlar, Türkiye'de bu konuda otorite olan DHMİ Genel Müdürlüğü'nün verdiği eğitim materyalleri kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Radar, Sivil Havacılık, Birincil Gözetim Radarı, İkincil Gözetim Radarı, Yüzey Hareket Radarı, Kuş Radarı

SUMMARY

INVESTIGATION OF NEW GENERATION RADAR TECHNOLOGIES IN CIVIL AVIATION

Radar systems have a very important place in both military and civilian areas. No country can provide security and safety in the military and civil aviation field without using radar. For this reason, radar systems are constantly developing and making significant progress.

Istanbul Airport, which has been designated as one of the most important airports in the world and opened in 2019, has more than 35,000 flights per month. One of the biggest assistants of air traffic controllers in flight is radar systems. If air transportation is accepted as the safest mode of transportation, the importance of these systems increases one more time. In this study, new generation radar systems used in our country are examined. Methods of operation of the systems, processing of the obtained signals and transmitting to the air traffic unit are explained. Eurocontrol notes that the Organization of trainings related to civil aviation in Europe, especially in the study, training materials given by the General Directorate of State Airports Authority, which has been used in this field in Turkey.

Key Words: Radar, Civil Aviation, Primary Surveillance Radar, Secondary Surveillance Radar, Surface Motion Radar, Bird Radar

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. CNS Sistem Yapısı.....	2
Şekil 1.2. Uçuşun Aşamaları.	3
Şekil 2.1. NDB Anteni.....	9
Şekil 2.2. VOR İstasyonu	11
Şekil 2.3. DME Anteni	11
Şekil 2.4. ILS Sistemini Oluşturan Bileşenler.....	13
Şekil 2.5. Localizer Antenleri.....	14
Şekil 2.6. Glade Path Antenleri ve Cihaz Barınağı.	15
Şekil 2.7. Enerjinin İletken Yüzeyden Yansıyarak Kaynağa Geri Dönmesi.....	17
Şekil 2.8. Enerjinin İletken Yüzeyden Yansıyarak Belli Bir Zamanda Kaynağa Geri Dönmesi.....	18
Şekil 2.9. Elektromanyetik Enerjinin Düz Bir Hat Boyunca İlerlemesi.....	18
Şekil 2.10. Esenboğa MLAT Anten İstasyonu.	21
Şekil 2.11. ADS Sisteminin RADAR Sistemi ile Karşılaştırılması	22
Şekil 2.12. ADS sisteminin Avrupa’da Kullanımı	24
Şekil 3.1. PSR’ın Blok Diyagramı.....	26
Şekil 3.2. PSR’ın Sinyal Akış Şeması.	27
Şekil 3.3. PSR’ın Çalışma Bölgesi.	28
Şekil 3.4. PSR’ın Kör Bölgesi.....	28
Şekil 3.5. Döner Bağlantı (Rotary Joint).....	38
Şekil 3.6. Dalga Kılavuzları	39
Şekil 3.7. Encoder.....	40
Şekil 4.1. SSR Genel Blok Diyagramı	48
Şekil 4.2. SSR Sisteminin Çalışma Şeması	49
Şekil 4.3. Mode A/C Sorgulama (1030 MHz).....	50
Şekil 4.4. Yan Lob Sorgulaması İçin P2 Darbesi	51
Şekil 4.5. Mode-A/C Transponder Cevabı (1090 MHz)	51
Şekil 4.6. SSR Anten Dizisi ve Kulesi	53
Şekil 4.7.SUM Anten Dizisinin Işıma Diyagramı.....	54
Şekil 4.8. DIFFERENCE Anten Dizisinin Işıma Diyagramı	55
Şekil 4.9. SUM ve DIF Antenleri Işıma Diyagramlarının Hedefe Göre Durumları	55
Şekil 4.10. Tipik Bir Nişangah Açısı Sapması Eğrisi	57
Şekil 4.11. SSR Sorgulama Darbe Çıkışları	58
Şekil 4.12. Bir SSR Sorgulayıcı Blok Şeması.....	61
Şekil 4.13. Gelişmiş Bir Transponder	65
Şekil 4.14. Mode-S Sorgulama (1030 MHz).....	67
Şekil 4.15. 0010...001 Bit Dizisine Karşılık Gelen Cevap Veri Bloğu	67
Şekil 4.16. Mode-S Çalışma Prensibi.	68

Şekil 4.17. Mode-S Uplink Sinyal Formatları.....	70
Şekil 4.18. Mode-S Downlink Formatları	71
Şekil 4.19. Mode-S Ara Mod Sinyal Formatı.....	72
Şekil 4.20. Mode-S Gözetim Döngüsü	73
Şekil 4.21. Roll Call Örneği (Aynı Hüzme İçinde Bulunan 4 Uçak)	75
Şekil 4.22. Kümeleme Prensibi	78
Şekil 5.1. Esenboğa SMR Anten ve Kulesi	80
Şekil 5.2. SMR sisteminin Kanal Blok Şeması	82
Şekil 5.3. f1 ve f2 Frekanslarının Antene İletilmesi.....	83
Şekil 5.4. Çift Frekans Çeşitliliği	84
Şekil 5.5. Farklı Frekansa Göre Antenin Işıma Hüzmesinin Değişimi	84
Şekil 5.6. SMR Hizmet Ekranı Görüntüsü	85
Şekil 5.7. Alıcı İçerisinde Bulunan Katlar.....	86
Şekil 5.8. SMR Anten Sistemini Oluşturan Elemanlar	87
Şekil 5.9. SMR Anten Kontrol Sistemi	87
Şekil 6.1. Atatürk Havalimanı Kuş Tespit Radar Sistemi	88
Şekil 6.2. Kuş Tespit Radar Sisteminin Genel Yapısı	89
Şekil 6.3. Kuş Uçak Çarpışmaları Sonucundaki Zararlar.....	89
Şekil 6.4. Kuşların Sıvı Kısımlarının Yansıtma Özelliği	90
Şekil 6.5. KUŞRAD Ana Sistem Konfigürasyonu	92
Şekil 6.6. KUŞRAD Sistemi Algılayıcı Yerleşkesi Üniteleri	93
Şekil 6.7. KUŞRAD Sistemi Operasyon Merkezi.....	94
Şekil 6.8. Yatay Radar Genel Yapısı	95
Şekil 6.9. KUŞRAD Dikey Radar Alıcı/Verici Anten	96

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 3.1. Standart Radar Frekansları	36
Tablo 4.1. Modların Durumunun Uluslararası Genel Standartları	50
Tablo 4.2. Avusturya'ya Ait Mode-S Adresi.....	69
Tablo 4.3. P1-P3-P4 Kombinasyonlarına, Mode-A/C ve Mode-S Transponderlerin Cevapları.....	72
Tablo 4.4. MODE-S Sorgulama Tipleri.....	75
Tablo 5.1. SMR'da Kullanılan Sorgulama Darbelerinin Uzunlukları ve PRF Değerleri. ...	86
Tablo 6.1. S Bant Yatay Radar Sisteminin Teknik Özellikleri.....	94
Tablo 6.2. KUŞRAD sistemi teknik özellikleri	96

SEMBOLLER LİSTESİ

P_t	: Antenden yayılan sinyal gücü (W)
P_r	: Alınan eko gücü (W)
P_d	: Antenden R uzaklığındaki enerji yoğunluğu (W/m ²)
G	: Anten kazancı
G_t	: Vericinin anten kazancı
A_e	: Antenin etkin açıklığı (m ²)
A	: Antenin fiziksel alanı
ρ_a	: Antenin fiziksel alanı
σ	: Radar kesit alanı (m ²)
S_{min}	: Tespit edilebilir minimum sinyal gücü (W)
P_r	: Radarda alınan sinyal gücü (W)
R_{max}	: Radarın bir hedefi tespit edebileceği maksimum uzaklık (m)
k	: Boltzman sabiti
T_0	: Kelvin sıcaklığı
B	: Alıcının band genişliği
F_n	: Alıcının gürültü karakteristiği
L	: Alıcı kayıpları
R	: Radar menzili (m)

KISALTMALAR LİSTESİ

ACAS	: Airborne Collision Avoidance System (Havada Çarpışmayı Önleyici Sistem)
ACP	: Azimuth Change Pulse (Açısal Değişim Darbeleri)
ADS	: Automatic Dependent Surveillance (Otomatik Bağımlı Gözetim)
ADS-B	: Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (Otomatik Bağımlı Gözetim)
ADS-C	: Automatic Dependent Surveillance-Contract (Otomatik Bağımlı Gözetim-Sözleşme)
AFTN	: Aeronautical Fixed Telecommunication Network (Havacılık Sabit Haberleşme Şebekesi)
AGC	: Automatic Gain Control (Otomatik Kazanç Kontrol)
AMAN	: Arrival Manager (İniş/Geliş Yöneticisi)
APP	: Approach Control (Yaklaşma Kontrol)
ARP	: Airport Reference Point (Havaalanı Referans Noktası)
ARTAS	: ATC Radar Tracker and Server (ATC Radar Takipçi ve Sunucusu)
ASC	: Adaptive Sensitivity Control (Uyarlanabilir Hassasiyet Kontrolü)
A-SMGCS	: Advanced-Surface Movement Guidance and Control System (Gelişmiş Yüzey Hareketleri Rehberlik ve Kontrol Sistemi)
ASR	: Aerodrome Surveillance Radar (Havaalanı Gözetim Radarı)
ASTERIX	: All Purpose Structured Eurocontrol Surveillance Information Exchange (Tüm Amaçlar İçin Yapılandırılmış Eurocontrol Gözetim Bilgi Değişimi)
ATC	: Air Traffic Control (Hava Trafik Kontrol)
ATIS	: Automatic Terminal Information Service (Otomatik Terminal Bilgi Yayınlama)
ATM	: Air Traffic Management (Hava Trafik Yönetimi)
ATS	: Air Traffic Services (Hava Trafik Hizmetleri)
B-RNAV	: Basic Area Navigation (Temel Alan Navigasyonu)
CAN	: Control Area Network (Kontrol Alanı Ağı)
CAT	: Category (Kategori)
CIDIN	: Common ICAO Data Interchange Network (Ortak ICAO Veri Değişim Şebekesi)
COSPAS	: Cosmicheskaya Sistyema Poiska Avariynich Sudov (Tehlike altında bulunan gemilerin araştırılması için uzay sistemi)
CRTISTAL	: Co-operative Validation of Surveillance Techniques and Applications of ADS-B (ADS-B Uygulamaları ve Gözetim Tekniklerinin Birlikte Faal Olması)
DHMI	: Devlet Hava Meydanları İşletmesi
DMAN	: Departure Manager (Kalkış Yöneticisi)
DME	: Distance Measuring Equipment (Mesafe Ölçüm Cihazı)
DR	: Dikey Radar
ECAC	: European Civil Aviation Conference (Avrupa Sivil Havacılık Konferansı)
FDP	: Flight Data Processing (Uçuş Veri İşleme)
FMS	: Flight Management System (Uçuş Yönetim Sistemi)
GNSS	: Global Navigation Satellite System (Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi)

GTC	: Gain Time Control (Zamana göre Kazanç Kontrolü)
ICAO	: International Civil Aviation Organization (Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı)
IFF	: Identification Friend or Foe (Dost veya Düşman Tanıtması)
II	: Interrogator Identifier (Sorgulayıcı Belirteci)
IISLS	: Improved Interrogation Side Lobe Suppression (Geliştirilmiş Yan Loblarla Bastırma Tekniği)
ILS	: Instrument Landing System (Aletli İniş Sistemi)
INS	: Inertial Navigation System (Ataletsel Seyrüsefer Sistemi)
ITU	: International Telecommunications Union (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği)
KUŞRAD	: Kuş Radarı
KVM	: Keyboard, Video, Mouse
LVA	: Large Vertical Aperture (Geniş Düşey Açıklıklı)
MDU	: Main Distribution Unit (Ana Dağıtım Birimi)
MGR	: Milli Gözetim Radarı
MLAT	: Multilateration (Multilaterasyon)
MSSR	: Monopulse Secondary Surveillance Radar (Monopulse İkincil Gözetim Radarı)
MTBF	: Mean Time Between Failures (Arızalar Arası Ortalama Zaman Aralığı)
NDB	: Non-Directional Radio Beacon (Yönlendirilmemiş Radyo İşaretçisi)
NTP	: Network Time Protocol (Ağ Zamanlama Protokolü)
NM	: Nautical Mile (Deniz Mili)
PAT	: Pist, Apron ve Taksi Yolu
PD	: Probability of Detection (Tespit Olasılığı)
PPI	: Plan Position Indicator (Plan Pozisyon Göstergesi)
PRF	: Pulse Repetition Frequency (Darbe Tekrar Frekansı)
PRT	: Pulse Repetition Time (Darbe Tekrarlama Süresi)
PSR	: Primary Surveillance Radar (Birincil Gözetleme Radarı)
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Ayarlı Modülasyon)
RADAR	: Radio Detection And Ranging (Radyo Tespit ve Mesafelendirme)
RCMI	: Radar Controlling & Monitoring Interface (Radar Kontrol ve İzleme Arabirimi)
RDP	: Radar Data Processing (Radar Veri İşleme)
RIV	: Radar Image Viewer (Radar Resmi Görüntüleyici)
B-RNAV	: Radar Signal Distributor (Radar Sinyal Dağıtıcısı)
RSD	: Radar Signal Distributor (Radar Sinyal Dağıtıcısı)
RSLS	: Receiver Side Lobe Suppression (Alıcı Yan Lob Bastırma)
RTCM	: Remote Transceiver Control and Monitoring (Uzaktan Alıcı-Verici Kontrol ve İzleme)
SARSAT	: Search And Rescue Satellite-Aided Tracking (Arama ve Kurtarma uygulamalarının uydu yardımıyla izlenmesi)
SCD	: Sea Clutter Discriminator (Deniz Karmaşığı Ayırıcı)
SI	: Surveillance Identity (Gözetim Kimliği)
SHGM	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
SLS	: Side Lobe Suppression (Yan Lob Bastırma)
SMGCS	: Surface Movement and Guidance System

	(Yüzey Hareketleri Rehberlik ve Kontrol Sistemi)
SMR	: Surface Movement Radar (Yer Hareket Radarı)
SPR	: Sync Phase Reversal (Senkronizasyon Faz Ters Çevirme)
SQB	: Squid
SSR	: Secondary Surveillance Radar (İkincil Gözetim Radarı)
SSY	: Seyrüsefer Yardımcıları
STC	: Sensitivity Time Control (Hassasiyet Zaman Kontrol)
STDMA	: Self-Organising Time Division Multiple Access (Kendi Kendine Organizasyon Yapan Zaman Bölmeli Çoklu Erişim)
TC	: Transceiver Controller (Alıcı-Verici Kontrol Cihazı)
TDOA	: Time Difference of Arrival (Varış Zaman Farkı)
TMA	: Terminal Control Area (Terminal Kontrol Sahası)
TOA	: Time Of Arrival (Varış zamanı)
TSAT	: Target Startup Approval Time (Uçak Motor Çalıştırma Onay Zamanı)
TTOT	: Target Take Off Time (Uçak Kalkış Zamanı)
UAT	: Universal Access Transceiver (Evrensel Telsiz Erişimi)
UPS	: Uninterruptable Power Supply (Kesintisiz Güç Kaynağı)
VCS	: Voice Communication System (Ses Haberleşme Sistemi)
VDL	: VHF Digital Link (VHF Dijital Bağlantı)
VOR	: Very High Frequency Omni Directional Range (Çok Yüksek Frekanslı Tüm Yönlü Radyo Verici İstasyonu)
VSAT	: Very Small Aperture Terminal (Çok Küçük Açıklık Terminali)
VP	: Video Processor (Video İşlemcisi)
WAM	: Wide Area Multilateration (Geniş Alan Multilaterasyon)

1. GİRİŞ

Sivil havacılık sektöründe 2016 yılında, Dünyada 91.173.013 uçuş gerçekleştirildi. Bu uçuşlarda 7.705.574.365 yolcu taşındı. Türkiye’de ise 1.452.995 uçuşta toplam 174.153.146 yolcu taşındı [1]. Sivil havacılıkta uçuşların emniyetli gerçekleştirilmesindeki en büyük etkenlerden birisi; haberleşme, seyrüsefer ve gözetim olarak sınıflandırılan elektronik sistemlerdir. Uçuş eylemi boyunca hava aracının iniş ve kalkış aşamaları da dâhil olmak üzere, en-route aşamasında hava trafik kontrolörlerinin en büyük görsel veri kaynağını radar sistemleri oluşturmaktadır.

Bu tez çalışmasında, sivil havacılık alanında kurulumu ve işletmesi sadece DHMİ (Devlet Hava Meydanları İşletmesi) tarafından yapılan, sayıları ve çeşitleri her geçen gün artan radar sistemleri incelenmiştir. Herkesin malumu olan Türkiye’nin jeopolitik konumunun önemi, coğrafyamızda yakın zamanda yaşanan olaylar da göz önünde bulundurulduğunda radar sistemlerinin etkin kullanımını gerekli kılmaktadır. Gerek askeri, gerekse sivil hava trafiğinin takibi ve idamesinin haricinde; giderek yaygınlaşan insansız hava araçlarının tespiti için de radarlar kullanılmaktadır. Bu tez çalışması ile hava seyrüsefer emniyeti ve güvenliği için kritik öneme haiz özel bir sistem oluşturan radar sistemleri hakkında kapsamlı bilgi sağlanarak ilgili kişilerde farkındalık sağlanması amaçlanmıştır.

Tezin ikinci bölümde hava seyrüseferin tüm aşamalarında kullanılan elektronik sistemler ve genel radar yapısı incelenmiştir. Diğer bölümlerde sırasıyla, radar çeşitlerinden PSR, SSR, SMR ve kuş radarları akademik bir bakış açısıyla incelenmiştir.

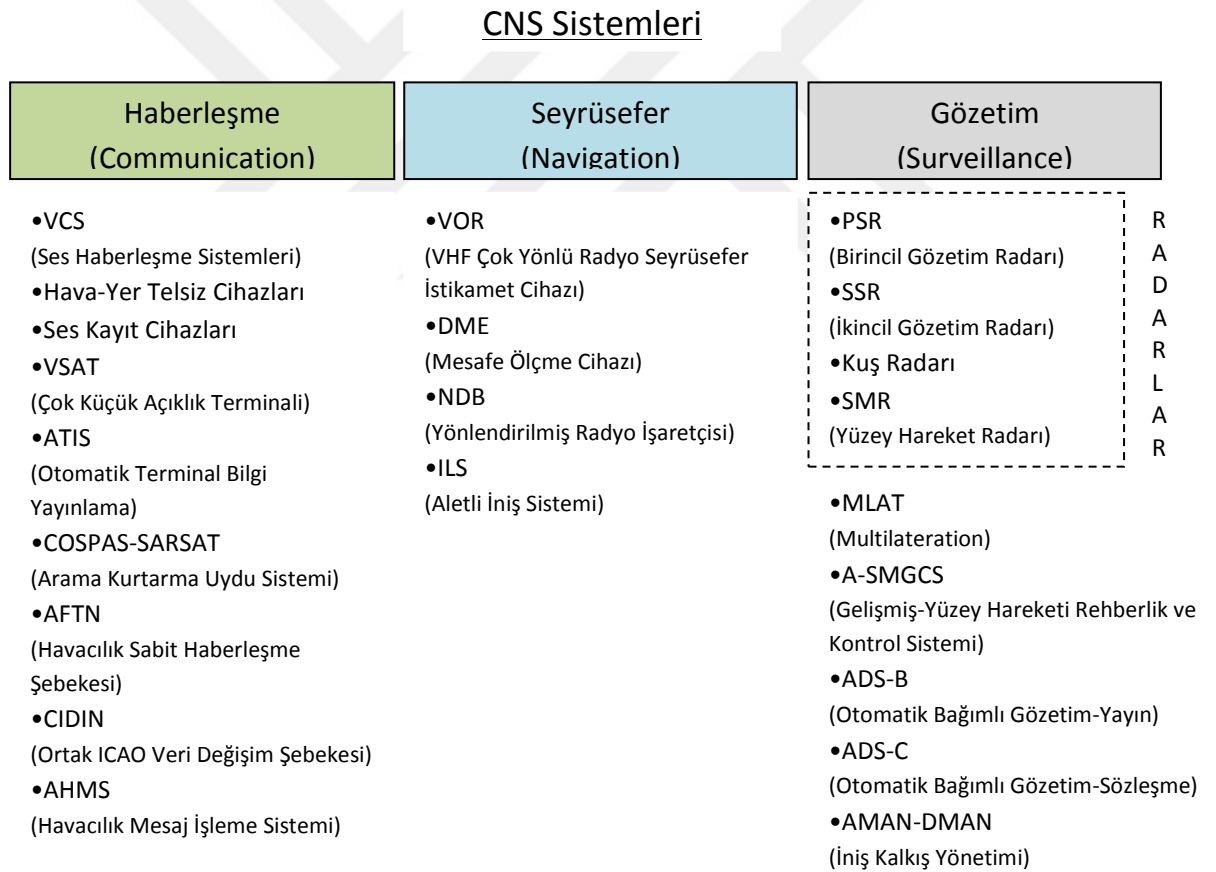
Uçuşun kalkış noktasından başlayarak, iniş yapılan nokta arasında, hava araçlarına, pilotlara ve ATC (Air Traffic Control) birimlerine elektronik cihaz ve sistemler hizmet vermektedir. Bu hizmetlerin büyük bir bölümü yön, mesafe ve konum belirlemeye yöneliktir. Havacılıkta yaygın olarak kullanılan CNS (Communication Navigation Surveillance) sistem yapısı Şekil 1.1’de görülmektedir.

Sivil havacılıkta uçuşun tüm aşamalarında hava trafik kontrol hizmetleri (özellikle ATC ve CNS hizmetleri) ICAO (International Civil Aviation Organization) tarafından oluşturulmuş belli kurallarla yürütülür. Bu kurallar yardımıyla uluslararası birliktelik sağlanmış olur. Bu nedenle ölçü birimleri de standart hale getirilmiştir. Kullanılan temel ölçü birimleri şu şekildedir:

- Dikey mesafe ölçümleri için feet kullanılmaktadır. (1 feet =30,48 cm)
- Mesafe ölçümleri için NM (deniz mili) kullanılmaktadır. (1 NM =1,852 km)
- Yatay hız ölçümleri için kt (knot) kullanılmaktadır. (1 kt =1,852 km/sa =0,514 m/s)
- Dikey hız ölçümleri için feet/m (feet/dakika) kullanılmaktadır.

Altimetre ayarı için hPa kullanılmaktadır. 1 hPa=1 mbar ya da basınçta meydana gelecek 1 hPa'lık bir değişim 30 feet'lik bir dikey konum değişimine karşılık gelmektedir.

ATC hizmetleri verilirken uçuşun belirli aşamalara ayrılarak görev dağılımı yapılmıştır. Bir uçuşun aşamaları genellikle kalkış yapılan pistten inişin gerçekleştirileceği piste kadar üç boyutlu olarak tanımlanmaktadır. Her bir aşamaya etki eden farklı faktörler bulunmaktadır. Uçuşun aşamaları Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



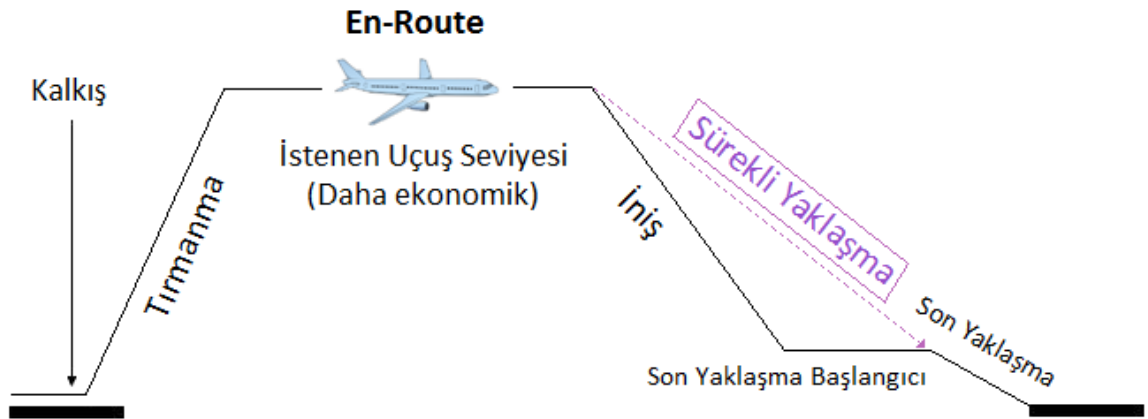
Şekil 1.1. CNS Sistem Yapısı

Hava trafik kontrol hizmetleri verilmesindeki amaç, uçaklar arasında çarpışmayı önlemek, manevra sahasındaki uçakların birbirleriyle ve bu sahadaki mâniyalarla çarpışmalarını önlemek, düzenli ve hızlı bir trafik akışı ile birlikte gökyüzünde çizilen sanal yolların etkin biçimde kullanılmasını sağlamaktır.

Hava seyrüsefer hizmetleri, saha kontrol, yaklaşma kontrol ve kule kontrol olmak üzere 3 ayrı noktada verilmektedir. Bir uçuşun aşamalarında bu hizmetler verilirken aşamalardan birinin bittiği noktada diğer birim hizmeti devralır.

Kalkış aşaması; uçağın tahsis edilen pist ile aynı doğrultuya geldiği zaman ile hızlanarak aerodinamik kaldırmanın sağlanacağı ve uçuşun sürdürülebileceği hıza ulaştığı zaman arasındaki periyottur. Bu periyottaki hizmet kule kontrol birimi tarafından verilmektedir.

Tırmanma aşamasında uçak seyir seviyesine tırmanmak amacıyla yükselme hareketini sürdürür. Seyir seviyesi, hava yolu şirketi veya pilot tarafından uçuş planında belirtilmektedir. Bu aşama normal jetler için 10-15 dakika sürerken, daha ağır uçaklar için 20 dakikaya kadar çıkmaktadır. Bu periyottaki hizmet yaklaşma kontrol birimi tarafından verilmektedir [2].



Şekil 1.2. Uçuşun Aşamaları [3].

Yol (En-Route) aşaması, uçağın rotasının büyük bir kısmında aynı seviyeyi koruduğu aşamadır. Bu aşamada yakıt tüketimi azdır. Tırmanma ve alçalma için geçen sürelerle eşit yol aşamasının gerçekleştiği kısa mesafeli uçuşlar haricinde, yol aşaması 3 saat ile 10 saat arasında değişebilmektedir. Bu periyottaki hizmet, Saha Kontrol (Area Control) birimi tarafından verilmektedir.

Alçalma aşaması; en-route aşamasında sürdürülen uçuş seviyesinin, yaklaşmanın başlayabileceği daha alt bir seviyeye alçalmak üzere terk edildiği periyoda karşılık gelir. 33.000 feet (10.05 km) seviyesinde seyir eden bir uçak için tipik alçalma aşamasının varış meydanına 100 NM (185 km) kala başlaması optimum çözümdür. Gerçekte bu aşama daha önce başlatılmış olup, komşu ATC üniteleri arasındaki koordinasyon ile farklı aşamalara bölünmüştür. Daha düşük irtifalarda uçağın hızı azalmaya başlar. Bir jet uçak için en-route aşamasında saatte 450 NM (833 Km/s) iken, alçalma sahası içinde 300 NM'ye (555 Km/s) düşer ve iniş aşamasında bu hız 180 NM'ye (333 Km/s) kadar iner. Bu periyottaki hizmet yaklaşma kontrol birimi tarafından verilmektedir.

Kalkış meydanında başlayan uçuşun, uçağın varış meydanında piste tekerlek koyması ile sona erer. Uçak, pisti terk ettikten sonra kendisine tahsis edilen park pozisyonuna gider ve uçuş sona ermiş olur. Bu periyottaki hizmet kule kontrol birimi tarafından verilmektedir.

2. CNS SİSTEMLERİ

2.1. Haberleşme Sistemleri

Haberleşme sistemleri genellikle kalkış ve iniş olmak üzere uçağı yönlendirmeye yarayan sistemlerdir. Seyrüsefer ve gözetim sistemlerinin kullanımında hava-yer ve yer-yer haberleşmesi sistemin emniyetli kullanılması açısından çok önemlidir. Uçuşun çeşitli aşamalarında kullanılan haberleşme sistemleri farklı amaçlar için kullanılır [2].

VCS (Ses Haberleşme Sistemleri), hava trafik hizmetinde operatörün çalışma sıralamasında en ön sırada yer alan, uçakla frekanslar üzerinden temas kurulmasında ve diğer havalimanlarıyla olan telefon haberleşmesinde sürekli olarak kullanılan bir ses haberleşme sistemidir. Yer/hava, yer/yer radyo frekansları ile değişik tipte telefon hatlarını bünyesinde toplayarak, sisteme bağlı touchscreen veya push-button şeklindeki pozisyonlarda hava trafik operatörlerinin kullanımına sunar.

Bir VCS, merkezi sistem ünitesi, operatör pozisyonları, bakım/konfigürasyon terminali ve telefon ile radyo hat bağlantılarından oluşur. Burada belirtilen radyodan kasıt uçakla veya apron yer araçlarıyla VHF/UHF frekansları üzerinden yapılan görüşmelerin gerçekleştirildiğı verici ve alıcı cihazlarıdır [3].

Telsiz cihazları, hava/yer ve yer/yer haberleşmesinde kullanılmaktadır. Telsiz cihazları 118-137 MHz VHF frekans bandında ve genlik modülasyonlu alıcı ve verici cihazlardır. Verici cihazlarının çıkış gücü 50W, 25W ve 10W olarak ayarlanabilmektedir.

Ses kayıt cihazları, hava trafiğine ait tüm radyo ve telefon konuşmaları ile kayıt altına alınmaya değer görülen önemli telefon veya telsiz konuşmaları gibi ses çıkışına sahip her türlü ses kaynağının DAT kaset, VHS kaset veya manyetik şerit şeklindeki ortamlarda saklanması amacıyla kurulmuş cihazlardır. Kaydedilen bantlar ilgili yönerge doğrultusunda bir ay süreyle saklanır. Herhangi bir hava hadisesi durumunda saklama dolabından alınarak dinlenir. Yapılan konuşmaların raporları tutularak olayın aydınlatılmasında veya gerekirse adli makamlar seviyesinde değerlendirilmesinde kullanılır [4].

VSAT (Çok Küçük Açıklık Terminali), Eurocontrol tarafından geliştirilen "OneSky in Europe" çalışmalarına hizmet etmek üzere oluşturulan "Black Sea Area" projesine dâhil ülkeler arasında uydu üzerinden telefon haberleşmesini sağlamak üzere kurduğu ve şu anda işletmesi DHMİ tarafından verilen bir uydu haberleşme sistemidir.

Ülkemizde bulunan VSAT yer istasyonları proje dâhilinde Türkiye ile birlikte yer alan Romanya, Ukrayna, Rusya, Bulgaristan, Gürcistan, Ermenistan'ın bulunduğu bir uydu ağına dâhildir. Bu ağın kontrol merkezi Deutsche Phonesat'ın Berlin'deki yerinde olup, ağda bulunan tüm uydu yer istasyonları Eutelsat W3 uydusuna bağlıdır [4].

ATIS (Otomatik Terminal Bilgi Yayınlama) sistemi uçağa, havalimanı ile ilgili yaklaşma tipi, kullanılan pist, pist yüzeyindeki önemli durumlar gibi meydan bilgileri ile hava durumu, rüzgâr, sıcaklık, pist görüş mesafesi gibi yaklaşma, kalkış ve tırmanma sahalarındaki önemli meteorolojik bilgilerin otomatik yayınlandığı bir ses sistemidir. ATIS yayınları Ankara Esenboğa Havalimanında 123,6 MHz, İstanbul Atatürk Havalimanında 128,2 MHz, İzmir Adnan Menderes Havalimanında 129,2 MHz, Antalya Havalimanında 118,275 MHz, Dalaman Havalimanında 127,35 MHz, Milas/Bodrum Havalimanında 128,5 MHz ve Sabiha Gökçen Havalimanında 128,550 MHz frekanslarından yayınlanmaktadır. Bilgiler her yarım saatte bir güncellenmektedir [4].

COSPAS-SARSAT (Arama Kurtarma Uydu Sistemi), kısaca arama ve kurtarma uydu sistemi olarak tanımlanabilen COSPAS-SARSAT sistemi, 1982 yılından beri 37 üye ülke nezdinde arama ve kurtarma faaliyetlerinde uydu sistemlerinden faydalanılması amacıyla kurulmuştur.

121,5 MHz ve 406 MHz frekansları uluslararası arama ve kurtarma frekansları olup, acil yardım isteyen uçak, gemi veya insanlarda beacon denilen özel cihazlarla bu frekanslardan sinyal yaymaktadır. Dünya yüzeyini tarayan uydular tarafından tespit edilebilen bu sinyaller, alıcı istasyonları olarak yer yüzeyinde çeşitli noktalarda konumlandırılmış ünitelere iletilmekte, burada işlenen bilgilerden konum ve mümkünse kimlik bilgileri elde edilebilmektedir. Bu bilgiler arama ve kurtarma faaliyetlerinin plan ve koordinasyonlarının yapıldığı ünitelere gönderilmektedir [4].

AFTN (Havacılık Sabit Haberleşme Şebekesi), mesajların ve/veya sayısal bilgilerin aynı ve uygun haberleşme özelliklerine sahip havacılık sabit istasyonları arasında alınıp gönderilmesi için havacılık sabit servisinin bir parçası olan havacılık sabit devreleriyle sağlanan dünya çapında bir sistemdir. Hava trafik yönetimi birçok alanda veri iletişimi ile

desteklenmeye ihtiyaç duyar. 1950'li yılların başında büyük havaalanları, birbirleri ile noktadan noktaya telgraf hatları/teleks ile bağlanmaktaydı. Bu ise pahalı ve zor bir yatırımdı. Günümüzde ise AFTN sistemi, tamamen bilgisayar ve network tabanlı modern sistemler aracılığıyla iletişim sağlamaktadır [4].

CIDIN (Ortak ICAO Veri Değişim Şebekesi), ülkedeki hava ulaşımında esas unsuru oluşturan havacılık uçuş emniyet mesajlarının, yol rehberine göre yurt içindeki havalimanlarına ve yurt dışındaki AFTN merkezlerine daha hızlı ve kayıpsız olarak gönderilebilmesi için ICAO üyesi ülkeler arasında kurulmuş olan 9600-64000 bps hızında X.25 paket anahtarlama iletişim protokolünü kullanan haberleşme şebekesidir. CIDIN, AFTN merkezleri ile paket anahtarlama merkezleri arasında mesajların küçük paket dizileri halinde taşınmasını sağlar. Bir AFTN mesajı, CIDIN paketi içerisinde yer alan bir parçadır ve uygulama esnasında AFTN mesajı olarak geri döner [4].

Hâlihazırda kullanılan AFTN/CIDIN sistemi, limitli adres dağıtımı, mesaj karakterinin sınırlı olması, mesajın takip edeceği network yolunun kullanıcı tarafından belirlenmesi dolayısıyla sistem üzerindeki insan faktörünün üst seviyede bulunması, network hızının düşük olması gibi dezavantajlarından dolayı gelecekteki haberleşme stratejisine cevap verecek teknolojiye sahip değildir. Eurocontrol ülkeleri arasında bu dezavantajları ortadan kaldıracak güncel teknoloji ve uluslararası kabullere uyumlu AMHS adı verilen yeni sisteme geçiş kararı verilmiştir. Bu projenin amacı özellikle haberleşmedeki insan faktöründen kaynaklanan hataları en aza indirmektir [4].

2.2. Seyrüsefer Sistemleri

Seyrüsefer, bir aracın (rüzgar, fiziksel anormallikler, radyo girişimleri, marjinal koşullar, yörünge, zaman, manialar, yakıt ve özellikleri gibi faktörler dikkate alınarak) bir yerden başka bir yere kadar hareketinin planlanması, kayıt altına alınması ve kontrolü işlemidir. Günümüzde yoğun hava sahalarında, en-route seyrüseferi yer temelli sistemlere dayanmaktadır. Bunlar; VOR, DME ve NDB sistemleridir. Uçak sensörleri, pozisyonlarını belirlemek için yer istasyonlarından iletilen sinyalleri kullanmaktadır. 1998 yılında B-RNAV (Temel Alan Navigasyonu) kullanımı ortaya çıkıncaya kadar, yol yapıları bu seyrüsefer cihazlarının pozisyonlarına bağlı olarak değişmekteydi. Saha Seyrüsefer (Area

Navigation) yer istasyonlarının pozisyonlarına bakılmaksızın hava yolları belirlenmesine olanak sağlarken aynı zamanda yer istasyon sinyallerinin pozisyon belirlenmesinde kullanımına da imkân verir. B-RNAV ortaya konması ile birlikte, GPS B-RNAV seyrüsefer için temel seyrüsefer sistemi konumuna gelmiştir [2].

Ülkemizde DHMİ bünyesinde sivil havacılık amaçlı 70 adet VOR, 135 adet DME, 64 adet ILS ve 74 adet NDB kullanılmaktadır.

2.2.1. NDB (Yönlendirilmemiş Radyo İşaretçisi)

Çok hassas olmayan ve bu nedenle hava seyrüseferleri açısından özellikle yaklaşma ve iniş sırasında limitlerin oldukça üzerinde çalışan bir radyo vericisidir. Temel olarak, bir orta dalga verici olarak 285 KHz – 525 KHz frekans bandında görev yapar. Tavsiye edilen kaplama sahası, 46.3 Km –278 Km (25 NM-150 NM)'dir. Şekil 2.1'de bir NDB anteni görülmektedir. NDB'nin ucuz bir sistem olması, çok fazla kullanılmayan hava limanları için ve gelişmiş navigasyon sistemi bulunmayan uçaklar için vazgeçilmez cihazlar olmasını sağlamaktadır. Ayrıca Atatürk Havalimanı gibi yoğun trafiğin olduğu yerlerde iyi bir yedek seyrüsefer sistemidir [5].

NDB cihazları;

- Yol olarak belirlenen yerlerde,
- Havaalanları ve belirli bir yerleşim bölgesinin belirlenmesinde,
- Belirli bir sabit bölgenin belirlenmesinde,
- ILS marker istasyonlarının belirlenmesinde kullanılır.



Şekil 2.1. NDB Anteni [6].

Yayın yapan bir NDB istasyonu kendisini tanıtmak amacıyla mors alfabesini kullanır. Tanıtma işaretinin seçiminde, NDB cihazının kullanım yeri önemlidir. Yol ve yaklaşma hizmeti veren konumdaki NDB cihazlarının tanıtma işareti üç harften oluşur.

NDB cihazları muhtelif anten tipleri ile uyumlu çalışabilecek özelliklerdedir. Antenlerle uyumu temin etmek üzere, anten tuner sistemleri kullanılmaktadır. Orta dalga frekans bandında dalga boyunun oldukça büyük olması ve fiziki olarak bu büyüklükte bir anten yapılmasının pratikte faydası olmaması nedeniyle, mevcut anten boyuna ilaveten elektriksel olarak boy büyütülür. Bu amaçla da, genellikle kapasitif frekansı yüksek antenler ve bobin devrelerinin değişken yapıldığı tuner devreleri kullanılır [5]. Genellikle üç tip anten tipi kullanılır.

- Mast Anten: Yerden izole edilmiş, orta boyutta çelikten mamul ve izole edilmiş taşıyıcılar vasıtasıyla ayakta durabilen anten tipidir. Düşük kaplamanın yeterli olduğu yerlerde kullanılır.
- Fiberglas Mast Anten: Normal mast anten gibi dikine durabilecek ancak ayakta durabilmek için bağlantı gerektirmeyen, diğer seyrüsefer istasyonlarının yayınlarını etkilememek amacıyla fiber esaslı malzemeden yapılmış antendir.
- Simetrik T Anten: Genellikle yüksek kaplama istenilen yerlerde ve arazi yapısının uygun olduğu yerlerde kullanılır. Oldukça yüksek ve direkler arası, oldukça açık yapılarak ortadan beslenir.

2.2.2. VOR (VHF Çok Yönlü Radyo Seyrüsefer İstikamet Cihazı)

VHF frekans bandında çok yönlü radyo yayını olarak bilinen VOR, uluslararası standartta orta ve kısa mesafe seyrüsefer cihazı olarak bilinir. Günümüz hava trafik ağı, VHF frekans bandında çalışan ve 300 km'ye kadar ulaşım menziline sahip olan VOR istasyonları tarafından işaretlenir.

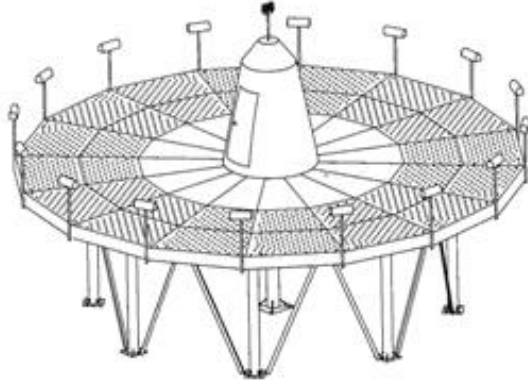
Şekil 2.2'de görüldüğü gibi, VOR istasyonu kendi etrafında birer derece aralıklarla 360 adet, radyal adı verilen doğrusal hat üretir. VHF bandında her yönde yayın yapan verici, kullanıcıya; manyetik kuzeye göre yönünü, seçilen radyale göre pozisyonunu bildirir. Uçak tarafından alınan VOR bilgisi, uçağın uçuş yönünden bağımsızdır. Sadece pilota uçuş esnasında yön bilgisi verir. 108-118 MHz'lik frekans bandına 0,05 MHz aralıklarla kanallar yerleştirilmiştir. Ancak 108,00-108,05-108,25-108,40 şeklinde 112,00 MHz'e kadar sıralanmıştır. Bunun sebebi 111,90 MHz'e kadar aralarda ILS sisteminin Localizer kanallarının bulunmasıdır. 112,00 MHz'den itibaren 118,00 MHz'e kadar ise VOR kanalları 0,05 MHz aralıklarla yerleştirilmişlerdir. Toplam 160 kanal kullanıma açılmıştır [7].

Aynı amaca hizmet etmekle beraber CVOR (Normal VOR), TVOR (Terminal VOR) ve DVOR (Doppler VOR) olmak üzere üç tip VOR istasyonu mevcuttur. VOR cihazları yol ve kavşak noktalarında yaklaşma ve alçalma, bekleme amacı ile kullanılırlar.

Yaklaşma ve alçalma amacı ile kullanılan VOR istasyonları, meydan civarında veya meydan içerisinde olabilirler. Meydan içinde belirli bir mesafe içerisinde bulunan VOR istasyonlarına on-airodrome çalışma denir ve yaklaşma elde edilmesi amacıyla kullanılırlar. Bu tip VOR istasyonları Terminal VOR'u olarak da adlandırılırlar [8].

VOR cihazlarında da, standart 1020 Hz frekanslı tanıtma frekansı kullanılır. Tanıtma işareti bulunduğu bölge, coğrafi yer adı, meydan adı gibi yerlerden belirlenir. Genel olarak üç harften oluşan tanıtma grubu kullanılır. Yine tanıtma işaretinin hızı dakikada 7 kelimedir. Kullanılan harf grubu mors kodu ile yayımlanır.

VOR yayınının VHF bandından yapılması nedeniyle karşılaşılan bazı problemler vardır. Bunlar; yakın çevredeki enerji nakil hatları, çevre tel örgüsü, ağaç grupları ve binalardan oluşan mânialar, şeklinde özetlenebilir. Genel olarak VOR cihazında 600 m yarıçaplı mesafe, VOR hassas sahası olarak kabul edilir. Bu mesafe içerisindeki her türlü yaklaşma kontrol altına alınmalıdır [7].



Şekil 2.2. VOR İstasyonu [6].

2.2.3. DME (Mesafe Ölçme Cihazı)

DME tipik bir darbe mesafe ölçüm sistemidir. Uçakta bulunan sorgulayıcı, yer istasyonu tarafından alınan ve 63 MHz düşük veya yüksek frekansta, cevap sinyali olarak geri gönderilen darbe çiftleri yayınlar. Uçak sorgulayıcısı iletim ve alıştırki iki eşdeğer darbe çifti arasındaki zaman gecikmesini ölçer [7]. (12 μ slik süre 1 NM'e eşit olup, yer istasyonu her zaman 50 μ slik bir gecikme ekleyecektir.) Şekil 2.3'de bir DME anteni görülmektedir.



Şekil 2.3. DME Anteni [6]

DME, UHF frekans bandında çalışır ama VOR, ILS veya LOCALIZER ile eşlenik çalıştığı durumlarda frekansı da eşlenebilir. Birçok uçaktaki alıcı elemanı, VOR/ILS alıcıları ile otomatik DME seçimi sağlar. Uygun VOR veya ILS seçimi ile otomatik olarak DME istasyonu da seçilmiş olur.

Yaklaşık 1 GHz frekansındaki taşıyıcı frekansı neredeyse tamamen optik olarak yayıldığı için, sistemin menzili görüş menzili ile sınırlıdır. 23.000 m'lik irtifada maksimum menzil 500 km civarındadır.

Darbe çiftlerinin sayısı saniyede 3.000'i geçmemelidir. Bu kapasitenin 100 uçak altına inmesi ile sonuçlanır. DME yer istasyonu aşırı yüklenebilir. Bu durumda, yer istasyonu yeni uçaklardan gelebilecek sorgulamaları reddedebilir. Bu kullanıcılar için DME hizmet dışı görünecektir.

Hem uçakta hem de yer istasyonunda (transponder) alıcı ve verici anteni vardır. Uçağın gönderdiği soru sinyalleri yer istasyonunda değerlendirilir. Daha sonra farklı bir frekansta cevap sinyali olarak uçağa gönderilir.

İletişimde darbe modülasyonu kullanılır. Pilot, DME frekansını seçtikten sonra ilk soru sinyalleri darbe çiftleri şeklinde yer istasyonuna gönderilmeye başlanır. Uçak bu durumda arama aşamasındadır. DME istasyonunun cevap sinyalleri yakalanıncaya kadar uçak, saniyede 150 defa darbe çifti göndermeye devam eder. Cevap sinyali yakalandıktan sonra ise izleme aşaması başlar. Gönderilen darbe çifti sayısı bu aşamada saniyede 10-30 düzeylerine düşer.

DME hassasiyeti mesafeye bağlı olarak değişmekle beraber, ± 370 m'lik bir hassasiyet söz konusudur. Sistemin çalışma frekansı; UHF bandında 960-1215 MHz aralığında seçilir. Bu aralıkta; X modunda 126, Y modunda 126 kanal olmak üzere toplam 252 kanal mevcuttur [9].

2.2.4. ILS (Aletli İniş Sistemi)

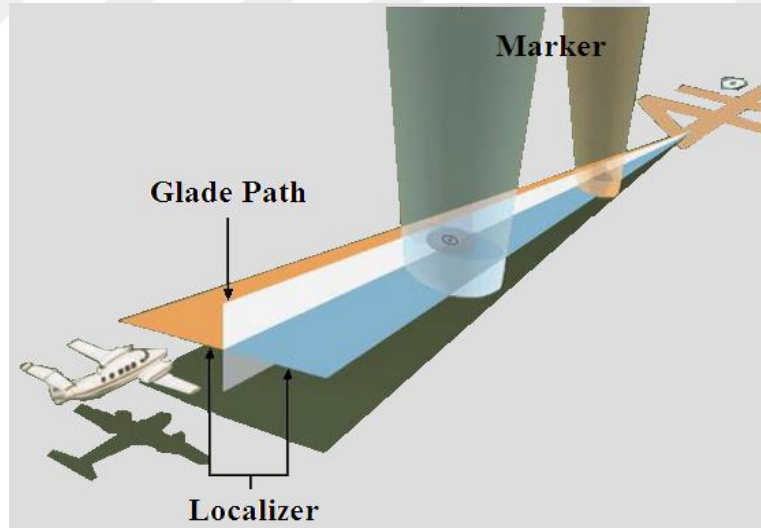
Aletli iniş sistemi olarak tanımlanan ILS sistemi, yatay ve düşey olarak uçağa kılavuzluk görevi yaparak, uçağın piste elektronik cihazlarla emniyetle iniş yapmasını sağlayan bir sistemdir. Özellikle bulut tavanının düşük, görüşün kısıtlı olduğu sisli,

yağmurlu ve karlı havalarda güvenli, görüş mesafesinin yüksek olduğu durumlarda ise güvenliğin yanı sıra konforlu bir yaklaşma ve iniş yapılmasına imkân sağlar.

ILS sisteminin ana fonksiyonu, kötü görüş şartlarında uçağı yere nazaran emniyetli bir şekilde daha fazla alçaltarak pilotun pisti görmesini sağlamaktır. ILS yardımıyla diğer seyrüsefer yardımcı sistemlerine (VOR, NDB) kıyasla yere daha fazla yaklaşarak pisti gören pilot, uçakta bulunan diğer elektronik sistemler ve pistte bulunan görsel yardımcılar (yaklaşma ışıkları vb.) vasıtasıyla piste inişi gerçekleştirir.

Sadece meteorolojik şartlar göz önüne alınarak ILS sisteminin kurulması mümkün değildir. Meteorolojik şartların yanında ILS kurulmasına imkân sağlayan gerekli yaklaşma minimalarına, harita etüdları, uçuş kontrol ve keşif çalışmalarının sonucunda ulaşılması gerekmektedir. Bu şartlar sağlanamıyorsa ILS kurulmasında bir fayda bulunmamaktadır [6].

ILS sistemi Şekil 2.4’de görüldüğü gibi Localizer, Glide Path (G/P) ve Marker serisinden (dış marker ve orta marker, özel durumlarda da iç marker) oluşan yaklaşma ve iniş için, uluslararası olarak kullanılan bir seyrüsefer yardımcısıdır [9, 10].



Şekil 2.4. ILS Sistemini Oluşturan Bileşenler [11].

ILS Sistem tesisinde G/P aktif pist başının yakınına, localizer pistin diğer başının pist merkez hattı doğrultusunda ortalama 300 m mesafeye kurulur. Kule ve SSY cihazları odasına tesis edilen uzaktan kontrol sistemi localizer, G/P ve markerlerin uzaktan kontrolüne ve izlenmelerine imkân vermektedir.

Localizer ve G/P'in çalışma prensibi, 90 Hz ve 150 Hz frekansları ile iki sinyal arasındaki modülasyon derinliği farkının ölçülmesine dayanır. Bu seyrüsefer frekansları, doğru yaklaşma güzergâhını ve belirtilen G/P açısını bulmak için kullanılır.

2.2.4.1.Localizer

Havaya yayılan elektronik sinyaller vasıtasıyla uçağın pist merkez hattı doğrultusunda yaklaşmasını ve tam olarak karşılamasını sağlar. Localizer, VHF bandında, 108–112 MHz frekans aralığında çalışır. Yatay bir rehber düzlem oluşturarak pilotun yaklaşık 25 NM (48 km) mesafede sağ/sol yaklaşma güzergâhını seçmesine imkân verir. Taşıyıcı çıkış gücü 5–15 W mertebelerindedir. Localizer cihazını kullanarak inmekte olan uçağın solunda 90 Hz' lik modülasyon sinyali, sağında 150 Hz 'lik modülasyon sinyali üstün olacaktır. Şekil 2.5'de iniş hattına dik olarak sıralanmış localizer antenleri görülmektedir. [6] Bu iki paternin birbirlerini kestikleri kısmında, yani pist merkez hattı doğrultusunda bir güzergâh meydana gelir. Buna merkez hat çizgisi (CL/Centre Line) denir. Bu güzergâh içerisinde uçan bir uçak pist doğrultusunda yaklaşır ve uzaklaşır.



Şekil 2.5. Localizer Antenleri [6].

Dış Marker istikametine doğru pist üzerinden geçerek uzanan güzergâha FRONT COURSE ve tam tersi istikametine doğru uzanan güzergâha BACK COURSE denir. Localizer vericileri 25 NM'ye kadar güvenilir olarak sinyal yayınlar. Localizer Course'un

kullanım açısı 3 derecedir. Pist merkez hattına göre 1,5 derece sağ ve 1,5 derece soldadır. Course genişliği 3-6 derece arasındadır.

2.2.4.2.Glide Path (Slope)

Aynı şekilde havaya yayınlanan elektronik sinyaller vasıtasıyla uçakların piste uygun süzülme açısında yaklaşmasını ve inişini sağlar. Glide Path, UHF bandında, 328–336 MHz frekans aralığında çalışır. Glide Path, açısına bağlı olarak Şekil 2.6’da görüldüğü gibi piste göre belirli bir yüksekliğe sahiptir.



Şekil 2.6. Glade Path Antenleri ve Cihaz Barınağı [6].

Her G/P vericisi, beraber çalıştıkları localizer frekansları ile eşleştirilmiştir. Pilot localizera bağlandığında G/P otomatik olarak devreye girer. ILS ile DME eşlenik çalışıyor ise DME de devreye girer. Eşleştirilen frekanslar, radyo seyrüsefer sistemlerinin standartlarını düzenleyen ICAO Annex 10’da yer almaktadır.

G/P antenleri localizerlerde olduğu gibi altlı ve üstlü olmak üzere iki adet yayın paterni meydana getirir. Anten radyasyon pateni dünya yüzeyi ile etkileşim sonucu oluşur. G/P düzleminin aşağısında 150 Hz modülasyon, yukarısında 90 Hz modülasyon sinyali üstündür. G/P düzleminde, her iki modülasyon sinyali de aynı genliğe sahiptir. Bu iki paternin birbirlerini kestikleri yerlerde bir güzergâh daha meydana gelir.

G/P anteni, pist merkez hattından ortalama 120 m mesafeye, sağ veya sola yerleştirilir. G/P süzülme açısı aralığı Annex 10’a göre 2-4 derecedir.

2.2.4.3.Marker

Pist merkez hattı boyunca tesis edilen markerler, ILS yaklaşması yapan uçaklara yaklaşma yolu üzerinde işaret vererek pilotun pist başına ne kadar mesafede olduğunu bildirir. ILS sisteminde genellikle 2, özel durumlarda ise 3 marker istasyonu bulunur. Bu vericiler, aynı taşıyıcı frekansta (75 MHz) yukarıya doğru dikey sinyal yayınlar.

İç marker, pist başından 75m ile 450m arasında optimum 400 m mesafeye tesis edilir. Orta marker, pist başından 900 m ile 1.200m arasında optimum 1.050m mesafeye tesis edilir. Dış Marker pist başına orta markerden daha uzakta, iniş hazırlıklarının yapılması için gerekli pist başından 6.500 m ile 11.100 m arasında optimum 7.500 m’de özel bir mesafeye tesis edilir. İnişe başlayan uçağın pilotuna bu mesafede olduğunu ikaz eder [6].

2.3. Gözetim Sistemleri

Gözetim, kontrolörün ayırma minimalarını temin etmesi ve sürdürebilmesi için, uçakların pozisyon bilgilerinin elde edilmesi yöntemidir. Hava trafik kontrolörü, operasyonel olarak izin verilen ayırma minimalarının temin ve tesis edilmesi amacıyla, hassas ve güvenilir gözetim resmine ihtiyaç duyar. İyileştirilmiş bir hava resmi hassas ve güvenilir kontrole olanak sağlayarak, hava sahası kapasitesinin arttırılmasına imkân sağlayabilir. Kapasite iyileştirilmesi özellikle yoğun hava trafiğine sahip hava sahalarında önem arz eder.

Gözetim fonksiyonunun tek kullanıcısı hava trafik kontrolörü olmayıp, gözetim verisini kullanan farklı ATM sistemleri de mevcuttur. Gözetim, hem hava hem de yerde uçak pozisyon bilgisinin, meteorolojik bilgiler de dâhil olmak üzere ATM sistemlerine aktarımını sağlayan teknolojik yöntemler içerir.

ATM sistemlerine gözetim verisini aktarmak için farklı teknolojik yöntemler kullanılabilir. Hava trafik kontrolörünü destekleyen birçok yöntem veya araç vardır. Birden fazla gözetim kaynağından gözetim bilgisi (plot) elde edildiği durumlarda, tek ve kesin uçak trackleri elde edilmesini temin etmek amacıyla bir birleştirme fonksiyonu mutlaka gerçekleştirilmelidir.

Hassas ve güvenilir bir hava/yer durum resmi ATC fonksiyonları için çok önemlidir. Gate-to-Gate konsepti, uçuşun her aşamasını (kalkış meydanındaki aprondan, kalkış

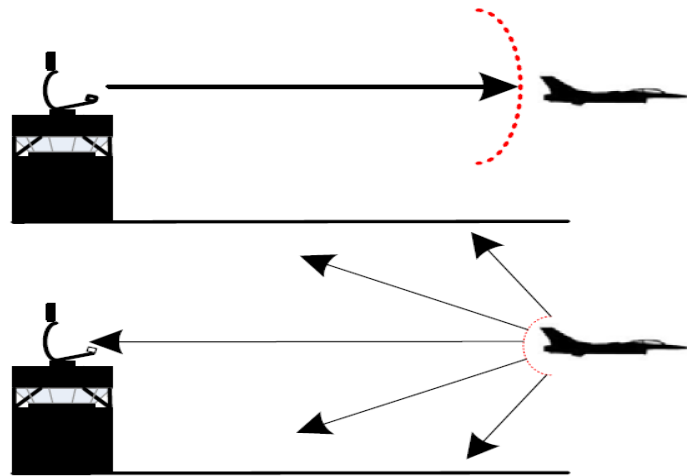
noktasına kadar olan taksi hareketine, TMA girişine, En-route safhasına, yaklaşma safhasına, varış meydanına inişine, aprona taksi hareketine kadar) kapsayan entegre veya harmonize sistemler gerektirir [12].

2.3.1.Radarlar

RADAR (**RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging), elektromanyetik dalgaların temel yayılım parametreleri üzerine kurulan hedef gözetiminde kullanılan bir sistemdir. Temel prensibi, vericiden yayılan sinyalin hedef nesneye çarparak geri dönen sinyalin alıcıda alınmasına dayanır [13, 14]. Elektromanyetik enerjiye ilişkin olarak 3 temel prensip mevcuttur:

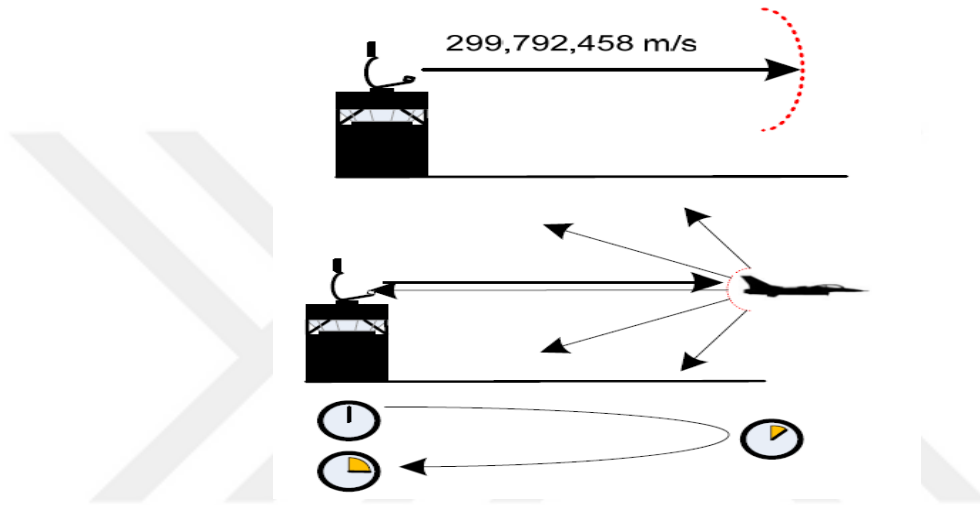
Birincisi “Elektromanyetik enerji, elektriksel iletken yüzeylerden yansır.” Enerjinin elektriksel iletken yüzeylerden yansması nedeniyle, bu yansıyan enerjinin bir kısmı kaynağa geri döner. Enerji bu yüzeylerden yansıtıldığı zaman tüm yönlere dağılır. Sadece küçük bir kısmı radara geri döner. Bu nedenle de bu zayıf sinyallerin tespiti için hassas bir alıcı kullanılması gerekmektedir [14]. Bu durum Şekil 2.7’de gösterilmiştir.

İkincisi “Elektromanyetik enerji sabit bir hızda (299.792.458 m/s) ilerler.” EM enerji sabit bir hızda (ışık hızı) ilerlediğinden dolayı, hassas bir saat kullanılarak enerjinin gönderilip geri alınmasına kadar geçen zaman ölçülebilir. Bu hesaplanan zaman ve bilinen hız ile yansıma yapan hedefin mesafesi bulunabilir [14]. Bu durum Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Enerjinin İletken Yüzeyden Yansıyarak Kaynağa Geri Dönmesi [15].

Üçüncüsü “Elektromanyetik enerji düz bir hat boyunca ilerler.” Elektromanyetik enerji, hava ve atmosfer koşullarına bağlı olarak küçük değişimler gösteren düz bir hatta ilerler. Enerjiyi odaklayan bir anten kullanılarak yön tespit edilebilir. Hedefin yönü, antenin tespit anındaki referans kuzeye göre konumu ile tespit edilir [14]. Şekil 2.9’da enerjinin düz bir hat boyunca ilerlemesi gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Enerjinin İletken Yüzeyden Yansıyarak Belli Bir Zamanda Kaynağa Geri Dönmesi [15].



Şekil 2.9. Elektromanyetik Enerjinin Düz Bir Hat Boyunca İlerlemesi [15].

Sivil Havacılıkta non-cooperative (bağımsız) ve cooperative (bağımlı) olarak kullanılan 2 tip gözetim sistemi mevcuttur [16]. Non-cooperative gözetim sistemleri uçakta herhangi bir teçhizata gerek kalmadan uçağın konum bilgisini sağlar. (PSR, SMR) Cooperative gözetim sistemlerinde ise yer istasyonundan yapılacak olan sorgulamaya uçakta bulunan teçhizat (transponder) yanıt darbesi üretmek zorundadır. (SSR, MLAT) Non-cooperative (Uçaktan bağımsız) olarak çalışan radarlarda elektromanyetik enerji yer

kaynağından yayıldıktan sonra bir hedef ile karşılaştığında, hedefe çarpan enerji tüm yönlerde saçılarak sadece küçük miktarda dalga hedeften kaynağa geri döner. Bu nedenle yer kaynağında çok zayıf sinyalleri algılayabilecek hassas alıcılara ihtiyaç vardır [13].

Elektromanyetik dalgalar, yayıldıkları ortamda dielektrik veya diyamanyetik sabitlerinden herhangi birinde büyük bir değişiklik olması durumunda yansımaya (saçılmaya) uğrarlar. Bu durum hava veya vakum ortamında bulunan katı bir nesnenin genellikle radyo (radar) dalgalarını yansıtacağı anlamına gelir. Özellikle elektriksel olarak iletken metal ve karbon fiber gibi malzemeler, gemi ve uçakların tespitinde radarın kullanımını uygun hale getirir. Askeri uygulamalarda, radar yansımalarını azaltmak için, dirençli ve manyetik malzemeler içeren radar soğurucu maddeler kullanılır.

Radar dalgaları, dalga boyuna ve hedefin şekline bağlı olarak farklı yönlerde saçılırlar. Dalga boyu hedef boyutuna nazaran çok küçük ise, radar dalgası, ışık dalgasının bir aynadan yansıması gibi yansıtılacaktır. Dalga boyu, hedef boyutundan çok büyükse; hafif yansıtma nedeniyle hedefin görülmesi mümkün olmayabilir. Düşük frekans radar teknolojisi hedef tespiti için, hedefin tanımlanmasından ziyade rezonansa bağlıdır. Bu, gökyüzünün mavi ve gün batımının kırmızısını oluşturan etki olan rayleigh saçılması ile açıklanabilir. İki uzunluk ölçüsü karşılaştırılabilir olduğu zaman, orada bir rezonans meydana gelir. Modern radarlar birkaç cm civarında küçük dalga boyları kullanırken, eski nesil radarlarda büyük dalga boyları kullanılmakta ve oldukça belirsiz radar geri dönüşleri elde edilmekteydi [14].

Kısa radyo dalgaları, köşelerden ve eğri yüzeylerden yansıma yapar. Kısa dalga boyları için en yansıtıcı hedeflerin, yansıtıcı yüzeyleri arasında 90° açısı vardır. Tek bir köşede birleşen 3 düz yüzeyden oluşan bir yapı, dalgaları her zaman geldiği yönde kaynağa geri yansıtacaktır. Köşe yansıtıcıları da adı verilen bu yansıtıcılar, özellikle küçük botlar gibi tespiti zor olan hedeflerde kullanılarak, bunların da radar tarafından tespiti sağlanmaktadır [13].

Radar Kesit Alanı, hedefin radar alıcısı yönündeki yansıtma yeteneğinin ölçümüdür. Yani steradyan (birim katı açı) başına hedeften radara doğru yansıyan gücün, hedef tarafından alınan toplam sinyal gücüne oranının ölçümüdür [17].

Radar kesit alanı kavram tanımında, yayılan enerjinin tamamının hedef üzerine düşmediği gerçeğini de içerir. Hedefin radar kesit alanını (σ) öngörülen kesit, yansıtma yeteneği ve yönlülük olmak üzere üç temel faktörün çarpımı ile elde edilir. Burada yansıtma, hedef tarafından alınan gücün geri yansıtılma oranını ifade eder. Yönlülük, radar yönünde

yansıtılan sinyal gücünün, uniform olarak tüm yönlerde saçılan güce oranı radar kesit alanında, hedefin radar tarafından ne kadar tespit edilebildiğinin bir göstergesidir. Büyük radar kesit alanına sahip bir nesne radar tarafından daha kolay tespit edilecektir.

Radar dalgaları bir hedefe çarptığı zaman bu enerjinin yalnızca küçük bir kısmı geri yansıtılacaktır. Radara geri dönen bu enerjiyi belirleyen birçok faktör vardır. Bunlar;

- Hedefin yapıldığı madde
- Hedefin mutlak büyüklüğü
- Hedefin nispi büyüklüğü (radar dalgasının dalga boyuna göre)
- Çarpma açısı (hedefin şekli ve radar kaynağına olan konumuna bağlı olarak radar huzmesinin hedefe çarpma açısı)
- Yansıtma Açısı (yansıtılan sinyalin hedefle yaptığı açı, çarpma açısına bağlıdır)
- Radar verici gücü
- Verici-Hedef-Alıcı arasındaki mesafedir.

Vericinin gücü ve mesafesi hedef tespitinde önemli iken, radar kesit alanı hedefin kendi özelliği olduğu için radar kesit alanı hesaplamasını etkileyen faktörler değildir.

2.3.2.MLAT

MLAT (Multilateration), hava aracının pozisyonun, hava aracı transponderinden gönderilen sinyalin yerde kurulu 3 ya da daha fazla alıcı istasyona varış zamanlarından faydalanılarak belirlenmesine dayanan bir tekniktir. Pist, taksi yolu, apron, park yeri vb. Meydan Kontrol Kulesi tarafından takip edilmesi gereken sahalardaki hareketi her saniye yenileyerek hava araçları ve transponder taşıyan araçların pozisyonlarını belirler. Ayrıca WAM (Wide Area Multilateration) ile havadaki transponder taşıyan araçların da pozisyonunu belirlemek mümkündür.

Hedefe bağımlı (Co-operative) olarak çalışan sistemlerdir. Havalimanı çevresine kurulmuş ve omni-directional olarak çalışan çok sayıda MLAT sensörlerinden oluşmaktadır.

Alıcı istasyonlar hiçbir şekilde sorgulama yapmazlar. Sadece araçlarda squid ve uçaklarda transponderlardan gelen 1090 MHz deki sinyalleri alırlar ve işlenmesi için merkeze gönderirler. İletim daima tek yönlüdür. Alıcı istasyonlarında tek anten kuruludur.

Alıcı-verici istasyonlarından birincisi alıcı, diğeri verici olmak üzere 2 adet anten kuruludur. Alıcı bölümü alıcı istasyon ile aynı şekilde çalışır. Verici bölümü ise gerektiği zaman 1030 MHz’de sorgulama yapar. Çift yönlü veri akışı mevcuttur. Verici modülü aynı anda 1090 MHz’de sinyal göndererek referans transponder olacak şekilde kullanılmakta ve sistemin kendi kendini kalibrasyonuna yardımcı olmaktadır [13]. Esenboğa havalimanında tesis edilen MLAT anten istasyonu Şekil 2.10’da gösterilmiştir. Genellikle MLAT sistemi SMR sistemi ile beraber tesis edilir. MLAT ve SMR sistemine A-SMGCS denir.



Şekil 2.10. Esenboğa MLAT Anten İstasyonu [13].

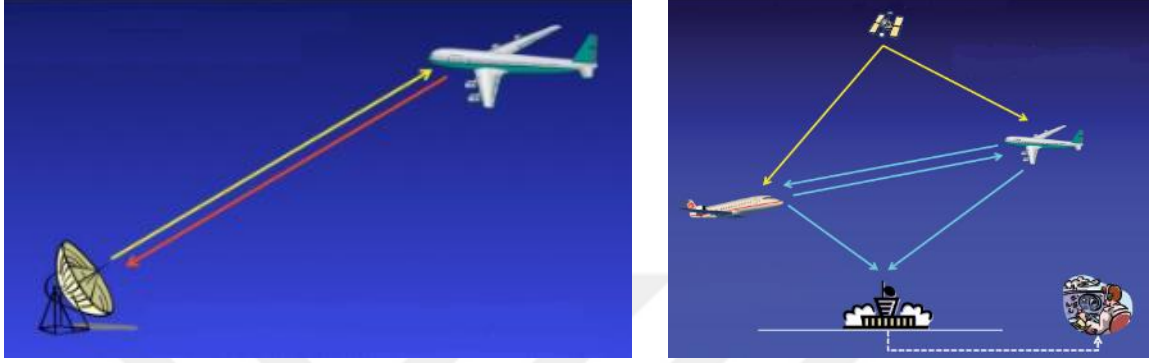
2.3.3. ADS-B ve ADS-C (Otomatik Bağımlı Gözetim)

ADS (Otomatik Bağımlı Gözetim), ICAO tarafından şu şekilde tanımlanmaktadır: “Uçağın kendi on-board seyrüsefer sistemleri ile pozisyon sabitleme sistemlerinden elde ettiği kimlik bilgisi, dört boyutlu pozisyon bilgisi ve ilave diğer bilgilerin de içinde olduğu verilerin bir veri hattı aracılığıyla yayınlandığı bir gözetim tekniğidir.” [18].

ADS, tanımdan da anlaşılacağı üzere tamamen uçakta bulunan sistemler ile sağlanan veriye bağlıdır. Bu da konvansiyonel gözetim sistemlerinden temel farkıdır. ADS sistemi güvenilir bir veri hattı ile güvenilir ve hassas uçak seyrüsefer sistemleri gerektirir. ADS sistemi kapsamına uçakların yanı sıra yer araçları da girmektedir.

Tüm radar sistemlerinde uçağın pozisyonu yer sensörlerinde hesaplanırken, ADS sisteminde uçak içinde hesaplanmaktadır. ADS sistemi, yer ekipmanının rolünü ölçüm yapan bir sensörden bir basitçe yarı hava-yer veri hattı olan bir haberleşme sistemine dönüştürmektedir [13]. Şekil 2.11’de ADS sisteminin RADAR sistemi ile karşılaştırılması görülmektedir.

ADS sistemi uçaktan bilgi elde edilmesi ve gözetim bilgisinin uçak-yer yanı sıra uçak-uçak arasında da sağlanması nedeniyle, potansiyel yeni gözetim uygulamalarına olanak sağlamaktadır. ADS, genellikle kabin ekibinin bir müdahalesini gerektirmez.



Şekil 2.11. ADS Sisteminin RADAR Sistemi ile Karşılaştırılması [19].

ADS-B sistemleri için kullanılmak üzere 3 teknoloji bulunmaktadır:

1. 1090 MHz Mode S Extended Squitter: Uçak düzenli olarak pozisyon, kimlik ve diğer bilgileri de içeren bir dizi “extended squitter” mesajı yayınlar. Extended Squitterlar SSR frekansında yani 1090 MHz frekansında iletildiğinden, 1090 MHz Extended Squitter olarak adlandırılırlar.
2. VDL (VHF Digital Link) Mode 4: VDL Mode 4 bir slotlu veri haberleşme yapısının kullanıldığı STDMA (Self-Organising Time Division Multiple Access) sisteminden yola çıkılarak geliştirilen bir veri haberleşme sistemidir.
3. UAT (Universal Access Transceiver): UAT, 1.041667 Mbit/s modülasyon oranı ile 978 MHz frekansında çalışan bir yayın veri hattıdır.

Mode S ES ve UAT sistemleri tek bir frekans bandında (Extended Squitter 1090 MHz ve UAT 978 MHz) çalışırken VDL Mode 4’de 118-137 MHz aralığı kullanılır. Tüm sistemler uçakta ilave donanım gerektirir.

VDL Mode 4 ile UAT timeslot yapısını kullanarak frekansa erişimi kontrol ederken, Mode S ES’ler herhangi bir koordinasyon olmaksızın yayınlanır. Mode S ES ve UAT’de

sabit ADS-B raporlama oranları varken, VDL Mode 4’de bu oran operasyonel ihtiyaca göre değişmektedir [13].

ADS, gözetim prensibini ATC hizmet sağlayıcının kontrolünün altındaki yer sensörlerinin bir fonksiyonu olmaktan çıkarıp, tamamen uçak sistemlerine güvene dayalı bir hale getirmektedir. SSR sistemine özel bir durum ise, SSR sisteminde irtifa bilgisi uçak sistemlerinden sağlanmaktadır.

Konvansiyonel radar gözetiminde, performans gereklilikleri yer sensörlerine dayanır. ADS sisteminde ise sistem performansı uçak sistemleri ile haberleşme veri hattına bağlıdır. ADS, radar gözetiminde karşılaşılan birçok sınırlamanın üstesinden gelebilir. Ancak, ADS sisteminin de bazı problemleri bulunmaktadır.

ADS sistemi hava-yer gözetiminde (yer sistemleri ile uçağın gözetimi), hava-hava gözetiminde (yer altyapısı olmaksızın uçakların birbirini gözetimi) ve yer-yer gözetiminde (yerde bulunan uçakların yer sistemleri tarafından gözetimi) kullanılır.

ADS, aynı zamanda gate-to-gate konseptine uygun olarak, uçağın ilk hareketine başladığı andan itibaren, tekrar inişine kadarki tüm uçuş aşamalarını da kapsayacak şekilde bir gözetim kaplaması sağlayabilir. ADS sisteminde, uçak gözetim mesajı “pozisyon raporu” olarak adlandırılır ve “uçak kimliği”, “3-D pozisyon”, “Timestamp”, “Seyrüsefer Figure of Merit’i (FOM) (Seyrüsefer sistem hassasiyeti)”, “hava hızı” ve “uçuş başı” bilgilerini içerir.

Avrupa’da ADS-B uygulamaları için CRTISTAL (Co-opeRative ValidatIon of Surveillance Techniques and AppLications of ADS-B) projeleri başlatılmıştır.

Şekil 2.12’de ADS sisteminin Avrupa ülkeleri tarafından kullanma aşaması görülmektedir. Mavi ile işaretli ülkeler CRISTAL ADS-B projesi ile ilgilidir. Yeşil renk, hava yolları tarafından ADS-B istenen yerleri göstermektedir. Kırmızı renkler, ADS-B uygulaması planlanan yerleri göstermektedir. Sarı renk, ADS-B test edildiği yerleri göstermektedir.



Şekil 2.12. ADS sisteminin Avrupa’da Kullanımı [20].

ADS-C, uçaktan pozisyon, kimlik ve diğer bilgilerinin iletiminin sadece bir yer istasyonuna yapılmasını gerektirir. Tüm ADS-C haberleşmesi her zaman point to point haberleşme olup, her zaman iki uç arasında yapılır (uçak ve yer istasyonu). ADS-C yer fonksiyonları ile uçak arasındaki iki yönlü haberleşme akışına dayanır.

Pozisyon raporlarının hangi durumlarda ne sıklıkla iletileceğinin kontrolü için yer istasyonu tarafından bir kontrat kullanılır. Kontrat yer istasyonu tarafından başlatılır ve her iki tarafça da kabul edilmelidir. Kontrat, yer istasyonunun veri gerekliliklerini (veri ve yer istasyonuna gönderilme sıklığı) belirlemesine olanak sağlar. Bir uçak aynı anda farklı yer istasyonları ile farklı kontratlara sahip olabilir.

Noktadan noktaya bir veri hattı kullanıldığından, veri hattı haberleşmesinde bir kayıp olmadıkça her ADS-C mesajının alımı garanti olup alınan mesajlar güvenilirdir. ADS-C kullanıcıları, verinin alıcı tarafına iletilip iletilmediğine dair bilgi sahibi olacak veya haberleşme hattında bir sorun olması halinde uyarılacaktır [13].

2.3.4. AMAN ve DMAN

Geliş Yöneticisi (AMAN), trafik yükü fazla olan havalimanlarında kullanılan bir planlama aracı olup, inişe gelen trafiklerin sıralanmasında ve aralarında gerekli olan ayırmaların tesis edilmesinde yaklaşma kontrolörüne yardımcı olan bir dizi fonksiyondan meydana gelir.

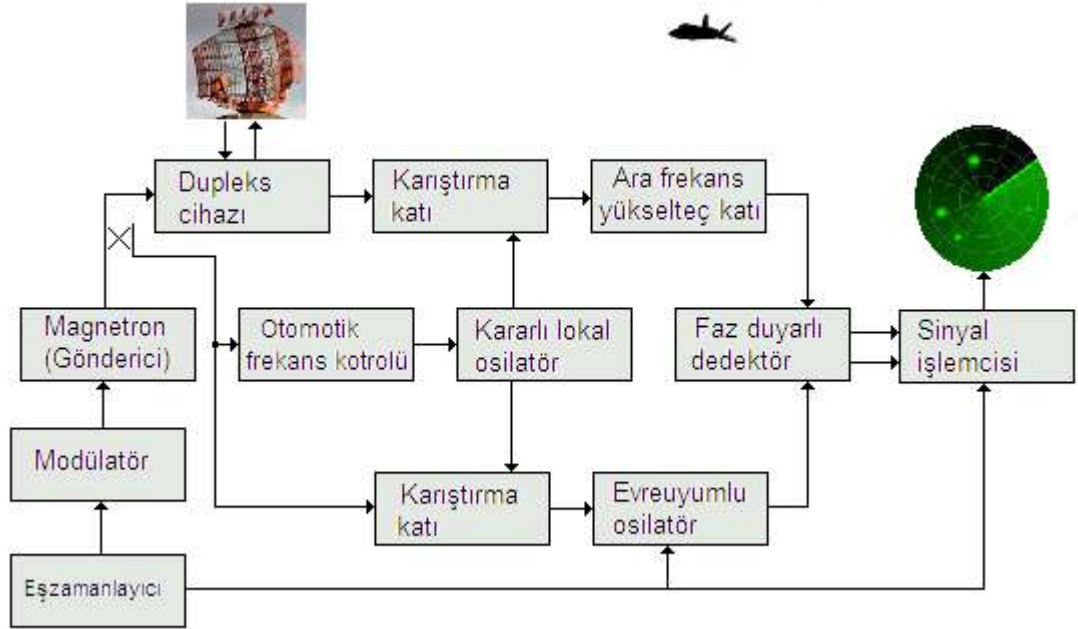
AMAN sistemi, FDP (Uçuş Bilgi İşleme) ya da AFTN sisteminden aldığı uçuş planları, RDP (Radar Bilgi İşlem) sisteminden aldığı pozisyon bilgileri ve veri tabanında bulunan uçak performans bilgilerini kullanarak, ayırma ve kapasite faktörlerini de dikkate alarak uçakların pist başında ya da belirli waypoint'lerde olacakları zamanları hesaplar. Buna göre sıralama yapar. Bu sıralama neticesinde uçakların istenen zamanda olmaları için gereken gecikme/hızlanma tavsiyelerini üretir [12, 13].

Kalkış Yöneticisi (DMAN), havaalanlarındaki kalkış trafik akışını arttırmak amacıyla geliştirilmiş bir planlama aracıdır. DMAN, var olan kısıtlama ve tercihleri de dikkate alarak TTOT (Uçak Kalkış Zamanı) ve TSAT (Uçak Motor Çalıştırma Onay Zamanı) değerlerini hesaplar. DMAN pistin optimum kullanımı amacıyla planlı bir kalkış trafik akışı sağlar, bekleme noktasındaki kuyrukları azaltır ve sonuçları havaalanındaki paydaşlara (havayolları, handling şirketleri, ATC vb.) dağıtır [12, 13].

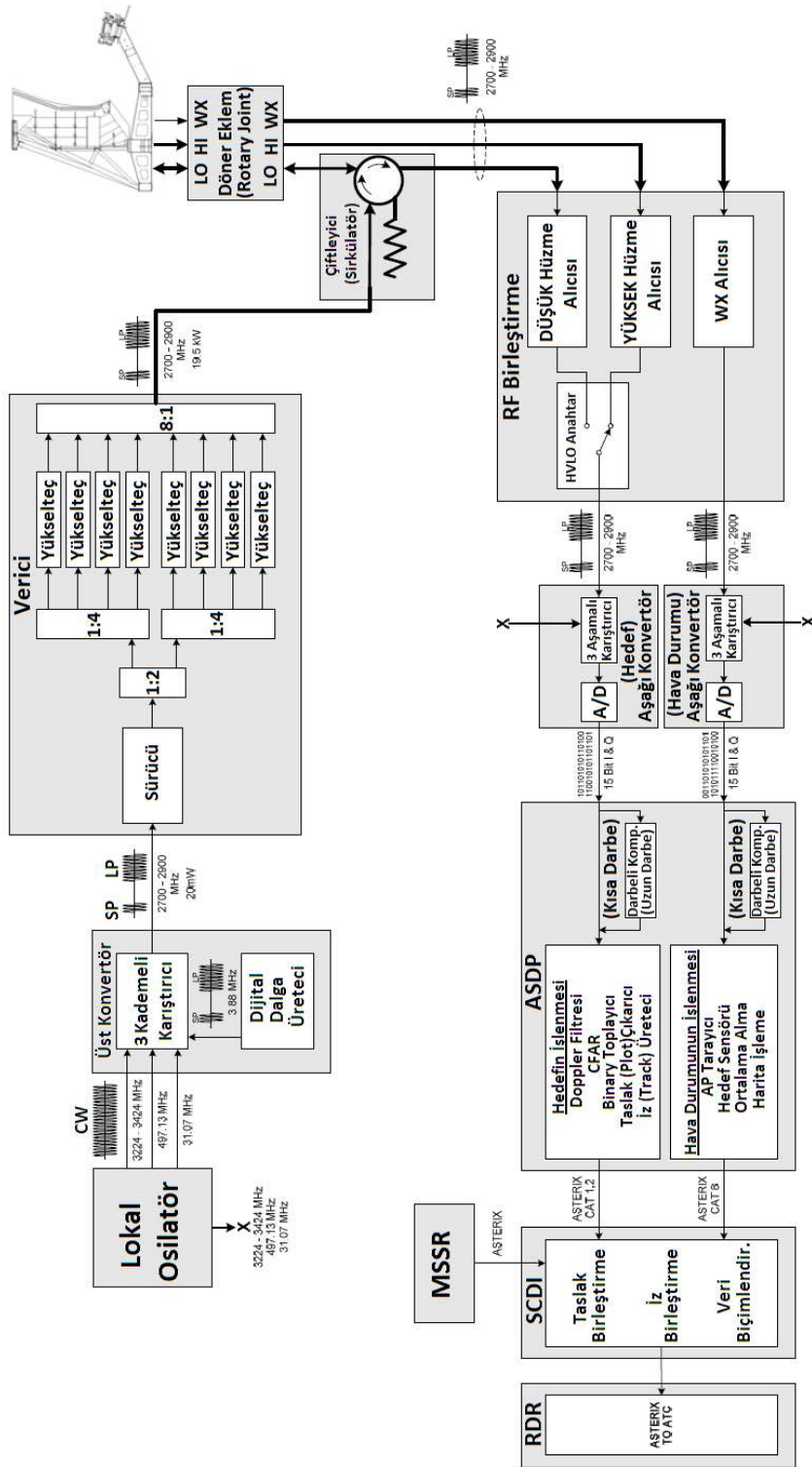
3. BİRİNCİL GÖZETİM RADARI (PSR)

3.1. PSR'ın Çalışma Prensibi

PSR, yer istasyonundaki kendi eksenini etrafında 360 derecelik dönüş yapabilen bir anten yardımı ile yüksek hızda havaya elektromanyetik radyo dalgaları gönderen bir radar sistemidir. Bu radyo dalgaları karşılaştıkları herhangi bir hedeften yansıyarak antene geri döner ve antendeki özel bir alıcı tarafından işlenir. Işık hızında hareket eden darbelerin gönderilme zamanı ve bir hedeften yansıyarak geri dönme zamanına göre, hedefin yerini ve mesafesini radar ekranı üzerinde gösterir. Eğer hedef hareket ediyorsa; anten, her dönüşte hedefin pozisyonunu yeniler ve bu şekilde hedefin yönünü de belirlemiş olur. Ekranda görünen pozisyon, uçağın gerçek pozisyonu ya da gerçek pozisyonuna çok yakındır [13, 14]. Bu yüzden hem sivil hem de askeri radarların temelini oluşturur. Şekil 3.1'de bir PSR'ın blok şeması verilmiştir.



Şekil 3.1. PSR'ın Blok Diyagramı[14].

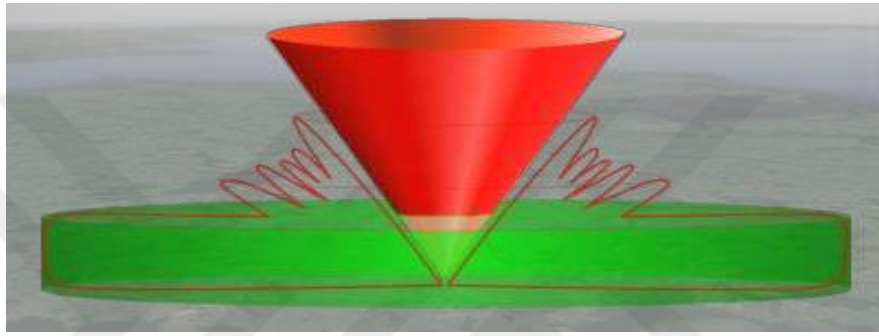


Şekil 3.2. PSR'in Sinyal Akış Şeması [21].

Bu radar sistemi birçok bölümden oluşan yer sistemlerinden meydana gelir. Şekil 3.2'de bir PSR'ın sinyal akış şeması ve çalışma prensibi görülmektedir. Hava aracında herhangi bir sisteme gerek yoktur. Yerden gönderilen darbelerin hedefin yüzeyine çarpıp

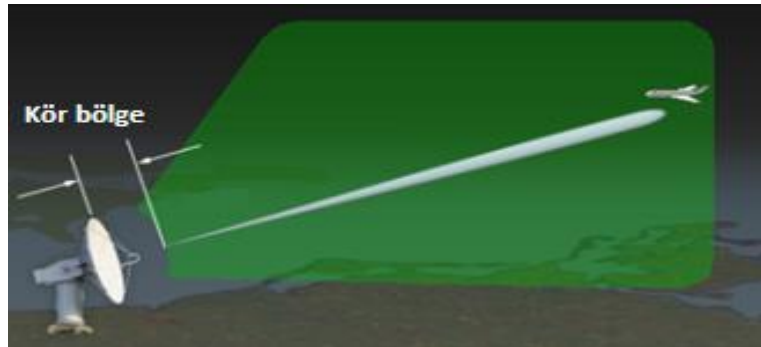
geri dönmesi mantığı ile çalıştığı için, bu yüzeyin büyüklüğü ve düz olması radarın performansını direkt olarak etkilemektedir.

Çok küçük uçaklar radarda görünmeyebilir. Hayalet uçakların yüzeylerinde bulunan keskin kırıklar da darbelerin çarptığı yüzeyi çok küçülttüğü için radarda görülme ihtimali azalır. Şekil 3.3’de görüldüğü gibi sessizlik konisi diye adlandırılan bölgenin etrafında ki alan içerisinde tüm uçaklar algılanır [22].



Şekil 3.3. PSR'in Çalışma Bölgesi [13].

PSR’da ayrıca Şekil 3.4’de gösterildiği gibi hedefin algılanamadığı bir kör aralık bulunmaktadır. Yatay menzil 50 - 80 NM (100 - 150 Km), düşey menzil 20.000 - 32.000 ft (7 - 11 Km) arasında, verici gücüne bağlı olarak değişebilir.



Şekil 3.4. PSR'ın Kör Bölgesi [13].

Uzun menzilli radarlarda verici gücü 1-2 MW, orta menzilli olanlarında birkaç yüz kW’tır. Hata toleransı uzaklıkta 0,1-0,2 NM, yönde 1 dereceden çok daha azdır.

Gözetilmek istenen hedefin (uçanın vs.) üzerinde herhangi bir teçhizat bulunmasına ihtiyaç duyulmadan yapılan gözetime, işbirliğine dayanmayan (non-cooperative) gözetim denir [23]. Radar tarafından uzaya yayınlanan radyo sinyalleri, herhangi bir engele veya hedefe çarptığında yansımaya uğrar. Söz konusu yansıyan sinyallerin bir kısmı, geri doğrultuda, radyo sinyallerinin kaynağı olan radar istikametine yol alırlar. İşte bu sinyaller, radar sisteminin alıcı katında yükseltildikten sonra değerlendirmeye tabi tutulur. Gönderilen sinyalin uzaya çıktığı an ile yansıyan (eko) sinyalin geri alındığı an arasındaki zaman farkı bize hedefin uzaklığı hakkında fikir verir.

3.2. PSR Karakteristikleri

Radar eşitliği; izotropik bir antenden yayılan güç P_t ise, bu antenden R uzaklığındaki güç yoğunluğu, toplam gücün R yarıçaplı kürenin yüzey alanına ($4\pi R^2$) bölünmesi ile bulunur.

$$P_d = \frac{P_t}{4\pi R^2} \text{ W / m}^2 \quad (3.1)$$

Radarlarda yönlü anten kullanıldığı için çıkış gücü belirli bir yönde yoğunlaştırılır. Bu özellik anten kazancı olarak ifade edilir. Belirli bir yön için yönlü anten kullanıldığında oluşan güç yoğunluğunun aynı noktada izotropik antenin oluşturduğu güç yoğunluğuna oranı ile verilir.

$$G = \frac{\text{Yönlü antenin maksimum enerji yoğunluğu}}{\text{Isotropik antenin maksimum enerji yoğunluğu}} \quad (3.2)$$

Bu durumda yönlü antenden R uzaklığındaki bir noktada enerji yoğunluğu (3.1) ve (3.2)'den

$$P_d = \frac{P_T \cdot G}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \quad (3.3)$$

Hedef, bu enerjinin bir miktarını alır. Çeşitli yönlerde enerjiyi yayar. Radar sistemi, hedeften yayımlanan bu enerjinin sadece kendi yönünde olan kısmı (eko sinyali) ile ilgilenir. Hedefte oluşan belirli bir enerji miktarına karşılık hedeften radara dönen enerji yoğunluğuna hedefin “radar kesit alanı” (σ) denir [17].

$$\text{Radara geri yansıyan enerji} = \frac{P_T \cdot G}{4 \pi R^2} \cdot \frac{\sigma}{4 \pi R^2} \quad (3.4)$$

Radar anteni, yansıyan bu eko enerjisinin bir miktarını alır. Radarda alınan enerji; anlık enerji yoğunluğu ile antenin etkin alanı (A_e) çarpılarak bulunur.

Antenin etkin alanı; Antenin fiziksel alanı ile antenin açıklık verimi çarpılarak bulunur.

$$A_e = \rho_a \cdot A \quad (3.5)$$

Böylece Radarda alınan sinyal gücü,

$$P_r = \frac{P_t \cdot G_t}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \cdot \frac{\sigma}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \cdot A_e = \frac{P_t \cdot G_t \cdot A_e \cdot \sigma}{(4 \cdot \pi)^2 \cdot R^4} \quad (3.6)$$

Radara bir hedefi tespit edebileceği maksimum uzaklık tespit edilebilir. Bu durum minimum sinyal gücü kullanılarak bulunur. Bu ifade radar eşitliğini oluşturur.

$$R_{\max} = \left(\frac{P_T \cdot G \cdot A_e \cdot \sigma}{(4\pi)^2 \cdot S_{\min}} \right)^{1/4} \quad (3.7)$$

Sinyal yayını ve alımı için aynı anten kullanılırsa, anten teorisine göre antenin yayını kazancı ile etkin alanı arasındaki ilişki;

$$G = \frac{4\pi \cdot A_e}{\lambda^2} = \frac{4\pi \cdot \rho_a \cdot A}{\lambda^2} \quad (3.8)$$

formülü ile verilir. Burada λ , dalga boyunu ifade etmektedir. Böylece radar eşitliğinin ikincil formları bulunabilir [23].

$$R_{\max} = \left(\frac{P_T \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{(4\pi)^3 \cdot S_{\min}} \right)^{1/4} \quad \text{veya} \quad R_{\max} = \left(\frac{P_T \cdot A_e^2 \cdot \sigma}{4\pi \cdot \lambda^2 \cdot S_{\min}} \right)^{1/4} \quad (3.9)$$

Radar menzili; radar sisteminin serbest uzayda hedefleri gösterebildiği mesafedir. Radar, uzaydaki bir nesnenin varlığını açığa çıkarmak amacıyla kodlu veya kodsuz uzaya bir işaret göndermek zorundadır. Bu işaretin gönderilme zamanı, sorgulama zamanıdır. Her sorgulamadan sonra, dinleme zamanı başlar. Birincil radarlar, sorgulama zamanında kodsuz bir elektromanyetik dalga darbesini uzaya gönderirler. Gönderilen bu elektromanyetik dalgalar cisimlere çarparak yansıma yaparlar. Yansıyan dalgaların bir kısmı radar antenine geri gelir. Buradan alıcı devrelerinde dedekte edilirler. Elektromanyetik dalganın antenden

çıkışı ile cisimden çarparak radar antenine geliş süresi ışık hızı ile orantılıdır. Buradan cismin radara uzaklığı:

$$\text{Uzaklık(m)} = \left(\frac{\text{Radar anteninden çıkıp hedeften yansıyan dalgaların geliş süresi}}{2} \right) \cdot (\text{Işık hızı}) \quad (3.10)$$

formülü ile tespit edilir. Bir radarın menzili, verici gücüne, anten kazancına, alıcı duyarlılığına ve sorgulama darbeleri arasındaki zamana bağlıdır [24].

Radar çözünürlüğü, radarın hedefleri ayrıntılı olarak gösterme yeteneğidir [25]. Radarların uzaklık çözünürlüğü ve açısal çözünürlük olmak üzere iki tip çözünürlük özelliği vardır. Radar antenini merkez olarak alan radyal doğru üzerindeki iki hedefin, radar tarafından ayırt edilebildiği en küçük aralığa, uzaklık çözünürlüğü denir.

$$\text{Radar Uzaklık Çözünürlüğü(m)} = \text{Darbe Genişliği (s)} \times \text{Işıkhızı} \left(\frac{m}{s} \right) / 2 \quad (3.11)$$

formülü ile bulunur. Burada darbe genişliği, radarın uzaya gönderdiği elektromanyetik dalganın gönderilme süresidir.

Radar antenini merkez almak üzere çizilen çemberlerden birisi üzerinde yer alan iki hedef arasındaki uzaklığın, radar tarafından ayırt edilebildiği en küçük değerine radar açısal çözünürlüğü denir. Açısal değer olarak verilir. Açısal çözünürlük, radar anteninin yayın açısına (hüzme genişliğine) bağlıdır.

Kapsama alanını, radarın yerleştirilmiş olduğu konuma ve hedeflerin bulunduğu seviyelere bağlı olarak, hedefleri tanıyabildiği alan olarak tarif edilebilir[14]. Kapsama diyagramları, genel olarak seviyelere göre verilirler. (Örnek 30.000 feet kapsama diyagramı gibi.) PSR'ların hedefleri tanıma özellikleri, hedefin radar tarafından görülen yüzeyinin genişliğine bağlı olduğundan, kapsama diyagramları çıkarılırken belirli bir yüzey kesitinin referans alınması gereklidir. (Örneğin 1,5 metrekairelik görünüş yüzeyi olan bir hedef gibi.)

Radarlar, hedefin yerini tespit ederken iki veriyi elde ederler. Bunlar hedefin uzaklığı ve hedefin açısıdır. Hedefin açısı radar anteninin dönmesi ile tespit edilir. Radar anteni 360 derecelik bir açıyla döndüğü zaman tüm çevreyi taramış olur. Antenin dönüş anındaki durumlarının açısal değerlerinin tespiti için "kuzey" denilen bir referans bilgisine ihtiyaç vardır. Bu referans bilgisi encoder denilen elemanlarla elde edilir.

Bir radar sisteminin hedefi tespit edebilmesi için, hedef üzerine sorgulama işaretini göndermesi gereklidir. Yapılan bu sorgulama neticesinde hedefin varlığı ve yeri tespit edilmiş olur. Yeri tespit edilmiş olan hedefin, radar ekranında gösterilebilmesi için hedefin uzaklık ve açı bilgisinin birçok işlemten geçmesi gerekir.

Radar anteninin dönüş hızı ve radar bilgilerinin işlem hızına bağlı olarak, radar ekranındaki hedef izleri kesik kesik olarak izlenir. Hedef izlerinin ekran üzerinde belirdiği ilk an, bilginin en taze olduğu andır. Yani hedefin (uçanın) gerçek pozisyonunu en doğru bildirildiği andır. İkinci bilgi gelinceye kadar, ekrandaki bu bilginin doğruluğu zaman aşımına uğrar. Hedeflerin radar ekranında en doğru biçimde gösterildiği anlar arasındaki süreye "tazeleme süresi", bir dakikadaki tazeleme sayısına da "güncelleme hızı" denir.

Yaklaşma radarlarının güncelleme hızlarının yüksek olması gerekir. Çünkü bu bölgede uçakların hareketleri daha fazla ve birbirleriyle yakınlıkları daha hassastır.

Radar anteninin her dönüşünde, kapsama alanı içerisindeki hedefleri görmesi (algılaması) beklenir. Fakat bu durum her zaman gerçekleşmez. Çünkü doğal ortam çeşitli kaynaklardan gelen elektromanyetik dalgalarla doludur. Kaynaklarını kesin olarak bilemediğimiz bu dalgaların oluşturduğu ortam gürültüsüne kısaca elektromanyetik alan gürültüsü denir. Radarın bir hedefi ayırt edebilmesi için, hedeften alıcıya gelen yansımış elektromanyetik dalgaların şiddetinin, elektromanyetik alan gürültüsünden arındırılabilir derecede yüksek olması gereklidir.

Hedeften yansiyarak gelen sorgulama sinyallerinin, gürültüden arındırılarak dedekte edilebilmesi için, en önemli oran sinyal/gürültü oranıdır. Sinyal/gürültü oranı, radarın verici gücüne, anten kazancına ve alıcısının özelliklerine göre değişir. Darbe tekrar frekansı,

$$PRF \text{ (Hz)} = \frac{\text{Dedekte Edilen Hedef Sayısı}}{\text{Dedekte İşlem Sayısı}} \times 100 \quad (3.12)$$

formülü ile bulunur [23].

Radar vericisinden bir saniyede gönderilen toplam darbe sayısıdır. PRF yükseldikçe, menzil azalır. Hüzme genişliği, antenin ana ışıma hüzmesinin genişliğidir. Hüzme genişliği azaldıkça menzil artar. Ancak, hedef üzerindeki sorgulama sayısı (anten hüzmesi hedef üzerinden geçerken hedefe yapılan sorgulama) azalır. Ayrıca, hüzme açısı daraldıkça, açısal çözünürlük iyileşir.

Vericiden gönderilen iki elektromanyetik darbe arasındaki süreye ise (darbelerin başlangıçları arasındaki süre) “ Darbe Tekrarlama Süresi" (PRT) denir [23].

$$PRF \text{ (Hz)} = 1/PRT(s) \quad (3.13)$$

bağıntısı vardır. Anten kazancının frekansla değişmediğini kabul edersek, radar uzaklık denklemi uyarınca;

$$R = \left(\frac{P_t \cdot G \cdot A_e \cdot \sigma}{(4 \cdot \pi)^2 \cdot k \cdot T_0 \cdot B \cdot F_n \cdot L} \right)^{1/4} \text{ m} \quad (3.14)$$

frekans arttıkça menzil düşer.

Radar menzili (3.14) ifadesinden de anlaşılacağı gibi radarın verici gücü ile doğru orantılıdır. Ancak bu orantı gücün üstel olarak 1/4 katı ile değişir. Yani menzili 2 kat artırmak için gücü 16 kat artırmak gerekir.

Doppler etkisi, günlük hayatta her gün karşılaşılabilen farkında olmadan gerçekleşen bir durumdur. Hareketli bir nesneden bir ses üretildiği veya bu nesneden yansıtıldığı zaman oluşur. Hareketli bir nesneden yansıma olduğu durumda, hedef hareket ettikçe, ses dalgaları hareket yönüne bağlı olarak sıkışacak veya genişleyecektir. Bu ses dalgalarının frekansını değiştirecektir [24].

Hedefin hızı ve sesin frekansı bilinirse, doppler kayması şu şekilde hesaplanır:

$$\text{Dalga boyu, } \lambda = \frac{c}{f} = \frac{(3.10^8 m/s)}{(2,7.10^9 Hz)} = 0,11m$$

Doppler Frekansı (Nesne 100 knot hızında hareket ettiği kabul edilirse)
(1 knot=0.514 m/s)

$$f_d = \frac{(2xHedef Hız)}{(Dalga Boyu)} = \frac{(2x51,4 m/s)}{0,11} = 934 Hz$$

Alınan cevap sinyalinin farklı doppler cevaplarına ayarlanmış çoklu filtrelerle uygulanması ile hareket etmeyen nesneler ayırt edilebilir.

Doppler etkisini kullanan bir radar sisteminde, hedef PRF'in katları şeklinde bir doppler frekansına sahipse, geri dönen sinyaller doppler dalga formunda hep aynı noktada olacaktır. Her darbe aynı genliğe sahip olacak ve kargaşa (dağınıklık, yankı) filtreleri tarafından elimine edilecektir. Radar bu doppler frekansına sahip hedeflere karşı "kör"dür.

$$\text{Kör Hız} = \frac{0,29.(PRF)}{f (GHz)} \quad (3.15)$$

Kör hızları önlemenin en basit yolu her bir sorgulamada PRF frekansının değiştirilmesidir [23].

Anten kazancı verici ve alıcı için aynıdır [26].

$$\text{Anten Kazancı} = \frac{4.\pi.(Anten Alanı)}{\text{Dalga Boyunun Karesi}} \quad (3.16)$$

Fiziksel olarak, (3.13) formülündeki tespit edilen hedef sayısının darbe genişliğinin artması ile büyümesinden dolayı uzaklık çözünürlüğü ile tespit olasılığı (PD) değeri arasında doğru orantı mevcuttur. Yani; uzaklık çözünürlüğü arttıkça, PD (Tespit Olasılığı) değeri artar. Ancak burada uzaklık çözünürlüğü ayırt edilebilen en küçük mesafe olarak verildiğinden, değeri arttıkça kalite kaybı anlamını taşımaktadır. Çözünürlüğün diğer bir

tanımı da belirli bir alandaki ayırt edilebilir nokta sayısıdır. Bu tanım "uzaklık çözünürlüğü" ile tamamen ters orantılı değişkenlik göstermektedir.

Elektromanyetik dalgaların yayılımı, yağmurlu havalarda daha fazla zayıflatma olduğundan kısıtlanır, ayrıca "yağmur kargaşalıklığı" meydana gelir. Bu yüzden havanın nemli ve yağışlı olması durumlarında PD düşer.

PSR'ların frekansı, radar vericisinden ortama yayınlanan darbe modülasyonlu elektromanyetik dalganın taşıyıcı frekansıdır. Bu elektromanyetik dalgalar magnetron, klistron gibi lamba tipi elemanlarla üretilip antene sürülebileceği gibi, yarı iletken devrelerle üretilip güçlendirilerek de antene sürülebilmektedirler. Uluslararası kullanılan radar frekansları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Standart Radar Frekansları [27].

IEEE RADAR BANDLARI		ITU FREKANS BANDLARI		ORTAK KULLANILAN BANDLAR		NOMİNAL BANDLAR	
Band Adı	Frekans Aralığı (GHz)	Band Adı	Frekans Aralığı (GHz)	Band Adı	Frekans Aralığı (GHz)	Band Adı	Frekans Aralığı (GHz)
HF	0,003-0,03	HF	0,003-0,03	HF	0,003-0,03	A	0-0,25
VHF	0,03-0,3	VHF	0,03-0,3	VHF	0,03-0,3	B	0,25-0,5
UHF	0,3-1	UHF	0,3-3	UHF	0,3-1	C	0,5-1
L	1-2	SHF	3-30	L	1-2	D	1-2
S	2-4	EHF	30-300	S	2-4	E	2-3
C	4-8			C	4-8	F	3-4
X	8-12			X	8-12,4	G	4-6
Ku	12-18			Ku	12,4-18	H	6-8
K	18-27			K	18-26,5	I	8-10
Ka	27-40			Ka	26,5-40	J	10-20
mm	40-300			Q	33-50	K	20-40
				V	50-75	L	40-60
				W	75-110	M	60-100

Antenin bir dakikadaki dönüş hızı rotasyon hızı olarak tanımlanır. İyi bir radar data işlemci ve display sistemi, kendisine bağlı olan radar sensörlerinden, rotasyon hızı en yüksek olan anten sistemi kadar tazeleme hızına sahip olmalıdır. Rotasyon hızı arttıkça, hedef hareketlerini daha ayrıntılı izlemek mümkün olduğu halde uzak mesafelerde hedef yerinin

doğruluğu azalır. Bu sebeple, en-route radarlarının anten rotasyon hızları, yaklaşma radarlarına göre daha düşüktür.

3.3.En-Route İçin PSR Kullanımı

PSR'lar düşük menzilli radarlar olduklarından genellikle yaklaşma amaçlı kullanılırlar. İleride tamamen cooperative radarların kullanılması öngörülse de yeni bir teknoloji geliştirilene kadar güvenlik açısından PSR radarların yaklaşma amacı ile kullanılmaya devam edileceği düşünülmektedir. Bunun nedeni transponder cihazı bulunmayan veya cihazında herhangi bir sorun olan uçakların ne olursa olsun PSR radar tarafından görülmeye devam etmesidir. PSR genelde en-route hizmetlerinde kullanılmaz. Ancak bazı uygulamalarda (local emniyet ve güvenlik amacı ile) PSR radarların en-route hizmetinde de kullanılabildiği görülmüştür. Bu tür uygulamalarda ATC alanı kaplamasının sağlanması için çok daha fazla sayıda PSR kullanılması gerekmektedir. Eurocontrol standartlarına göre en-route hizmeti için minimum 2 SSR kaplaması, yaklaşma için ise 2 SSR ve 1 PSR kaplaması sağlanmak zorundadır. Ancak her hangi bir terörist saldırısı esnasında (11 Eylül saldırıları esnasında olduğu gibi) transponder kapatılabilmekte ve uçak ATC'de görülememektedir. Bundan dolayı yapılan Avrupa Sivil Havacılık Konferansında (ECAC) en-route veya yaklaşma hizmetinde non-cooperative sistemler kullanılması gerektiğinde yeni çözümler geliştirilene kadar PSR'ların kullanılması gerektiği ifade edilmiştir [13].

3.4. PSR Bileşenleri

3.4.1. Anten Elemanları ve Karakteristikleri

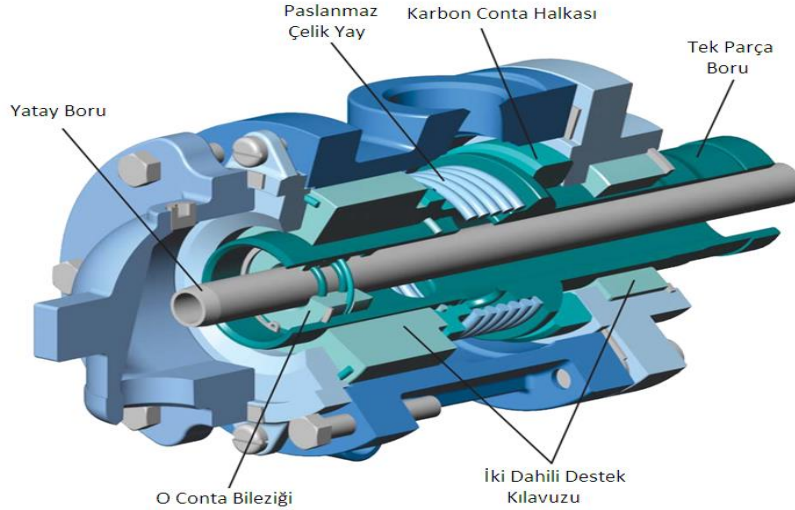
Anten ışıma diyagramları, bir antenin en önemli özelliklerinden biridir. Antenin en güçlü ışıma yaptığı doğrultudaki ışıma diyagramına "ana ışıma hüzmesi" denir[26]. Antenlerin ışıma diyagramları, yatay ve dikey kesitlerle gösterilir.

Bir antenin ana ışıma hüzmesinin yanlarında, "yan ışıma hüzmeleri" oluşur. Fiziksel nedenlerden dolayı oluşan yan ışıma hüzmelerini yok etmek mümkün değildir. Yan ışıma hüzmelerinin etkileri ancak sistem içerisinde özel devreler yapılarak devre dışı bırakılabilir.

Elektromanyetik dalgalar, antenin ışıma elemanından yayılırlar. Bunlar "dipol" eleman olabileceği gibi, elektromanyetik dalgaların ışıma yaptığı bir yarık veya açıklık da olabilir.

Reflektör antenlerde, elektromanyetik dalgaların, uzaya yayılışı, doğrudan ışıma elemanından olmaz [28]. Işıma elemanından veya açıklığından yayınlanan elektromanyetik dalgalar, antenin yansıtma yüzeyine gönderilir. Elektromanyetik dalgalar, bu yüzeyden yansıyarak uzaya dağılırlar. Yansıtma yüzeyinin şekli, antenin ışıma diyagramını şekillendirir. Yansıtıcı tip antenler; yüksek kazançlı, dar ışıma hüzmeli antenler elde etmeye uygundur. Yansıtıcı tip antenlere örnek olarak; uydu alıcı sistemlerinin antenleri, radyolink antenleri ve PSR radar antenleri verilebilir.

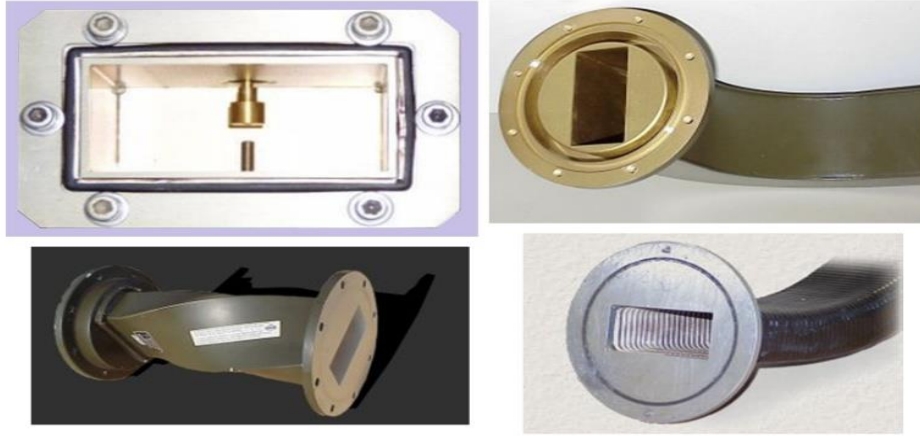
Radar anteni gibi mekanik olarak döndürülmesine ihtiyaç olan antenlerin, yerdeki sabit cihazlarla olan bağlantılarını sağlayan kablo veya kılavuzların bağlanabilmesi için döner bağlantılar kullanılır[14]. Döner bağlantılara (rotary joint) ait bir kesit görüntü Şekil 3.5’de verilmiştir. Dalga kılavuzları için, döner bağlantılar mekanik kuplaj (boşluğun korunarak bağlantının sağlanması) kullanıldığı gibi koaksiyel hatların kuplajı için manyetik kuplaj kullanılır.



Şekil 3.5. Döner Bağlantı (Rotary Joint) [14].

Dalga kılavuzları, yüksek frekanslı radyo dalgalarını iletmek için kullanılırlar. Radyo frekanslı işaretleri iletmek için koaksiyel kablo kullanıldığı gibi yüksek güçlü işaretleri

göndermek için dalga kılavuzları kullanılır [14]. Şekil 3.6’da farklı dalga kılavuzları görülmektedir. Dalga kılavuzlarının fiziksel yapılarına bağlı olarak iletebildikleri radyo frekanslı işaretlerinin bir alt kesim değeri vardır. Gönderilecek radyo dalgasının frekansı, bu dalga kılavuzu için hesaplanan kritik değerden yüksek olması gerekmektedir. Aksi takdirde işaret gönderilemez.



Şekil 3.6. Dalga Kılavuzları [14]

Radyo frekanslı işaretler, dalga kılavuzu içerisinde, elektromanyetik dalgaların uzayda yayılımına benzer bir biçimde ilerler. Yani elektromanyetik dalgalar, dalga kılavuzu (boru) içerisinde ilerlerken, kılavuz içindeki hava boşluğunu kullanırlar. Eğer bu boşluk nemli ise, bir miktar enerji nem içerisinde ısı enerjisine dönüşür. Kılavuzun iletkenliği azalmış olur. Bu durumun önlenmesi için dalga kılavuzuna kuru hava enjekte edilir. Böylece basınç farkından dolayı, dışarıdaki nemli hava ve suyun, herhangi bir biçimde kılavuz içerisine girmesi engellenmiş olur. Dalga kılavuzu içerisindeki havanın basıncı arttığından dolayı, içerideki havanın su buharı tutma özelliği azalmış olur. Neticede dalga kılavuzunun, elektromanyetik dalgaları daha az kayıpla iletmesi sağlanmış olur.

Radar sistemi, antenin ana hüzmeleri hedef üzerindeyken hedefin uzaklığını tespit edebilir. Bu durum hedefin yeryüzündeki konumunun belirlenmesi için yeterli değildir. Çünkü hedefin yeryüzündeki yerinin tam olarak bilinmesi için, hedefin uzaklığı tespit edildiği anda anten ana hüzmelerinin açılma konumunun da kaydedilmesi gereklidir. Belirli bir yönü referans alarak, antenin ana hüzmelerinin açısını belirleyen elemana encoder denir [29]. Şekil 3.7’de yeni nesil PSR’larda kullanılan encoderler görülmektedir.



Şekil 3.7. Encoder [14].

Encoder iki bilgiyi verir:

- Açı ölçümünün başladığı doğrultu (Kuzey Darbesi) bilgisi.
- Kuzey darbesinden sonra, anten durumunun bilinmesi için 360 derecelik açıyı ölçmeye yarayan açısal değişim darbeleri (ACP) bilgisi.

ACP bilgisi darbelerinin sayısı, radarın açısal çözünürlüğüne göre değişebilir. 4096, 8192 veya 16384 darbe tipik değerleridir.

Elektromanyetik dalgaların polarizasyonları, vektörel olarak E bileşeninin yeryüzüne göre durumu ile adlandırılır. Yeryüzüne dik veya yatay konumla ilerleyen elektromanyetik dalga polarizasyonuna lineer polarizasyon veya doğrusal polarizasyon denir. E bileşeni vektörü dalganın ilerleyiş yönüne göre, sağdan sola veya soldan sağa doğru dönerse bu elektromanyetik dalganın polarizasyonu "dairese polarizasyon" olarak adlandırılır [30].

Yağışlı havalarda, hedefe gönderilen ve hedeften gelen elektromanyetik dalgalar, yağmur tarafından etkilenirler, buna yağmur kargaşalıklığı denir. Yağmur kargaşalıklığının azaltılması için yağışlı havalarda doğrusal polarizasyon yerine dairese polarizasyon kullanılır. Çünkü yağmur içerisinde dairese polarizasyon, doğrusal polarizasyona göre daha az yağmur kargaşalıklığı etkisi oluşturur.

Radar anteni ana ışıma hüzmelerinin, hedef üzerinden düzgün olarak geçişi için, radar anteninin değişmeyen hızda döndürülmesi gereklidir. Eski tip radarlarda, asenkron motorlar kullanıldığı halde, günümüz radar sistemlerinde elektronik devir kontrollü Darbe genişlik modülasyon (PWM) tekniği ile çalışan motor sistemleri kullanılmaktadır [14].

Anten dönüş sürekliliğinin sağlanması için motor sürücülerini çift motorlu olarak da tasarlanabilirler. Motorlardan birisi arızalandığı zaman diğer motor anteni döndürmeye devam eder.

Sivil havacılıkta kullanılan radarlar hiç durmadan 24 saat esasına göre çalışırlar. Bu durum mekanik parçaların yağlanması ve dolayısıyla yağlama sistemlerini önemli hale getirir. Sistemin mekanik yapısı, anten motoru, devir azaltma dişli kutusu, ana anten dişlisi ve encoder dişlisinden oluşur. Bu parçalar sıvı ve katı yağlama sistemleri kullanılarak yağlanır.

Motorlar genellikle kendi iç yağlamaları katı tip yağlama (grease) ile çalışırlar. Kullanım talimatlarına göre bakımları yapılır ve yağlama periyotları çok uzundur. Devir azaltma dişli kutusu yağlaması, genellikle sıvı tip yağlama sistemine sahiptir. Anten dişlisi yağlama sistemi; sıvı veya katı tip yağlama sistemleri kullanılır. Encoder dişlisi genellikle katı tip yağlamalıdır ve yağlama periyodu uzundur. Sıvı tip yağlamalarda, yağ kaçaqları olabileceğinden, yağ seviyesinin kontrolü için, yağ seviyesi alarm sensörleri kullanılır. Katı tip yağlama için, zamana göre kendini boşaltan yağ kartuşları kullanılır.

3.4.2.Verici Elemanları ve Karakteristikleri

Bir PSR'ın en önemli özelliği faz uyumlu olmasıdır. Gönderilen sinyaldeki bir doppler frekans kaymasının algılanması için gönderilen sinyal ile yansıtılarak dönen sinyal arasında bir ilişki olmalıdır. Tek tek darbeler arasındaki faz kaymasının parazit etkisi yapan sabit hedeflerden ve gürültülerden ayırt edilmesi gerekir. Bu faz kaymasının algılanabilmesi için, gönderilen sinyaller ile dönüş hattındaki yansıma sinyallerinin referans frekansı arasında sabit bir faz ilişkisine ihtiyaç vardır.

Kendiliğinden salınan bir vericide, her gönderilen darbe rastgele bir fazda başlar. Bir faz kaymasının kanıtlanması için, yüksek kararlılıkta salınan bir başka osilatörün ürettiği sinyaller, gönderilen sinyalin fazıyla senkronize olur. Böylece faz ayırıcı devre için gerekli faz referansı sağlanır. Sonuçta sinyal alım aşamasında en son gönderilen darbenin fazı elde edilir.

Bir PSR radarında, gönderilen sinyaller ve yansıyan sinyallerin aynı frekansta olması ve bu iki olayın farklı zamanlarda meydana gelmesi nedeniyle, tek bir anten yeterli olmaktadır. Gönderme ve alma transferi için gerekli işlemler dupleks cihaz tarafından yapılır

[23]. Dupleks cihaz, anteni, sinyali gönderme süresi boyunca vericiye ve alım süresi boyunca ise alıcıya anahtarlar. Gönderim anında hassas alıcı girişlerinin yüksek verici gücünden korunması gerekir.

Karıştırma katı, alınan yüksek frekanstaki sinyalleri daha düşük, işlenmesi daha kolay ara frekansa dönüştürür [31]. Radarlarda bu ara frekans 30 MHz - 74 MHz arasındadır. Ara katta, alınan sinyal ile osilatör frekansı girişir ve bir fark sinyali oluşur. Karıştırma sırasında alınan sinyallerin genlik ve faz bilgileri kaybolmaz.

Karıştırılarak ara frekansa düşürülen sinyal, birden fazla ara frekans katında yükseltilir. Ara frekans yükselticisi, yükseltme işleminin önemli bir bölümünü alıcı devrelerinde gerçekleştirir. Alıcının band genişliği yine ara frekans yükselteci tarafından belirlenir.

Süperheterodin alıcılarda ara frekansın üretilmesi için mutlaka kararlılığı yüksek bir lokal osilatör gerekir. Radar alıcılarının ara frekansları, lokal üretilen bir frekansla alınan sinyal karıştırılarak elde edilir. Bu lokal osilatör, hem ayarlanabilir hem de yüksek frekanslarda kararlı olması gerekir. Lokal osilatörlerin çıkış güç değeri düşüktür.

Lokal osilatör, göndericideki muhtemel tüm frekans değişikliklerini dengelemeli ve 30-74 MHz aralığında sabit bir ara frekansı değerini güvenle sağlamalıdır. Lokal osilatörler çoğunlukla bir kumanda gerilimi vasıtasıyla ayarlanırlar [14].

Ara frekans sinyali, ara frekansın karıştırılarak temel banda indirildiği, faza bağımlı bir demodülatör olan faz algılayıcısına yönlendirilir. Doppler frekansı işlenmesi için gereken hem genlik, hem de faz bilgilerini elde etmek için paralel kullanılır. Yani, faz algılayıcısı bir video sinyali üretir. Bu video sinyalin genliği, alınan sinyalin gönderilen sinyale olan faz farkına bağlıdır. Çıkış sinyali iki kutupludur yani pozitif veya negatif değerli olabilir.

Yönlü bağlaştırmacı gönderilen enerjinin bir bölümünü kumanda amacıyla yönlendirir. Bu sinyal, aynı zamanda kararlı lokal osilatörün frekansının ince ayarı için kullanılır. Fakat daha önemlisi, bu sinyal, faz uyumlu osilatörü göndericinin fazına senkronize eder.

Faz uyumlu osilatör sinyal alım süresince son gönderilen darbenin fazına uygun olarak salınır ve böylece alınan yansıma sinyallerinin fazlarının karşılaştırılmasını mümkün kılar. Bu osilatör, gönderilen enerjinin ara frekansın alt bandıyla senkronize edilir. Faz uyumlu osilatör vericinin fazını alır ve alıcıya bir karşılaştırma fazını temin eder.

3.4.3. Alıcı Elemanları ve Karakteristikleri

Bir radar alıcısının görevi; antenden gelen zayıf sinyalleri işlenmesini sağlamak, darbe zarfını elde etmek ve çıkışta bir video sinyal sağlamak için yeterince yükseltmek ve demodüle etmektir. Radar alıcısı çok duyarlı olmalı ve zayıf yansıma sinyallerini değerlendirebilmelidir.

Bir radar alıcısı için, radarın girişteki en küçük güç değeri, olabilecek en büyük menzil değerinin tayininde en önemli etkindir [23]. Tipik bir radar için bu duyarlılık seviyesi 10^{-13} Watt (-100 dBm) mertebesindedir.

En önemli etkenlerden birisi de alıcının gürültüsüdür. Her alıcının, alınan sinyallerden gelen gürültülerin de üzerine eklendiği bir belirli ısı gürültüsü vardır. Bu ısı gürültülerin büyüklüğü alıcı band genişliği ile doğru orantılıdır. Pratikte bir alıcının band genişliği, darbe süresinin tersine yakın seçilir [31]. Örneğin radar darbesi 1 μ s ise, en uygun band genişliği 1 MHz'dir.

Alınan yüksek frekanslı sinyallerden istenen bilgileri almak için bu sinyallerin yükseltilmesi ve tekrar düşük frekanslı bir video sinyaline dönüştürülmesi gerekir. Bu işlevleri süperheterodin alıcı yerine getirmektedir.

Radarda taşıyıcı sinyaller anten üzerinden gelir ve filtre edilir. Böylece yalnızca istenen frekans bandındaki frekansa sahip sinyaller geçer. Bu frekansa sahip sinyaller karıştırıcı katına aktarılır. Karıştırıcıya bir diğer giriş ise lokal osilatörden yapılır. Bu iki sinyal girişir ve iki frekans arasındaki fark kadar bir değere sahip ara frekans sinyalleri elde edilir. Ara frekans sinyal taşıyıcısı ara frekans yükselteciye uygulanır. Yükseltelen bu sinyaller demodülatöre yollar. Demodülatör çıkışı ise sinyalin video bileşenidir.

Yüksek frekansta çalışan bir radarın alıcısının karıştırma katının en önemli parçası çoğu kez bir karıştırma diyotudur. Buradan iki eşlenik frekans çıkar. Bunlardan biri istenmeyen eşlenik frekanstır. Bu yüzden eşlenik frekans filtresi istenmeyen frekansı geçirmez.

Eşlenik frekanslı sinyaller hariç, istenmeyen diğer tüm sinyaller ara frekans filtresinde temizlenir. Ara frekans filtresi, ara frekansı belirli bir ölçüde geçişine müsaade eden band-geçiren filtrelerden meydana gelir. Bu band genişliği, daha büyük doppler frekanslı yansımaları almak için gereklidir. Radar alıcılarında bu band genişliği çoğu kez 3 MHz ile 5 MHz arasındadır.

Bir süperheterodin alıcıdaki yükseltme işleminin en büyük bölümü ara frekans yükseltecinde gerçekleşir. Yansıma sinyallerinin içeriğini işleyebilmek için değişik otomatik yükseltme kazanç kontrol yöntemleri kullanılır.

Bir radar alıcısındaki demodülatör ara frekans darbelerini video darbelere çevirir. En basit demodülasyon bir diyot ve buna bağlı bir kondansatörle yapılır.

Video yükseltici video sinyallerini yükseltir ve takip eden devreye yönlendirir. Video yükseltici demodülatörden darbeleri alır. Bu darbeleri monitörde kullanılmak üzere yükseltir.

Gönderilen bir darbenin alım aşamasının başlangıcında yakın mesafelerden gelen yansıma sinyallerinin genlikleri çok büyüktür. Alım aşamasının sonuna doğru gelen yansıma sinyallerin genlikleri küçüktür.

Zaman duyarlılık kontrollü (STC) yükselteçte yükseltme işlemi, alım periyodu boyunca sürekli artar [23]. Kazanç oranı da yine zamana bağlıdır. İdeal koşullarda kazanç katsayısı menzil ile doğru orantılıdır. Pratikte, bir kondansatörün üstel dolum eğri karakteristiği bu işleme çok yakındır.

Bazı radar cihazlarında zamana bağımlı bir yükseltme yerine, zamana bağımlı bir zayıflama da söz konusu olabilir. Bu bağlamda ortaya çıkan yakın yansıma zayıflatmasıdır. Zaman Duyarlılık Kontrolünde gerilimin etkisi genellikle 50 mille sınırlı kalmaktadır.

Otomatik kazanç kontrol devreleri aslında geniş bantlı bir DC yükselteçtir [30]. Alınan radar sinyallerinde genlikler değiştikçe anlık olarak ara frekans yükseltecinin kazancını kontrol eder. Sonuçta anlık kazanç kontrolünde zayıf sinyaller tam yükseltilir ve kuvvetli sinyallerin yükseltilme oranı azaltılır.

Sıcaklık dalgalanmaları ve besleme kaynağındaki kabul edilebilir gerilim oynamaları hem gönderici ve hem de alıcıda çok ufak frekans değişikliklerine yol açar. Bu bakımdan bir radar cihazının, alıcı ve göndericinin birbirleriyle uyumunu sağlamak üzere bir otomatik frekans kontrol devresi ile donatılması gerekir. Burada frekanstaki sapma miktarı ile doğru orantılı, osilatörü yeniden ayarlayan bir kontrol gerilim üretilir. Çıkış frekansının kararlılığı osilatörün salınım devresinde bulunan bir varaktör ile sağlanır.

Otomatik frekans kontrol sisteminde gönderilen enerjinin bir bölümünü referans olarak kullanır. Bunu lokal osilatör frekansı ile karşılaştırarak bir AFC ara frekansı elde eder. Bu ara frekans, bir frekans diskriminatör vasıtasıyla frekanstaki sapmaya orantılı, genlik ve kutupluluk olarak örnekleyen bir kontrol gerilimine dönüştürülür. Eğer diskriminatör

girişindeki frekans merkez frekansıyla aynı ise diskriminatör çıkışı sıfır olacaktır. Diskriminatörün çıkış gerilimi vasıtasıyla lokal osilatör istenen frekansa ayarlanır. Bu devrede lokal osilatörün frekansı yeniden ayarlanır. İkinci bir imkan olarak lokal osilatörün frekansı yerine gönderilen sinyalin frekansı da ayarlanabilir.

3.4.4. Veri İletimi

Gözetim verilerinin Radar istasyonlarından ATC Merkezlerine iletilmesi ve ATC Merkezleri arasında paylaşılması için emniyetli bir iletim ortamına ihtiyaç vardır. Bu nedenle, gözetim verisinin bir noktadan diğer bir noktaya taşınması amacıyla kullanılacak veri hatları genellikle yedekli/ikişerli olarak seçilir. Böylece veri hatlarının biri arızalanırsa diğerinden gözetim verisinin iletimi devam ettirilir.

İki nokta arasındaki yedekli veri hatlarının aynı anda arızalanması riskini azaltmak için, veri hatlarının kullandıkları altyapıların birbirinden farklı ve bağımsız olmasına dikkat edilir. (örneğin karasal ve uydu hatları gibi)

Uydu hatlarında meydana gelen gecikme, uydu ile dünya arasındaki mesafenin büyüklüğünden dolayı, karasal hatlara nazaran çok daha fazladır (örneğin 300 milisaniye).

Veri hattının kalitesi ise, gönderilen verilerin karşı tarafa kaybolmadan ve bozulmadan ulaştırılması ile ilgili bir kavramdır. Ancak yine de veride bir bozulma olursa alıcı tarafın verideki bu bozulmayı fark edebileceği, mümkünse veriyi düzelterip orijinal halini elde edebileceği ya da göndericiden veriyi tekrar göndermesini talep edeceği mekanizmalar kurulmuştur.

Veri içerisinde bir bozulma olup olmadığı kontrol etmek için hata tespit mekanizmaları kullanılır.

3.4.5.ASTERIX

ASTERIX, gözetimle ilgili verilerin alınıp verilmesi için Eurocontrol teşkilatınca tanımlanmış bir standarttır. Bu kısaltma “Tüm maksatlara uygun yapıda Eurocontrol gözetim bilgisinin alınıp verilmesi” anlamına gelmektedir [33].

Her radar imalatçısı, kendi tanımladığı veri formatlarını (örneğin Alenia, Aircat vs.) kullanması sebebiyle radarlardan alınan verilerin ortak bir radar veri işleme sistemi

oluşturulması amacıyla ortaya çıkmıştır. Aksi takdirde radar istasyonları ve radar veri işleme merkezleri aynı sistem sağlayıcıdan temin edilmesi gerekmektedir.

Eurocontrol, hem kullanıcıların hem de imalatçıların ulaşabileceği açık bir standart oluşturmak suretiyle geliştirmiştir. Böylece farklı imalatçıların gözetim sistemleri arasında veri alış verişi mümkün hale gelmiştir.

Eurocontrol tarafından geliştirilmiş olmakla birlikte şu anda dünya çapında bir kullanıma sahiptir. Farklı ülkeler arasında gözetim verisinin paylaşılması için de kullanılmaktadır.

ASTERIX, gözetim verisinin standart bir yapıda kodlanması için tanımlar yapar. Farklı uygulamalar gruplandırılarak “kategori” adı verilen sınıflara ayrılmıştır. (Örneğin Yüzey Hareket Radarı için Cat 010, MLAT için Cat 020, PSR/SSR için Cat 048 gibi) Belirli bir sayıda veri parçalarından oluşur. Söz konusu veri parçaları, ASTERIX dokümanında bit seviyesine varıncaya kadar tanımlanmıştır.

3.4.6. Sinyal İşleme

Radar sinyallerinin işlenmesinde temel veriler, hedeften yansıyan darbedeki doppler frekans kayması ve hedef işaretlerinin genliğidir. Bununla hareketli hedef; gürültü ve sabit hedeflere ait yansımalarından ayırt edilir. Radar sinyallerinin işlenmesine, bir faz duyarlı demodülasyon ile ara frekans yükselteciden itibaren başlanır. Hedefin belirlenmesi sırasıyla; video sinyallerinden verileri üreten Plot Extractor, radar verilerini elde eden Plot Processor, SSR ve PSR çıkışındaki bilgileri birleştiren Plot Combiner tarafından yapılır.

PSR ve SSR radarlarından elde edilen veriler Plot Combiner bölümünde birleştirilir. Eğer bir plot için hem PSR hem de SSR verileri arasında bir eşleşme varsa daha fazla değerlendirmeye gerek kalmaksızın bilgiler monitöre aktarılır. Eşleşme olmayan plotlar için plot combiner bölümünde veriler birkaç defa daha karşılaştırılmalıdır.

Ara frekans sinyalleri (IF); analog/sayısal dönüştürücüde, cos bileşeni doğrudan dönüştürülerek, sin bileşeni 90° faz kaydırılarak dönüştürülür ve hedefe ait bilgi faz bilgisini de içeren sayısal değerlerde elde edilir.

Plot Extractor bölümü radar sinyallerinin işlenmesi aşamasının son bölümünde yer alır. Burada her bir video sinyalinden sayısal veriler elde edilir. Aynı zamanda hedefin yönü ve hızına ait ilave bilgileri de işlenir.

Anten bir tarama süresi boyunca aynı hedeften çok sayıda yansıma darbelerini alır. Plot Extractor'ün işlevi bu alınan darbeleri bir data bilgisine dönüştürmektir.

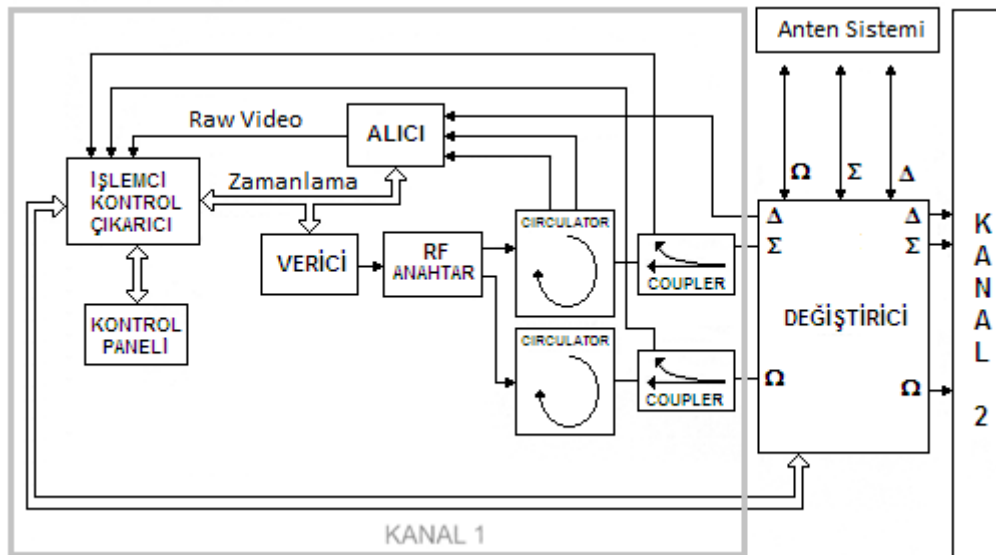
Plot Extractor, her bir hedef için uzaklık, azimut açısı, yansıma sinyali genliği ve açısal hızı gibi verilerin bulunduğu hedef bilgilerini elde eder [14].



4. İKİNCİL GÖZETİM RADARI (SSR)

SSR sisteminde, yerdeki verici cihaz tarafından 1030 MHz (f_1) frekanslı bir sorgulayıcı sinyal gönderilir. Bu sinyal uçakta bulunan transponder cihazı tarafından alındıktan sonra 1090MHz (f_2) frekanslı bir cevap yayınlar [34]. Dünyadaki tüm SSR'ların ve transponderlerin çalışma frekansları aynıdır. SSR içinde sorgulama ve cevap sinyallerinin frekans spektrumları, kendilerine ait olan band genişliklerinden ayrıldığı için sorgulayıcı tarafından üretilen sinyallerin herhangi bir nesneden yansımaları, alınan cevap kanalı tarafından hariç tutulur. Sonuçta, PSR radar sisteminde görülen dağınıklıklar (clutter), bu radarda görülmez. PSR sisteminde uçakla ilgili sadece uzaklık ve yön bilgisi elde edilebilirken; SSR sisteminde uçağın yönü, istasyona olan uzaklığı, irtifası ve kimliğini tespit etmek mümkündür [35].

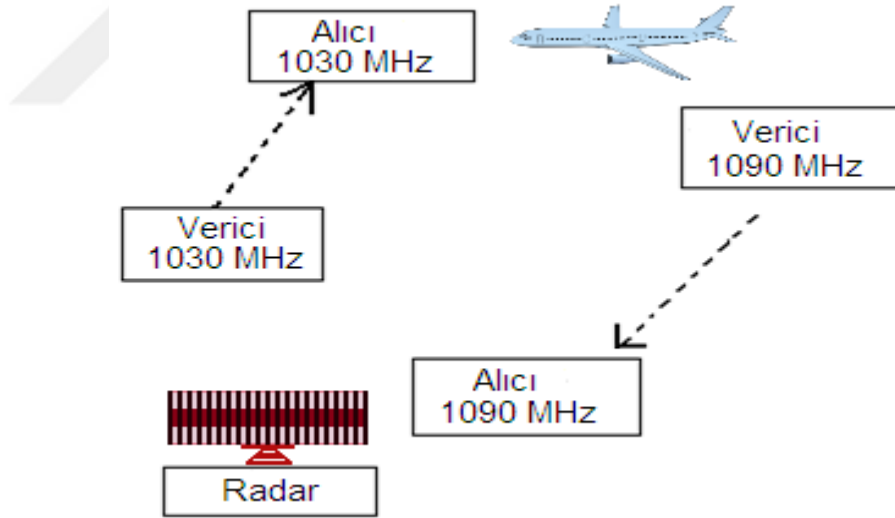
Yerden 45° ye kadar olan bölgeye ve yatay olarak 200-250 NM düşey olarak 80.000 feet'e kadar olan bölgeye hizmet verir. Yer istasyonunun çıkış gücü 2 kW, uçaktaki vericinin gücü ise 500 W mertebelerindedir. SSR'a ait genel blok diyagramı Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. SSR Genel Blok Diyagramı [13].

4.1. SSR'ın Çalışma Prensibi

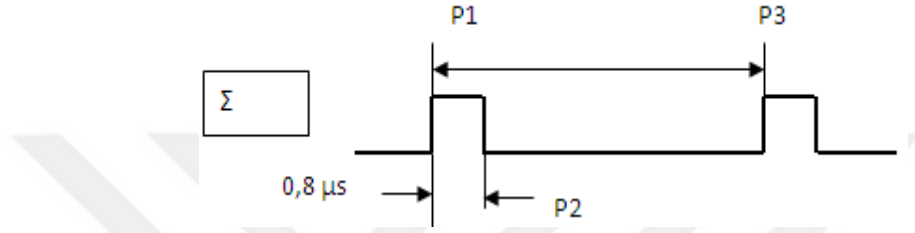
Hem uçakta, hem de yer istasyonunda alıcı ve verici sistemleri bulunmaktadır. Şekil 4.2'de SSR sisteminin çalışma sistemi gösterilmiştir. Yer istasyonundan 1030 MHz'de gönderilen soru sinyalleri uçak tarafından alınır. Uçak üzerindeki transponder [36] denilen cihaz vasıtasıyla irtifa ve kimlik bilgileri kodlanarak 1090 MHz' lik taşıyıcı üzerine bindirilerek cevap sinyali olarak yer istasyonuna geri gönderilir. Yer istasyonunda alınan cevap sinyali çözülerek bir ekran üzerine verilir. Böylece hava trafik kontrolörü, üzerinde transponderi bulunan tüm uçakları, yön, uzaklık, irtifa ve kimlik bilgileriyle birlikte bu ekran üzerinde görme ve yönlendirme imkânına sahip olur. İletimde darbe modülasyonu kullanılır. Yer istasyonunun gönderdiği darbe şeklindeki soru sinyali saniyede 300-450 defa tekrarlanır.



Şekil 4.2. SSR Sisteminin Çalışma Şeması [13].

SSR'ın kullanımındaki kabul, tüm dost uçakların bir transponder taşımasıdır. Sorgulayıcı, hayati önem taşıyan iki soru sorar: Neredesiniz? ve Kimsiniz? Birincisi radar tekniğinin kullanımıyla yanıtlanabilir. Burada hem sorgulayıcı hem de transponder, darbe (pulse) iletimini kullanır. Sorgulamadan, alındı cevabına kadar geçen süreden PSR'da

olduğu gibi aradaki mesafe hesaplanabilir. Kimsiniz sorusunun cevabı ise, pozisyon kodlu darbe gruplarının formu dikkate alınarak yanıtlanır. Bir grup içindeki tüm darbeler 2^n farklı cevap taşır. Buradaki n, grup içindeki mümkün darbelerin sayısıdır. Sorgulayıcı, 1030 MHz frekansında bir darbe çifti yayınlar. Bu durum mode A/C sorgulamaya göre Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



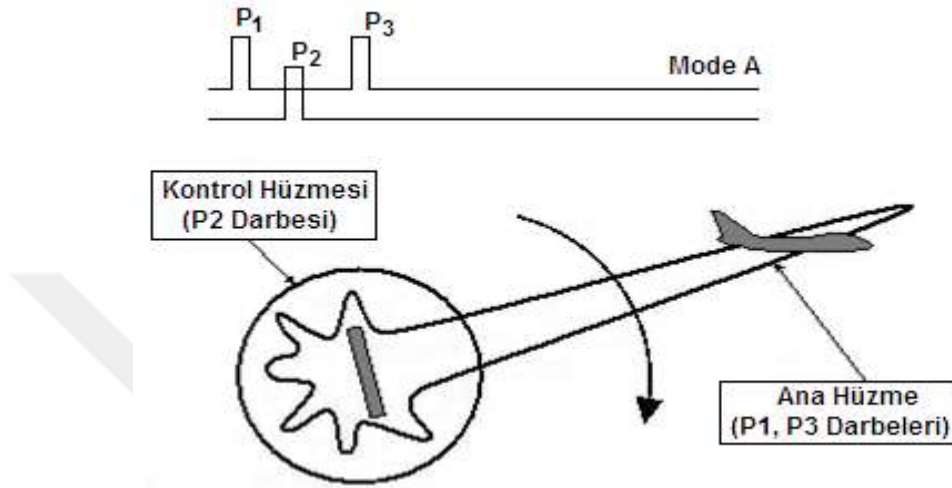
Şekil 4.3. Mode A/C Sorgulama (1030 MHz) [13].

Her bir darbe aynı şekil, aynı genlik ve aynı sürededir. Bunların zaman aralıkları, daha önceden tanımlanmış standartlardadır. Böylece, darbe pozisyon kodlaması, çeşitli soruları veya sorgulama modlarını ayırt eder [37]. Modların durumunun uluslararası genel standartlardaki listesi Tablo 4.1’de görülmektedir.

Tablo 4.1. Modların Durumunun Uluslararası Genel Standartları [38].

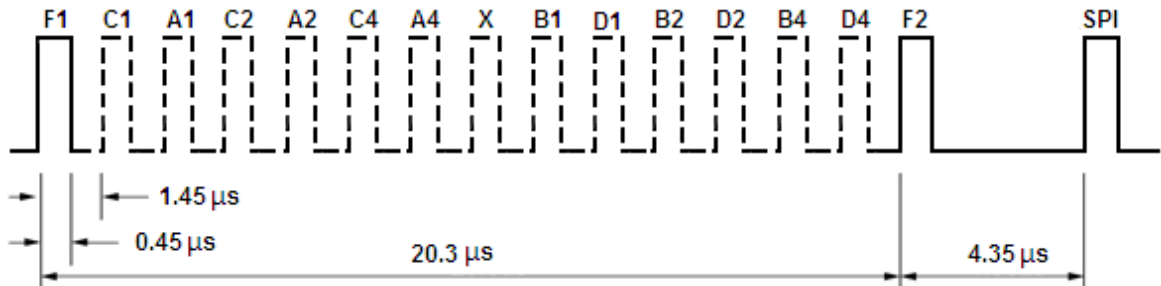
Mod	P1-P3 Aralığı(µs)	Kullanım	Kullanıcı
1	3	Tanınma	Askeri
2	5	Tanınma	Askeri
3/A	8	Kimlik (4096 transponder kodu (ID) elde edilebilir. En çok kullanılan moddur.)	Sivil / Askeri
B	17	Kullanılmaz	Sivil
C	21	Uçuş Seviyesi (Basınç bilgisinden yükseklik bilgisi (altimetre) elde etmek için kullanılır.)	Sivil
D	25	Kullanılmaz	Sivil
4	N/A	Güvenli Kimlik	Askeri

Bir kontrol darbesi olan P2, sorgulama darbe çifti P1 ve P3'e eşlik eder. Bu durum Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Yan Lob Sorgulaması İçin P2 Darbesi [38].

Alma menzilineki transponderler darbe çiftini tespit eder, zaman aralıklarını algılar ve sorgulamanın genel durumuna uygun cevap oluştururlar. Eğer, bir transponder, $8\mu s$ 'lik aralığı algıarsa, otomatik cevap, aracın kimliğini taşıyan bir kod olacaktır. 1090 MHz'lik cevap Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Mode-A/C Transponder Cevabı (1090 MHz) [13].

Hava trafik kontrol sistemlerinde, uçak yüksekliğinin kontrolörler için büyük bir önemi vardır ve 21 μ s aralığa sahip sorgulama darbe çiftine, kodlu formda, uçak yüksekliği otomatik olarak verilir. Mod-3 (askeri) ve Mod-A (sivil), kullanıcılar için genel modlardır. Her iki sınıf da aynı hava boşluğunu kullandığı için, bu durum hava trafik kontrolünde, önemli bir değerdir. Belli kriterler oluştuğu zaman, sorgulamaya cevap üretilir. 0,45 μ s süreli, düzgün genlikli ve 1,45 μ s aralık değerine sahip 1090 MHz de yayınlanan darbe formu, cevap için kullanılır. Uluslararası anlaşmalar ile darbelerin cevap sırası, F1 ve F2'yi gösteren, daima var olan bracket veya framing darbelerini içeren on iki bilgi darbesinin bazısını ya da hepsini barındırabileceği gibi hiç birini de barındırmayabilir. Cevap formatı, şu güne kadar hiç kullanılmamış olan on üçüncü darbe için de boşluğa sahiptir. A, B, C ve D olarak dört gruptadır. Örneğin; (7213)₈ gibi bir kimlik kod değeri, cevabın, F1, A1, A2, A4, B2, C1, D1, D2 ve F2 darbelerini içermesi gerekir.(111 - 010 - 001 - 011, A₄A₂A₁ - B₄B₂B₁ - C₄C₂C₁ - D₄D₂D₁)

Mümkün 4096 farklı kod vardır [39]. A, B, C ve D gruplarının her birinin içinde bulunan mümkün üç darbenin her biri, var ya da yok şeklinde seçilebilir. Yani ikilik seviyede 1 ve 0'ı temsil ederler. Böylece toplamda 4096 seçenek bulunur. Bir gözetleme sistemi içinde, hedef görüşüne bakılmaksızın, herhangi bir azimuth'da sorgulayıcılar tarafından transponderin adreslenebilmesi için çok yönlü bir anten, cevap sinyallerini yayar. Cevap darbeleri, sorgulayıcının alıcısı tarafından alındığı zaman, darbeler zarf tespitli olur. Cevap formatı standartlaştırıldığı için, sorgulayıcının işlem sisteminin kod çözme devreleri, hangi darbelerin var olduğunu tespit edebilir. Böylece sorgulayıcı tarafından istenen cevap verisini derleyebilir.

Hedeflerden alınan sinyallerin genlikleri; alım aşamasının başlangıcında çok büyüktür. Radardan uzaklaştıkça, hedeflerden gelen sinyallerin genlikleri de düşecektir. Alıcıyı yüksek genlikli sinyallerden korumak için alıcı hassasiyeti başlangıçta maksimum zayıflatma ile sağırlaştırılır. Standart olarak 6 dB/octav eğimli bir zaman duyarlılık kontrolü (STC) eğrisi ile zayıflatma azaltılır [40].

4.2. SSR Bileşenleri

4.2.1. SSR Anten Bileşenleri

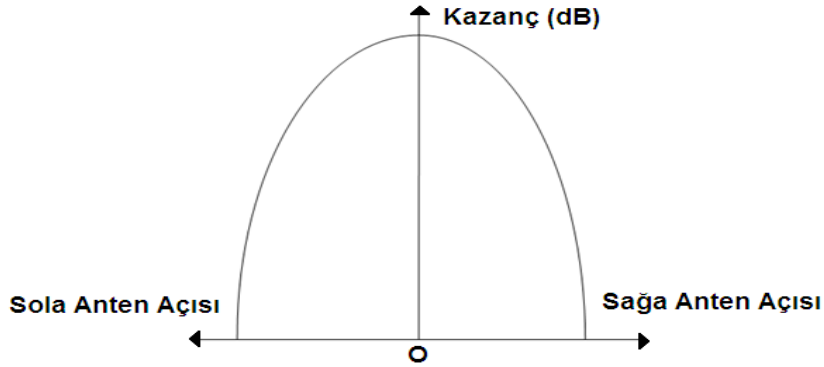
Aktif antenler, ışıma elemanlarının fazları kontrol edilen anten dizileridir. Aktif dizi antenleriyle, dar ışıma hüzmeli antenler elde edilebilir. Anten sisteminin ışıma diyagramı, ışıma elemanlarının fazları ayarlanarak istenilen şekle sokulabilir [41]. Şekil 4.6’da bir SSR anten dizisi ve kulesi görülmektedir.



Şekil 4.6. SSR Anten Dizisi ve Kulesi [2].

Normal SSR radar sistemleri, bir hedefi tespit etmek için, SSR anteninin ana hüzmelerinin hedef üzerinden geçerken, yapmış olduğu sorgulamalara karşılık, aldığı cevap darbelerini değerlendirerek, tespit etmiş olduğu konum bilgilerinin ortalamasını alır. Oysa mono-pulse SSR sistemi (MSSR), anteninin özelliklerini kullanarak, hedefin yerini tek sorgulamayla elde edebilmektedir [42]. Bu teknikte radar anteninde SUM (toplam), DIFFERENCE (fark) ve OMNI (yönsüz) olmak üzere 3 adet anten sistemi bulunmaktadır. MSSR anten sistemlerinin üçü de geniş düşey açıklıklı (LVA) antenlerdir. LVA antenler anten sisteminin, düşey ışıma diyagramı açısından yan loblarının daha az olması sebebiyle SSR sistemlerinde kullanılırlar.

Şekil 4.7’de SUM dizinin ışıma diyagramı verilmiştir. Anten sisteminin ortasına göre normal doğrultuda en yüksek kazanç elde edilmektedir.



Şekil 4.7. SUM Anten Dizisinin Işıma Diyagramı

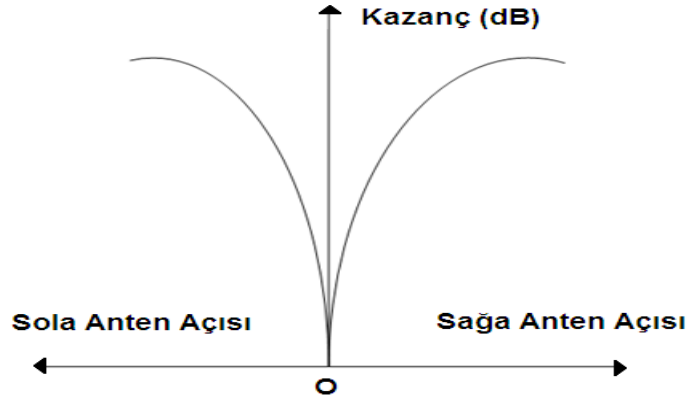
Şekilden de görüldüğü üzere, SUM kanalının anten diyagramı, yan loblar dikkate alınmazsa, tek loblu bir özelliğe sahiptir. Bu lob SUM anten dizisinin ana ışıma hüzmesidir.

SUM kanalının iki işlevi vardır.

- 1) Transponderi sorgulamak için verici anteni işlevi görür (verici).
- 2) Transponderden gelen RF'lı cevap işaretini alma işlevi görür (alıcı).

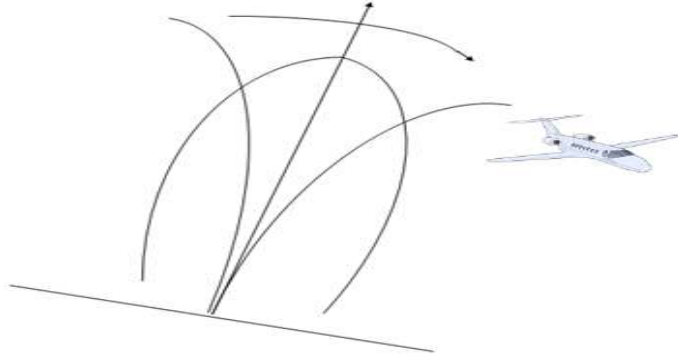
İkincisi, yani alma işlemi, mono-pulse tekniği için gerekli, ancak yeterli bir işlem değildir. Yani SUM kanalından elde edilen işaret, hedefin yerini tam olarak elde etmek mümkün değildir. Hedefin tam olarak belirlenebilmesi için DIFFERENCE kanalından gelen işarete de gerek vardır.

DIFFERENCE dizisinin ışıma diyagramı Şekil 4.8'de verilmiştir. Görüldüğü üzere, DIFFERENCE anten dizisi iki loblu (yan loblar hariç) bir sistemdir. Antenin orta noktasına göre normal doğrultudaki kazancı en düşük seviyededir. Bunun anlamı; anten sistemi dönerken, hedefi tam nişanlamadan önce, neredeyse SUM kanalı kadar işaret alacaktır. Hedef tam nişanlandığı anda, bu kazanç aniden sıfıra yakın bir değere kadar düşecektir. Anten dönmeye devam ettiği takdirde, hedef sonraki (ikinci) lobun içine girecek ve antenden alınan işaret aniden tekrar yükselecektir.



Şekil 4.8. DIFFERENCE Anten Dizisinin Işıma Diyagramı

Şekil 4.9’da mono-pulse tekniğine göre SUM ve DIFFERENCE anten dizilerinin, durmakta olan bir hedef üzerinden tarama yaparken anten dizilerinden alınan işaretlerin genliklerini göstermektedir.



Şekil 4.9. SUM ve DIF Antenleri Işıma Diyagramlarının Hedefe Göre Durumları

Antenin saat ibresi yönünde döndüğü ve hedefin durmakta olduğu kabul edilirse, antenlerden elde edilen sinyal büyüklüklerine göre şunlar söylenebilir:

Hedef öncelikle DIF anten dizisinin sağdaki lobunun içine girecek ve DIF anten çıkışında RF işareti seviyesi artacaktır. Dönme işlemi devam edip hedef nişangâh

doğrultusuna yaklaştıkça, DIF anten çıkışındaki işaretin şiddeti azalacak fakat bu sefer SUM anten dizisinin çıkışındaki RF sinyal seviyesi artmaya başlayacaktır.

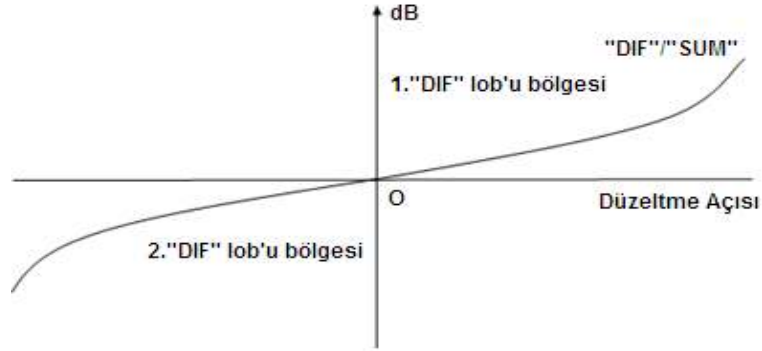
Antenin nişangâh doğrultusu (normal eksen) tam hedef üzerindeyken, SUM çıkışı en yüksek değere ulaşacak, DIF çıkışı RF seviyesi ise en küçük değerine ulaşacaktır.

Anten dönmeye devam ettiği takdirde bu sefer olaylar tersi yönde devam edecektir. Buradaki en önemli noktalardan birisi, DIF loblarından alınan işaretin fazıdır. DIF kanalından alınan işaretin fazı bir lobdan diğerine geçerken 180° değişiklik gösterir. Alıcı bu işaretin değişimini dedekte ederek, hedefin hangi lob içerisinde bulunduğunun tespit edilmesini sağlar.

Mono-pulse SSR radarların, hedeflerin yerlerini tek sorgulamada tespit etme şekli şöyledir. Uçakta bulunan transponder cihazı SUM kanalından yayınlanan P1 ve P3 darbeleriyle sorgulanır (1030 MHz). Dolayısıyla, transponderin sorgulanabilmesi için hedefin öncelikle SUM anteninin ana hüzmeleri içerisinde girmesi gerekir. Transponder sorgulama darbelerini aldıktan sonra cevap darbelerini göndermeye başlar. Transponder tarafından gönderilen bu RF darbeleri (1090 MHz), hem SUM hem de DIFFERENCE kanalı tarafından alınır. Bu durumda hedefin, antenin tam nişangâh doğrultusu üzerinde bulunması gerekmez. Hedefin yerinin tespit edilmesi için, hedefin o anda antenin nişangâh doğrultusundan ne kadar açıta olduğunun (nişangâh açısı sapmasının) tespit edilmesi yeterlidir. Çünkü bu açı tespit edildiği takdirde, encoder tarafından o anda tespit edilen anten nişangâh açısına eklenerek (veya çıkarılarak) hedefin yeri tam olarak belirlenmiş olur [43].

Mono-pulse tekniği, hedefin radar anteninden uzaklığının tespit edilmesiyle ilgili bir teknik değildir. Mono-pulse tekniği; hedefin tespit edildiği anda, kuzey referans doğrultusu ile açısının tespitiyle ilgili bir tekniktir.

Nişangâh açısı sapması, SUM ve DIFFERENCE kanallarından elde edilen işaretlerin dedekte edilmesiyle elde edilen sinyallerin orantılanmasıyla elde edilir [43]. DIF/SUM işaret oranları nişangâh açısı sapması eğrisini verir. Bu eğri Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



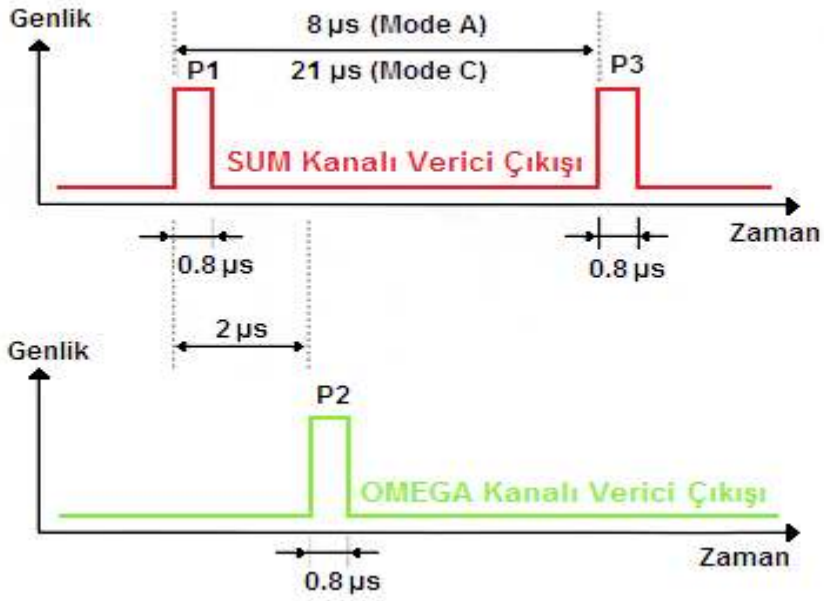
Şekil 4.10. Tipik Bir Nişangah Açı Sapması Eğrisi

OMEGA yani Omni directional anten dizisinin işlevi, doğrudan mono-pulse tekniğiyle ilgili değildir. OMEGA kanalı, SUM anten dizisinin yan lobları nedeniyle yakın alandaki uçak transponderlerinin sorgulamasını önlemek için kullanılır. Aksi takdirde yan loblar tarafından sorgulanan transponderlerin yanıtları, hedeflerin yanlış açılarla tespit edilmesine sebep olacaktır. Buna SLS (Yan Lob bastırma) tekniği denilmektedir [14].

SSR transponderlerini sorgulamak için kullanılan P1 ve P3 darbelerinin arasında (P1 darbesinden 2 μ s sonra) P2 darbesi OMEGA anten dizisi tarafından yönsüz olarak yayınlanır. Bu yayın SUM kanalının yan loblarını kapsayacak şekilde yapılmalıdır. Anten sisteminin yakınlarında, SUM kanalının yan lobları içerisinde kalan uçak transponderleri, OMEGA anteni tarafından yayınlanan P2 darbesini daha güçlü olarak almaya başlar. Eğer P2 darbesinin genliği P1 veya P3 darbesinden eşit veya daha büyük ise, transponder, kendisinin bir yan lob içinde bulunduğunu anlayarak sorgulamalara cevap vermez. Böylece hedeflerin yan loblar tarafından yanlış açılarda tespit edilmesinin önüne geçilmiş olur.

4.2.2.SSR Verici Bileşenleri

SSR sorgulayıcı sistemlerinde, T_x (verici) sorgulama frekansı 1030 MHz ve R_x (alıcı) frekansı 1090 MHz'dir. SSR ve MSSR için sorgulama modlarını P1 ve P3 darbeleri arasındaki zaman farkı, sorgulamanın tipini bildirir [44]. SSR sorgulama darbe çıkışları Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. SSR Sorgulama Darbe Çıkışları [37].

Görev döngüsü, vericinin, bir periyotta gönderdiği darbelerin en yüksek güçlerinin ortalama güce oranını gösterir. Gönderim anındaki RF güç seviyesi, darbeler için aynı olduğundan, periyot içinde birden fazla darbe gönderiliyorsa, darbelerin periyot içindeki tepe değer güçlerinin, periyottaki ortalama güce oranıdır.

Darbe boşluk oranı, verici özelliklerini tanımlamak için kullanılan bir değerdir [45].

$$\text{Darbe boşluk oranı(duty cycle)} = \frac{(\text{Darbe gücü}). (\text{Toplam darbe süresi})}{(\text{Ortalama güç}). (\text{Döngü süresi})} \quad (4.1)$$

Güçlerin oranı, bir döngüdeki darbe sürelerinin toplamı ile döngü süresinin oranına eşit olduğundan;

$$\text{Darbe boşluk oranı(duty cycle)(\%)} = \frac{\text{Darbe Genişlikleri Toplamı(s)}}{\text{Döngü süresi (PRT)}} \cdot 100 \quad (4.2)$$

formülü ile darbe boşluk oranı yüzdesi bulunabilir [45]. Darbe boşluk oranı yüzdesi, verici ünitesinin normal çalışma koşullarını belirten önemli bir değerdir.

Yüksek darbe boşluk oranı özelliği olmayan bir verici ünitesinde, darbe genişlikleri artırıldığı (darbe boşluk oranı yüksek bir çıkış alınmak istendiği) takdirde, vericide ısınma sorunları ortaya çıkacaktır.

Antenler, fiziksel yapıları gereği hiç bir zaman teorik olarak hesaplanmış ışıma hüzmelerini vermezler. Elde edilen ana hüzmelerin yanlarında yan lob (side lobe) denilen küçük ışıma hüzmeleri de oluşur.

Radar sistemleri, hedeflerin yerini aynı zamanda, hedefi tespit ettiği anda, antenin konum açısını da değerlendirerek bulduğu için, yan loblar tarafından tespit edilecek bir hedefin yeri, yanlış olarak tespit edilecektir. Çünkü Yan lobların hüzmeye açısı, ana hüzmelerin açısından çok farklıdır.

SSR sistemlerinde, yan loblardan alınan istenmeyen hedef bilgilerini yok etmek için, uçakta bulunan transponder ve yerdeki SSR cihazında ek devreler geliştirilmiştir. Bu devrelerin kullandığı tekniğe yan lob bastırma (SSL) tekniği denir [46]. SSL tekniğinin en önemli özelliği, sorgulama için kullanılan P1 ve P3 darbelerinin yanında bir de P2 darbesinin gönderilmesidir.

Sorgulama darbeleri olan P1 ve P3 darbeleri, SSR anteninde aynı anten tarafından yayınlanmaktadır. Dolayısıyla bu darbelerin şiddetleri gönderildikleri antenin ışıma hüzmeleri aynı özelliğe sahip olduğundan birbirine eşittir. Oysa SSL sistemi için gönderilen P3 darbesi, farklı bir antenden gönderilir. Dolayısı ile bu antenin ışıma hüzmelerinin özelliği farklı olup, kazancı daha düşük ve ışıma hüzmeleri, P1 ve P3 darbelerini yayınlayan antenin yan loblarını kapsayacak şekilde oluşturulmuştur.

İki antenin ışıma hüzmelerinin farklı olmasından dolayı, bir transpondere P1, P2 ve P3 sorgulama darbeleri ulaştığı zaman, P1 ve P3 darbelerinin şiddetleri aynı olur. Ancak P2 darbesinin şiddeti, transponderin bulunduğu konuma göre P1 ve P3 darbelerinin şiddetlerinden farklı olur. Transponder bu karşılaştırma için P1 ve ondan 2 μ s sonra gelen

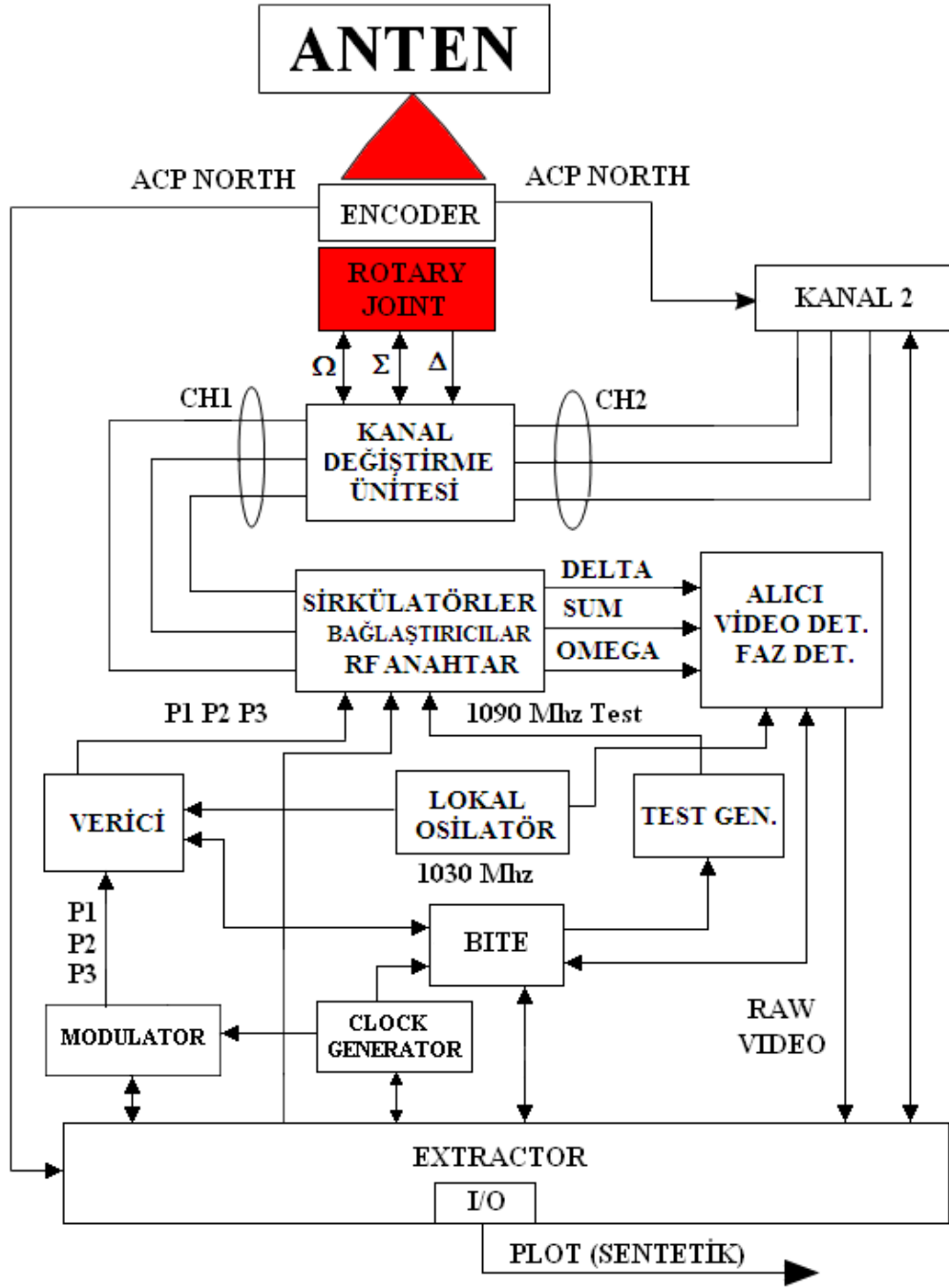
P2 darbesinin genliğini değerlendirir. Bu durumda transponderin sorgulamaya cevap verip vermeme durumu bazı şartlara göre oluşur.

- $P2 \geq P1$ ise, transponder cevap vermez. Transponder en fazla 45 μs bloke olur. (normal bloke süresi $35 \pm 10 \mu s$)
- $P2 < P1$ ise, P1, P2 den 0 - 9 dB büyükse transponder kısmen cevap verir kısmen vermez.
- P1, P2 den 9 dB'den daha büyükse; transponder her konumda cevap verir.

Radar sisteminin yakınlarında eğer bir yansıtıcı yüzey varsa, radar vericisinden yayınlanan P1 ve P3 sorgulama darbeleri, bu yüzeye yansarak uçaktaki transponder alıcısına ulaşırlar. Transponder, bu sorgulama darbelerine, sanki radardan doğrudan geliyormuş gibi cevap verir. Cevap darbeleri de aynı yolla radarın alıcısına ulaşır. Bu durum hedef yerinin yanlış tespit edilmesine sebep olur. Hedefin yerinin yanlış algılanmasına sebep olan bu durumu önlemek için, geliştirilmiş yan loblarla bastırma tekniği (IISLS) yöntemi kullanılır [46].

Yansıma yüzeyinin bulunduğu yer extractor tarafından bulunur. Radar anteni bu konuma gelince ve bu konumda yansımış sorgulamalara cevap verecek bir uçak varsa, daha önce SLS fonksiyonu için kullanılan antene bu sefer sadece P2 darbesi değil hem P2 hem de P1 darbesi birlikte gönderilir. Bu durumda transponder cihazı P1 ve P2 darbelerini aynı şiddette alacağından 43 μs 'ye kadar bloke olur. Böylece transponderin yansarak gelen sorgulama darbelerine cevap vermesi engellenmiş olur. IISLS yönteminin sakıncası, aktif olduğu anda çevresindeki tüm transponderleri bloke etmesidir.

Şekil 4.12'de SSR sorgulayıcı blok şeması görülmektedir. Blok diyagramda gösterilen clock generator birimi sistem için gerekli işaretleri üretmek için kullanılır. P1, P2, P3 darbeleri, trigger, video gate ve pre-trigger işaretleri clock generator birimi içerisinde üretilir.



Şekil 4.12. Bir SSR Sorgulayıcı Blok Şeması [13].

Extractorun çıkışından, radar bilgileri, plot bilgisi olarak (streografik = iki boyutlu kartezyen koordinat bilgisi) çıkar. Bu bilgiye sentetik radar bilgisi denir. Elde edilen bilginin hemen gösterilmek üzere bir göstergeye gönderilmesi veya diğer radar bilgileriyle

birleştirilmesi için radar bilgi işlem (RDP) birimlerine gönderilme işlemleri için, seri haberleşme kanalları veya günümüzde ethernet protokolleri kullanılır.

Modülator birimi, P1, P2, P3 darbelerinin zamanlarını ve darbe şekillerini oluşturarak verici ünitesine gönderir.

BITE birimi, test generatörünü kullanarak, alıcı devresinin girişlerine, alıcının boşa kaldığı zamanlarda, 1060 MHz lik test işaretini coupler vasıtasıyla enjekte ederek, alıcı devrelerinin testlerini yapar. Bunun haricinde sistem tasarımı esnasında ihtiyaç duyulmuş olan test ve kontrolleri çeşitli devrelere uygulayarak sistemin düzgün çalışmasını denetler. Sorun gördüğü kanalı devre dışı bırakarak diğer kanalın devreye girmesini sağlar.

Sistemin hatalı transmisyon yapmaması için en önemli kontrol mekanizması, BITE mekanizmasıdır. Vericiden yüksek oranlı (darbe boşluk oranı) yayın yapılması en önemli hatalı transmisyon durumudur. Bu durum hem verici katının bozulmasına, hem de civardaki transponderlerin bloke olması veya hatalı bilgi almalarına sebep olur. Bu tür durumlarda BITE sistemi gerekli kontrolleri yaparak, hatalı birimleri derhal devre dışı bırakır [34].

4.2.3. SSR Alıcı Bileşenleri

Normal ve mono-pulse SSR sistemlerinin alıcıları, vericilere göre daha karmaşık bir yapıdadır. Verici kısımlarında genel olarak sadece modülatör ve RF güçlendirici bölümleri bulunmasına rağmen alıcı kısımlarında daha fazla devre bulunmaktadır.

SSR radarda alıcı tek kanal olmasına rağmen, mono-pulse radarlarda 3 adet alıcı kanalı bulunmaktadır. Bunlardan SUM ve DIF kanalları hedefin yerini tespit etmek için gerekli sinyalleri alma işlevini görürler. OMEGA kanalının asıl işlevi P2 darbesini yayınlamak olduğu halde, alıcı yan lob bastırma(RSLS) fonksiyonunu gerçekleştirmek üzere aynı zamanda alıcı görevini de yapmaktadır [46].

Uçakta bulunan transponder, bulunduğu konuma göre birbirine komşu olan birkaç SSR sistemi tarafından sorgulanabilir. Bu durumda SSR sistemlerine, kendi sorgulamasıyla ilgili olmayan transponder cevapları gelmeye başlar. Bu olaya fruit adı verilir [47]. Fruitlerin devre dışı bırakılması olayı (fruit probleminin çözülmesi) extractor biriminde yapılır. Extractor radar sisteminden elde edilen sinyallerin, radar tekniğine göre işlenmiş olduğu bilgisayarlardır. Fruit problemleri extractorde çözümlenmeye çalışılsa bile bazen

özmlleme işi extractore aşırı yük getirebilmektedir. Çünkü bazı fruit işaretleri mono-pulse radar anteninini yan lobları tarafından alınabilmektedir.

Radar anteninini yan lobları tarafından alınan fruit işretlerinin ayıklanabilmesi için, OMNI kanaldan da sinyal alınır. OMNI kanal alıcısından elde edilen işaret SUM kanalından elde edilen işaretle oranlanarak (SUM/OMEGA) extractore verilir. Extractor belirli bir eşik seviyesinin üzerindeki oranlarda alınmış olan transponder işaretlerini ayıklama işlemine tabi tutmadan filtre etme kabiliyetine sahip olur. Böylece extractor yan loblardan gelmiş olan fruit işaretlerinin analiz edilme işleminden kurtulmuş olur.

SSR radar sistemlerinin alıcı duyarlılıkları otomatik kazanç kontrol (AGC) devresiyle sağlanır [47]. AGC devresi, alıcı devrelerinin girişindeki RF yükseltici devresinin kazancını yüksek güçle gelen işaretler olduğu zaman kısar. Düşük seviyeli işaretler geldiği zaman ise yükseltir.

SSR sistemlerinde genellikle 60 MHz'lik ara frekans devreleri kullanılır. Bu değer aynı zamanda sorgulama darbelerinin taşıyıcı frekansı olan 1030 MHz ile transponderlerin verici frekansı olan 1090 MHz arasındaki farka eşittir.

Dynamic range; yakındaki transponder (RF sinyal kuvveti yüksek) ve uzaktaki transponderleri (RF sinyal kuvveti düşük) aynı anda algılayabilme kabiliyetidir [47]. Dynamic range özelliği düşük olan bir alıcı, işareti yüksek şiddetle gelen bir transponderin yanında, düşük güçlü bir transponder işareti aldığında, düşük güçlü transponderin işaretini algılayamama sorunu yaşayabilir.

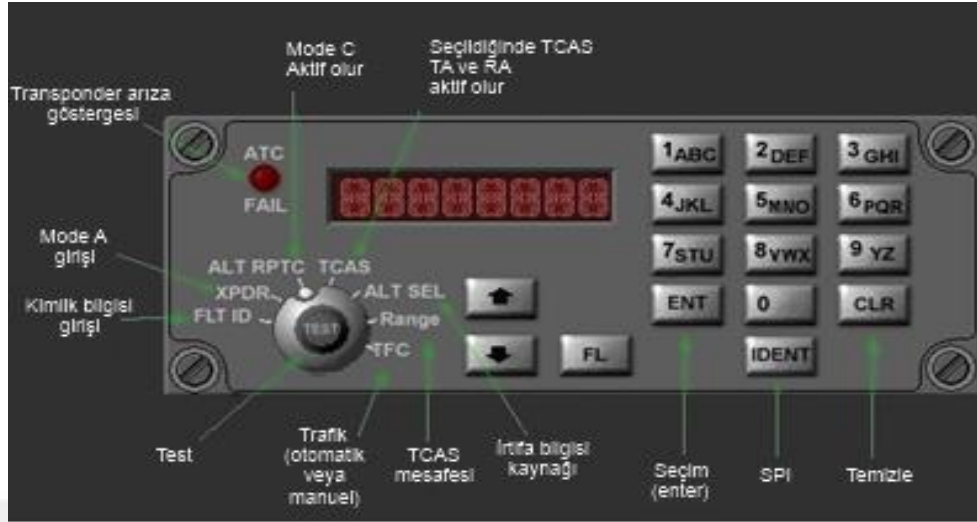
STC özelliği, uçaklar radar antenine ne kadar yakın ise, transponderlerinden radar antenine gelen cevap darbelerinin RF güçleri de o oranda güçlü olur. Aynı şekilde uzaktaki uçaklara ait transponderlerden gelen RF işaretleri de uzaklık nedeniyle o derece zayıf olur. Bu durumda yakındaki transponder işaretleri alıcının duyarlılığı az olsa dahi algılanabilir. Oysa uzaktaki transponderin işaretin algılanabilmesi için alıcının duyarlılığının artırılması gereklidir. İşte, bir radar alıcısının dinleme süresinin başlangıcındaki duyarlılığını küçük değerde tutup, dinleme süresinin sonlarına doğru (uzak mesafelere doğru) alıcının duyarlılığını otomatik olarak artıran devrelere hassasiyet zaman kontrol (STC) devresi denir. Transponderlerden gelen RF işaretleri bazen alıcıya yansıyor gelirler. Ghost denilen hayali hedeflerin algılanmasına sebep olurlar [44]. STC genel olarak 360 derecelik bir açıyla ayarlama yapsa da çevredeki yansıtıcı yüzeylerin tespit edilmesiyle, bu bölgelerde STC

ayarları sektörel olarak değiştirilerek (duyarlılık daha fazla azaltılır) sistem ghostlardan kısmen kurtulmuş olur. Aynı işlemler, transponderlerden gelen RF işaretlerinin uzak veya yakından gelmelerine (güçlerinin değişmesinden dolayı) göre, alıcı girişindeki zamana göre ayarlanabilir bir zayıflatıcı devre ile kontrol edilerek işaret güçleri dengelenebilir. Yani yakındaki transponder güçleri yakınlıkları oranında zayıflatılmış olurlar. Buna da zamana göre kazanç kontrolü (GTC) denir [37].

Mono-pulse SSR'da (MSSR) hedefin açısal değeri, cevap darbesinin geldiği andaki SUM/DIFFERENCE işaret değerlerinin oranı ve o andaki anten doğrultu açısı vasıtasıyla bulunur. DIFFERENCE anteninin çift loblu olması sebebiyle SUM/DIFFERENCE değerinden elde edilen nişangâh açı sapması değeri, hedefin hangi DIF lobu içinde olduğuna göre anten nişangâh açısına eklenir veya çıkarılır. Bu ekleme veya çıkarma işlemi, DIF kanalından gelen işaretin, SUM kanalından gelen işaretin fazına göre yapılır. İki lobdan gelen RF işaretlerinin fazı arasında 180 derece fark bulunmaktadır.

4.3. Transponder

Havacılıkta kullanılan transponder (TRANSMitter resPONDER) ilk olarak ikinci dünya savaşı sırasında Amerikan ve İngiliz orduları tarafından dost uçakların ayırt edilmesi amacı ile geliştirilmiştir. 1950'lerde havacılıkta kullanımına, dost veya düşman tanıtması (IFF) ve daha sonra sivil havacılıkta kullanılan SSR radarların uygulamaya geçmesi ile birlikte başlanmıştır [48]. Şekil 4.13'de gelişmiş bir transponder görülmektedir.



Şekil 4.13. Gelişmiş Bir Transponder [12].

Yer kaynağından 1030MHz’de yapılan sorgulamaya 1090 MHz’de yanıt darbesi gönderir. Hava trafik kontrolörü tarafından pilota sesli olarak verilen transponder kodu pilot tarafından uçakta bulunan transpondere girilir. Daha sonra SSR sorgulama darbesine yanıt olarak bu kimlik ile gönderilir. Uçakta biri uçağın altında diğeri üstünde olmak üzere 2 adet transponder anteni bulunur.

Tüm A,C ve S mode transponderler üzerinde ayrıca ident butonu vardır. Bu buton Mode-A da 13.Bit (SPI) özel bir kodu aktif eder. Bu buton ile ident aktif edilip radar cihazları bu bilgiyi alınca hava trafik kontrol ekranında bir uyarı ile hava trafik kontrolöründen doğrulama istenir.

Mode-A/C transponder kodları, SSR radar sorgusuna yanıt olarak 4 dijit (octal 0000’dan 7777’ye kadar 4096 adet kod) olarak hava trafik kontrolörüne trafik ekranında görüntülenmesi için gönderilir. Her uçak hava trafik kontrolörü tarafından ayrı bir transponder koduna sahip olacak şekilde atanır. Bu her uçağın radarda kolayca tanımlanmasını sağlar.

Gözetleme sistemlerinde tüm sorgulamalar 1030 MHz’de, yanıtlar ise 1090MHz’de yapılır. Sorgulamaların şekli modlarla belirlenir. A, B, C, D ve S modları mevcuttur. B ve D modları sivil havacılıkta çok nadir kullanılmaktadır. Bu modların Türkiye’de uygulama alanı yoktur. Mode-A sorgulamada uçağın kimlik bilgisi mode-C de ise irtifa bilgisi sorgulanır. Mode-A, askeri mode-3 moduna karşılık geldiğinden genelde Mode-3/A olarak bilinir [49].

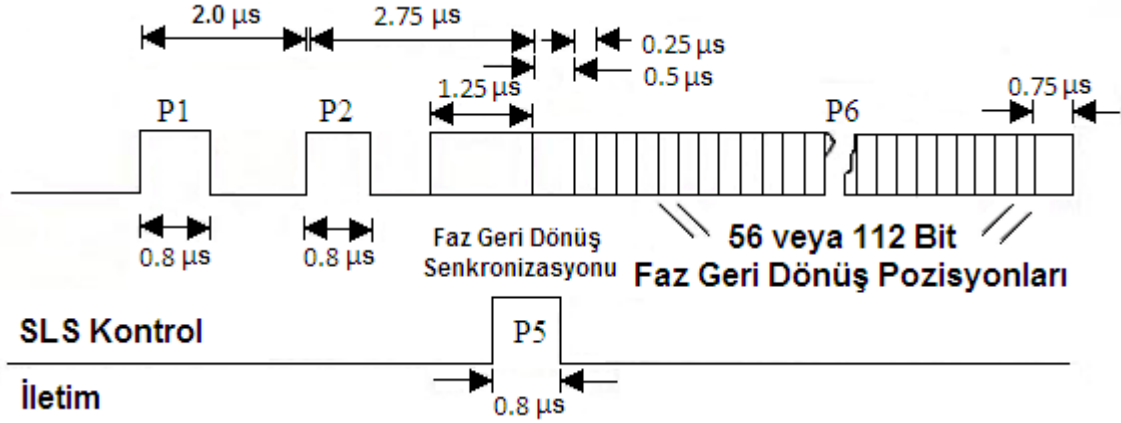
Cevaplamalar ise kod ile ifade edilir. Mode-A kodu pilot tarafından transpondere girilen 4 dijital koddur. Mode-C kodu ise 1013,2 hPa lık referans basınçta uçağın irtifa bilgisini otomatik olarak iletir. Gerekli donanıma sahip uçaklarda irtifa bilgisi daima altimetreden gelir [48].

4.4. Mode-S

Mode-S (selective) temel olarak SSR sisteminde yaşanan garbling problemlerini ve dolayısıyla mode-A ve mode-C’de ortaya çıkan sıkıntıları gidermek için kullanılmaktadır [50]. Mode-S Temel Gözetim, herhangi bir tipte Mode-S transponder ile donatılmış bir uçak tarafından sağlanabilecek temel seviye gözetimdir [51].

Mode-S ile aynı zamanda uçak kimliği de (çağrı adı ya da kuyruk numarası) elde edilebildiğinden mode-A kod sıkıntısı da ortadan kaldırılmaktadır. Mode-A kodunun çağrı adına dönüşümü gerekmemektedir. (Ancak mode-S ayrıca geçiş süresi için mode-A kodu sağlamaktadır.)

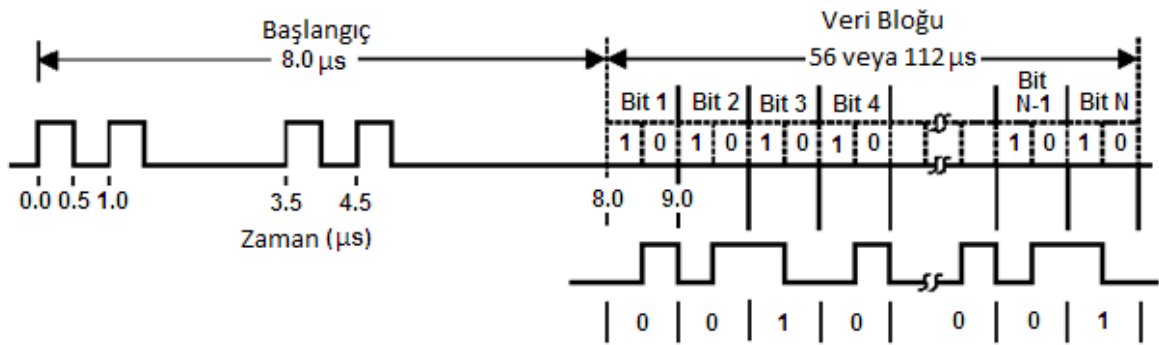
Artan hava trafiğine karşı mode-A ile sadece 4096 farklı kod tanımlanabilir olması, garbling ve fruit gibi problemlerin giderilmesi amacı ile mode-S sorgulamasını ortaya çıkarmıştır. Mode-S’te her uçak ICAO 24 bitlik adres denilen kendi koduna sahiptir [52]. Bu nedenle her uçak özel olarak sorgulanabilir. Mode-S’in kullanılabilmesi için uçaktaki transponderin mode-S uyumlu olması gerekir. Mode-S uyumlu transponderler aynı anda mode-A/C kabiliyetine de sahiptir. Mode-A ve mode-C sorgulamaların transponder tarafından ayrımı sorgulamalar esnasında gönderilen P1 ve P3 pulsleri arasındaki boşlukla algılanır. Şekil 4.14’de 1030 MHz’lik mode-S sorgulama yapısı şekil 4.15’de ise mode-S transponder cevabı (1090 MHz) görülmektedir.



Şekil 4.14. Mode-S Sorgulama (1030 MHz) [13].

Mode-S, belli bir uçaktan veri alım ve gönderimine olanak sağlamasından dolayı, data link kapasitesini de artırır. Mode-S konvansiyonel SSR'lar ile rekabet edecek şekilde tasarlanmıştır. SSR'lar gibi aynı uplink ve downlink frekanslarını kullanır. Mevcut mode-A/C transponderlar mode-S sorgulamalarına cevap veremezken, mode-S transponderler mode-A/C sorgulamalarına da cevap verirler [53].

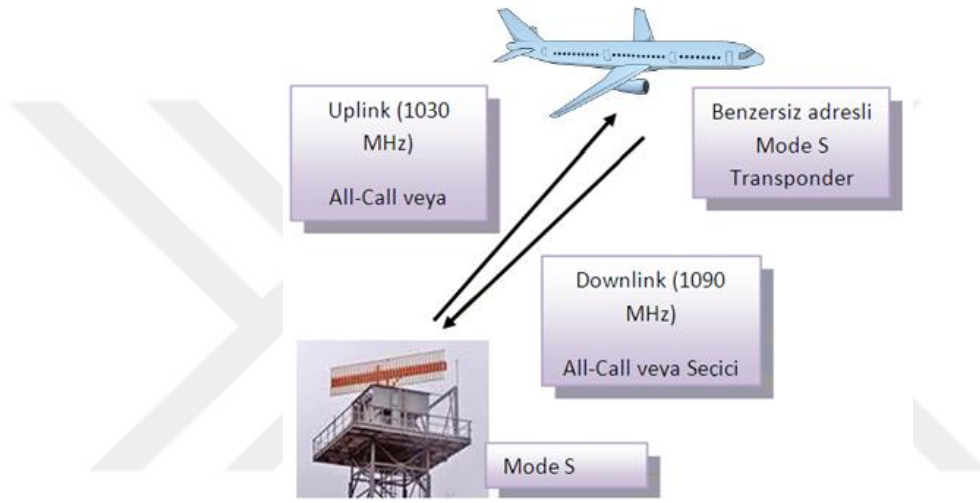
Mode-S uzun yıllar süren bir çalışma sonucu ICAO tarafından yayınlanan Annex 10'da standartlaştırılmıştır.



Şekil 4.15. 0010...001 Bit Dizisine Karşılık Gelen Cevap Veri Bloğu [13].

4.4.1. Mode-S Çalışma Prensibi

Mode-S, SSR mode-A/C gibi aynı uplink (1030 MHz) ve downlink (1090 MHz) frekanslarını kullanır. Monopulse SSR ile aynı anteni kullanır. Ancak, Mode-A/C için kullanılan basit uplink ve downlink formatlarına nazaran daha karmaşık ve farklı formatlara sahiptir. Şekil 4.16’da mode-S’in çalışma prensibi verilmiştir.



Şekil 4.16. Mode-S Çalışma Prensibi [13].

Uçakta bulunan mode-S transponderinin benzersiz 24 bitlik bir adresi vardır. Mode-S’in temel özelliği, sorgulamanın belli bir uçak için seçici olarak yapılabilmesidir. (Sorgulama mesajı adres bilgisini içerir) Seçici adreslenmiş bir sorgulama alındığında, sadece sorgulama içinde adresi bulunan uçak bu sorgulamaya cevap verir.

Mode-S cevap sinyalinde sorgulama ile elde edilen diğer bilgilerin yanı sıra uçak transponderinin adresi yer alır. Ayrıca, mode-S cevabı, mesaj içeriğini korumak için hata tespit bitleri de içerir. (ve mümkünse hata düzeltme) En basit mode-S cevabı kimlik (mode-A) veya irtifa (mode-C) bilgisini içerecektir. Mevcut konvansiyonel SSR’ların aksine, mode-S formatı bu bilgiyi koruyacağından bilginin hatalı çözülmesi mümkün değildir.

Mode-S seçici adres sorgulama uçak ve yer arasında çift yönlü bir data link sağlar.

Mode-S sisteminde ilk problem, seçici sorgulama yapılabilmesi için kaplama alanı içinde bulunan uçakların adreslerinin belirlenmesidir. Radar tarafından periyodik olarak yapılan mode-S All-Call sorgulamaları ile uçakların mode-S adresleri elde edilir. Radar kaplama alanına giren bir mode-S donanımlı uçak bu türden tüm sorgulamalara cevap verir. Cevap mesajının içerisinde de adresini gönderir.

4.4.2. ICAO Mode-S Adresi

ICAO tarafından Annex 10'da, SSR mode-S adreslerinin, tescil devleti ya da genel işaret tescil otoritesi tarafından tahsis edilen 24 bitlik 16.777.214 adresten birisi olması gerektiğini belirtmektedir [52].

Her bir tescil ünitesi, 24 bitlik adresin başlangıcını oluşturan kendi özel başlık koduna sahiptir. Otorite kayıt ettiği uçağa adres tahsisinden sorumludur. Tablo 4.2'de Avusturya'ya ait bir örnek görülmektedir.

Tablo 4.2. Avusturya'ya Ait Mode-S Adresi [13].

<u>0100 01 000</u>	X XXXX XXXX XXXX XX
AVUSTURYA (Avusturya tescilli uçaklar tarafından 9-bitlik kod kullanılır.)	Uygun Avusturya Kodları (Avusturya uçağı için 15-bitlik benzersiz kod)

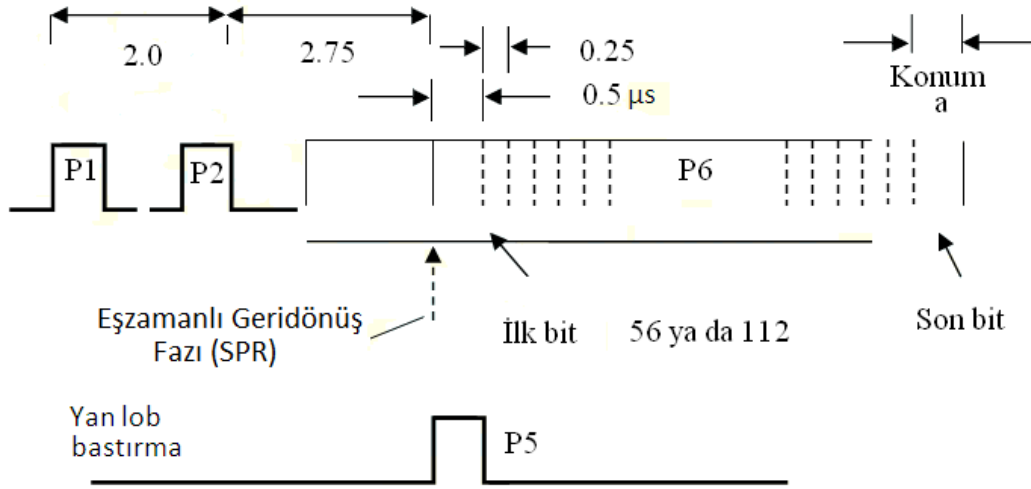
Türkiye için 32.768 adet uygun mode-S adresi ayrılmış olup, bu adreslerin tahsisi Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) tarafından yapılmaktadır. (Türkiye Mode-S adres başlık kodu, 010010111'dir.)

4.4.3. ModeS Uplink-Downlink Sinyal Formatları

Mode-S uplink mesaj formatı, sadece mode-A/C transpondere sahip olan uçakların mode-S sorgulamasını göz ardı etmelerini temin etmek amacıyla P1 ve P2 darbeleri ile başlar. Şekil 4.17’de mode-S uplink sinyal formatları gösterilmektedir.

Mode-S sorgulama bilgisi P6 darbesi içinde faz modüleli olarak bulunur. Ters yöndeki ilk faz değişimi, takip eden bilgi bitleri için zamanlama noktasıdır. Mode-S sorgulama kısa (56 bit) veya uzun (112 bit) formatta olabilmektedir.

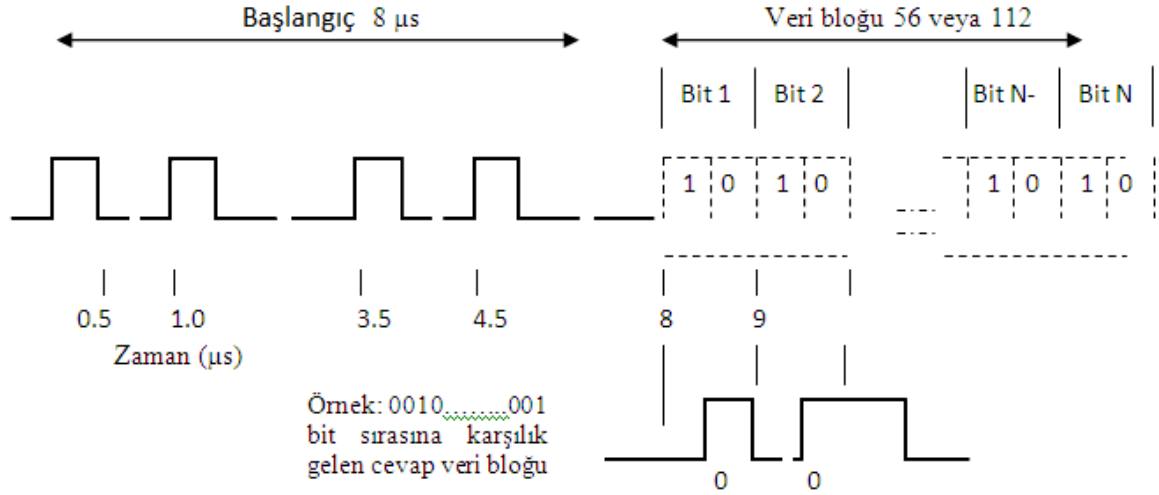
Kontrol hüzmesinden P5 mode-S yan lob bastırma darbesi gönderilir. Eğer P5 darbesi P6’dan daha büyükse, P6’nın SPR’ını boğacağından. Mode-S transponderinin takip eden bilgiyi okuyamama durumu oluşur. Bu nedenle de Mode-S transponder hiçbir zaman P5 tarafından bastırılmaz. P5’in amacı yan lob sorgulamaların okunmasına engel olmaktır.



Şekil 4.17. Mode-S Uplink Sinyal Formatları [13].

Mode-S downlink formatı darbe pozisyon kodlamalıdır. Darbe pozisyon modülasyonu, zaman domeninde darbelerin konumunun kodlandığı bir modülasyon biçimidir. Şekil 4.18’de mode-S downlink sinyal formatları gösterilmektedir. Öncelikli olarak senkronizasyon amacıyla 4 adet öncü darbe vardır. Bu darbeler arasında SSR mode-A/C cevaplarından ayırt edilmelerini sağlayacak şekilde boşluk bulunmaktadır. Bu darbeleri

takiben 1 μ s aralıklarla veri bloğu gelmektedir. Bu veri bloğu 56 veya 112 bitlik olabilmektedir [53].



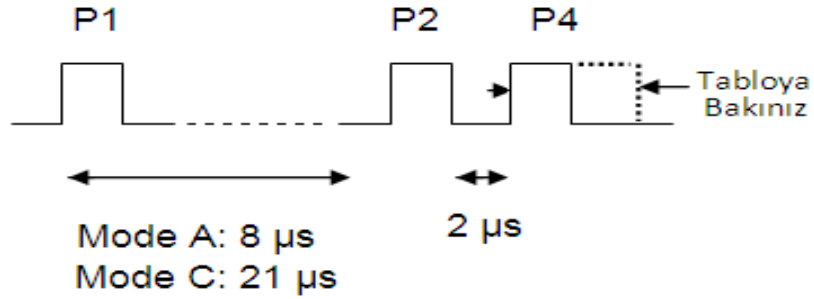
Şekil 4.18. Mode-S Downlink Formatları [13].

4.4.4. Mode-S Ara Mod Sinyal Formatları

Mode-S ara mod sinyal formatı, Mode-A/C (P1-P3) sorgulama darbelerinden sonra bir P4 darbesi içerir. Şekil 4.19’da görüldüğü gibi bu P4 darbesi, P1-P3 darbelerine cevap verecek olan Mode-A/C transponderleri tarafından ihmal edilir. P4 darbesi Mode-S transponderleri tarafından tanınır. P4 darbesinin kısa (0,8 μ s) veya uzun (1,6 μ s) olmasına göre cevap değişir.

Mode-S radar tarafından kısa P4 darbesi kullanıldığında (normal durum), Mode-S donanımlı uçak sadece Mode-S formatı ile tespit edilecektir. Yani, uçak önce all-call sorgulama ile tespit edilecek ve daha sonra seçici sorgulama ile devam edilecektir.

Mode-S all-call cevapları elde etmek için uzun P4 darbesi de kullanılabilir olmasına rağmen, özellikle II (Interrogator Identity) kodu ve all-call kilitleme (lock out) özelliklerinin bu sorgulama için güvenilir olmaması nedeniyle, nadir olarak kullanılması beklenir. Ancak bazı askeri sistemlerde, uzun P4 darbesi kullanımı Mode-S all-call cevap elde edilmesinde maliyet azaltıcı bir unsur olarak düşünülebilir.



Şekil 4.19. Mode-S Ara Mod Sinyal Formatı [13].

Tablo 4.3’de P1-P3-P4 kombinasyonlarına, Mode-A/C ve Mode-S transponderler tarafından verilen cevaplar yer almaktadır.

Tablo 4.3. P1-P3-P4 Kombinasyonlarına, Mode-A/C ve Mode-S Transponderlerin Cevapları[13].

P4 (μ s)	Transponder Tipi	
	Mode-A/C	Mode-S
0.8 μ s	ModeA/C cevabı	Cevap Yok
1.6 μ s	Mode-A/C cevabı	All-Call Cevabı
Yok	Mode-A/C cevabı	Mode-A/C cevabı

4.4.5. Mode-S Gözetim Döngüsü

Mode-S transponderli bir uçak, herhangi bir mode-S radar kaplama alanına girdiği zaman öncelikli olarak radardan, mode-S all-call sorgulamalarını alır. Transponder, kendi adresini de içeren mode-S all call cevapları ile bu sorgulamaları cevaplar.

All-call cevaplarının alınması ile radar yeni uçağın mesafesinin, açısının ve adresinin farkına varır. Radar anten ana hüzmeye içinde tipik olarak 4 ila 8 arasında all-call sorgulama yapılabilmesine rağmen, mono pulse açılı ölçümü ile uçağın pozisyonu ve adresi tek bir cevap ile elde edilebilir.

İkinci all-call cevaplarının alınmasından sonra, ölçülen iki pozisyon ile uçak track hızı hesaplanabilir. Mode-S adresini içeren bu track daha sonra roll call listesine eklenir. Sonraki taramada uçağın olması beklenen pozisyon tahmin edilir. Roll-call programcısının gerekli seçici sorgulamaları organize etmesi için, özellikle uçağın anten huzmesi içinde olması beklenen zamanı bilmesi gerekir. Uçak, anten huzmesi içine girdiği zaman, mode-S radar uçağa bir seçici adres sorgulaması gönderir. Transponderden bir cevap gelmezse, radar uçağın anten huzmesi içinde kaldığı süre boyunca daha fazla sorgulama yapmaya çalışır. Ancak bu sorgulama sayısı da tipik olarak 3 veya 4 ile sınırlıdır.

Eğer uçak seçici adres sorgulamalarına başarılı bir şekilde cevap verirse, yeni bir pozisyon elde edilir. Track bu bilgi ile oluşturulur. Ayrıca, mode-S radar uçağın artık kendi all-call sorgulamalarına cevap vermemesi yönünde talimatlandırılabilir. Diğer bir ifade ile uçak transponderinde all-call kilitlenecek (lock out) ve transponder bu radardan gelen all-call sorgulamalarına cevap vermeyecektir. Uçak radar kaplama alanı içinde kaldığı müddetçe, gözetim fonksiyonu Mode-S seçici adres sorgulama ile devam ettirilecektir. Sonunda uçak radar kaplama alanından çıkacaktır. Mode-S transponderde, all-call kilitlenmesinden (lock out) 18 saniye sonra resetlenmesi için bir zamanlayıcı bulunmaktadır. Bu nedenle, bu zaman periyodundan sonra tekrar radar kaplama alanına girdiği zaman all-call sorgulamalar ile tespit edilir. Yukarıda anlatılan bu durum yani Mode-S gözetim döngüsü Şekil 4.20’de gösterilmiştir [53].



Şekil 4.20. Mode-S Gözetim Döngüsü [13].

4.4.6. Mode-S All-Call Sorgulama

Mode-S radar kaplama alanına giren bir uçağın pozisyon ve adresinin elde edilmesi için all-call sorgulama ve all-call cevaplarına ihtiyaç vardır [53].

Hüzme genişliği başına tipik olarak 4 ila 8 arasında all-call sorgulama yapılır. Bu sorgulamalar mode-A/C uçakları tespit için yapılan mode-A/C sorgulamalar ile karışacaktır. Mode-A/C sorgulamalar normal olarak kısa P4 darbesi içerecek ve Mode-S transponderler bu sorgulamaya cevap vermeyecektir.

Mode-S all-call sorgulama formatları aynı zamanda değişken all-call cevap olasılığına imkân tanır. Yani sorgulama cevap olasılığını belirleyebilir. (Normal olarak 1'den küçük olmalıdır.) Daha sonra transponder bir rastgele numara üretici tarafından belirlenen olasılığa göre cevap verip vermeyeceğine karar verir. Değişken all-call kullanımı radarın start up zamanında ve birbirine yakın çok hedef olduğu zaman faydalı olabilir. Böyle bir durumda 2 ya da daha fazla uçaktan gelen all-call cevapları birbiri üstüne binecektir.

All-call kilitlenme (lock out), all-call sorgulamanın önemli bir özelliğidir. All call kilit (lock out) kullanımı, diğer mode-A/C ve mode-S radarlar için FRUIT olarak görünecek olan mode-S all call cevaplarını minimize eder. Ancak, çoklu Mode-S radar ortamında all call kilit (lock out) kullanımı oldukça karmaşıktır.

4.4.7. Roll-Call Program

Mode-S radar, bilinen Mode-S trackların seçici adres sorgulanmasına yönelik programlama için gereken roll-call listesini sağlar.

Programlama öncelikle tahmin edilen track pozisyonu ile tetiklenir. Bu uçağın bir sonraki anten hüzmesi içinde olması beklenen zamandır. Etkif sorgulama hüzmesi ve dönüş oranı bilindiğinden, uçağın anten hüzmesi içinde olacağı periyot bilinir hale gelecektir. Sorgulayıcı, uçağı hüzme içinde herhangi bir yerde sorgulayabilir. Ancak, hüzme merkezine ulaşılmadan önceki bir açıda sorgulama tercih edilebilir ki bu tekrar sorgulama yapmak için yeterli zaman ve ayrıca uçak manevraları durumunda hata toleransı sağlar.

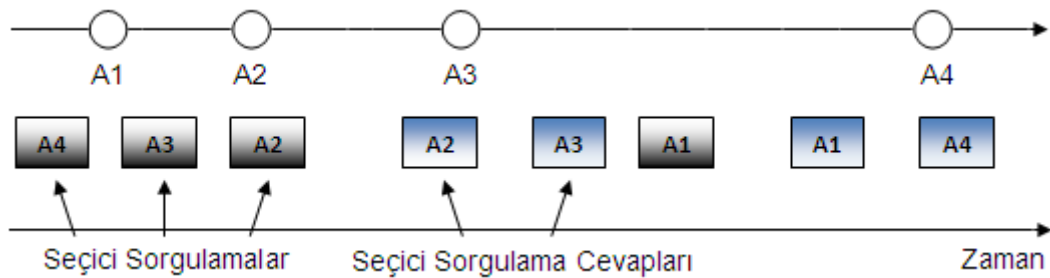
Yoğun hava sahalarında, anten hüzmesi içinde aynı anda çok fazla uçak bulunabilir. Bu durum Mode-S roll call programcı için oldukça zor bir durumdur. Tüm uçakları ayrı ayrı sorgulama ve cevapları almak için efektif bir yol organize etmelidir. Ayrıca, ilk

sorgulamalarda cevap alınamaması durumunda daha fazla sorgulama yapılabilmesi şansını sağlamalıdır. Bunun dışında, özel bir uçak için ilave bir bilgi veya data link gerekiyorsa, bu durumlara uygulamak için zaman ayarlanmalıdır.

Tablo 4.4. MODE-S Sorgulama Tipleri [13].

All-Call	Roll-Call
Radar tarafından periyodik (tipik olarak 1 derecelik) azimuth dönüşü üretilir.	Tracking ile tüm mode-S uçakların sonraki anten huzmesinde bulunacağı azimuthun tahmin edilmesi
Mode-S olmayan uçakların da tespiti için mode-A/C sorgulamalar ile karıştırılabilir.	Anten huzmesi içinde bulunan uçağa uygulanacak seçici adres sorgulamaların programlanması
Değişken all-call sorgulamalarla, birbirine yakın uçaklar ayırt edilebilir.	Gerekli cevap alınamadığı zaman, aynı huzme içinde yeni sorgulama denemelerinin programlanması
Mode-S sorgulayıcı, bir uçağı daha fazla all-call cevap vermektan alıkoyabilir.	

Aynı anda, aynı zamanda bir huzme içinde Şekil 4.21’de görüldüğü gibi farklı mesafelerde 4 uçak olduğunu varsayalım. Mode-S Radarın, bir sonraki periyodik Mode-S All-Call veya Mode-A/C sorgulamayı yapmadan önce, roll-call sorgulama yapmak ve cevapları almak için belli bir zaman dilimi vardır.



Şekil 4.21. Roll Call Örneği (Aynı Hüzme İçinde Bulunan 4 Uçak) [13].

Seçici adres sorgulamaları herhangi bir anda herhangi bir sıra ile yapılabilir. Track tahmini ile radar her bir uçağın olması beklenen mesafeyi bileceğinden, sorgulama ile cevap

arasında gerekli olan zamanı da bilecektir. Başka bir seçici adres sorgulama yapmak için, daha önce yapılan sorgulamanın cevabının alınmasını beklemez ve bu sayede ardışık sorgulamalar yapılabilir, alınan cevap zamanlarını beklenen zamanlarla karşılaştırabilir.

Bu örnekte, ilk önce en uzakta bulunan uçak (A4) sorgulanır. Bu sorgulamanın cevabının alınması için gereken süre uzun olacaktır. Bu zaman diliminde daha kısa bir mesafede bulunan başka bir uçak sorgulanıp cevabı alınabilir.

Programlayıcı, farklı uçaklardan gelen cevap sinyallerinin üst üste binmemesi için sorgulamaları ayarlayacaktır. Ancak yine de yakınlarda bulunan başka sorgulayıcıların sorgulamalarına verilen cevapların alınması yani FRUIT problemi nedeniyle, istenen Mode-S cevabının alınamaması ve mode-S sorgulamanın tekrarlanması durumu ortaya çıkabilir.

4.4.8. Sorgulayıcı Kimlik (II) Kodları

Tek başına çalışan bir Mode-S radar için kilitlenme (lock out) kullanımı oldukça basit olup, radar uçağı tüm all-call cevapları için kitleme (lock out) yapabilir. Ancak uçağın birden fazla radar tarafından tespit edilmesi istenen birden fazla mode-S radar bulunan ortamlarda, uçağın bir mode-S radar tarafından all-call sorgulamaları için kilitlenmesi (lock out) diğer mode-S radarın all-call sorgulamaları tarafından tespit edilmesini önleyecektir. Bu, Avrupa'nın farklı ülkelerinde diğer ülkelerle ortak kaplama alanına sahip mode-S radarlarının bağımsız çalışması beklendiğinde ortaya çıkan özel bir problemdir. Aynı derecede farklı organizasyonlar için (sivil ve askeri gibi) bağımsız çalışma durumu gerekli olabilir.

Bu problemi ortadan kaldırmak için, II kodlarının kullanımı ortaya çıkmıştır [54].

Mode-S sorgulayıcı bir II koduna sahip olacaktır. Radardan yapılan mode-S all-call sorgulamaları, radarın II kodunu içerecektir. Toplam 15 adet kullanılabilir II kodu vardır. II=0 özel kullanım için ayrılmıştır.

Mode-S transponder, sorgulama içindeki II kodunu tanır. Kitlemek (lock out) için kullanır. Ayrıca II kodunu data link amaçları için de kullanır. Transponder her II kodundan sonra farklı kilitlenme (lock out) durumları sürdürecektir.

II koduna sahip sorgulayıcı (örneğin II=1), transponderi aynı II kodu ile yapılacak olan all-call sorgulamalarına cevap vermemek için kitlemek (lock out) için talimatlandırır.

Ancak farklı bir II koduna (örneğin II=2) sahip başka bir sorgulayıcıdan all-call sorgulaması aldığı zaman, aynı II koduna sahip bir sorgulayıcı tarafından talimatlandırılmadığı müddetçe bu sorgulamaya kilitlenmiş (lock out) olmayacaktır.

Prensipte, II kodları 15 farklı sorgulayıcının birbiri içine geçmiş kaplama alanlarında bağımsız olarak çalışmalarına olanak sağlar. Ancak Avrupa’da gelecekte çalışması muhtemel çok fazla sorgulayıcı göz önüne alındığında bu 15 adet II kodunun yeterli kalmayacağı aşikârdır. Bu nedenle aynı II kodunu kullanan sorgulayıcı gruplar oluşturulmalıdır. Bunlar küme (cluster) olarak adlandırılır.

Hali hazırda sınırlı halde bulunan mode-S sorgulayıcı II kodu sıkıntısı, özellikle de bağımsız olarak çalışması istenen askeri sorgulayıcılar için önemli bir sorun olarak görünmektedir. Bu amaçla yakın zamanda, mode-S spesifikasyonlarında yapılan iyileştirmeler ile 64 adet SI (Gözetim Kimliği) kodu tanımlanmıştır. Bu kodlar da II kodlarına benzer şekilde kitleme (lock out) fonksiyonuna sahiptir. Ancak II kodlarından farklı olarak data link üzerinde bir rolü bulunmamaktadır. Öte yandan, henüz transponderlerin tamamı SI koduna uyumlu değildir.

4.4.9. Kümeleme (Cluster) Prensipleri

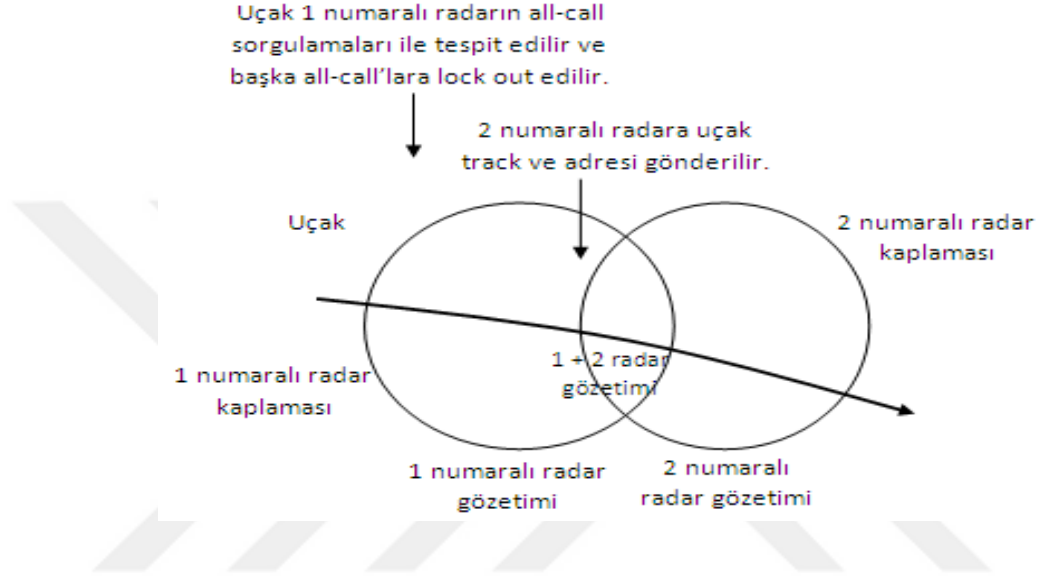
Ortak kaplama alanına sahip mode-S radarlar aynı II kodu ile çalışabilir. Ancak bu radarların kümelenmesi gereklidir. Bir küme içinde, gözetim organize edilir ve radarlar arasında track bilgi haberleşmesi bulunur [55].

Şekil 4.22’de kümeleme prensibini gösteren örnekte, ortak kaplama alanına sahip, aynı II kodu ile çalışan ve aynı kümenin parçası olan iki mode-S radar görülmektedir.

Birinci (1 numaralı) radarın kaplama alanına giren bir uçak, bu radarın all-call sorgulamalarına verilen cevaplar ile tespit edilecektir. Bu radar, roll-call listesinde bir track oluşturduğu zaman, sonraki sorgulamalar seçici adresli olarak yapılacaktır. Radar daha sonra, etraftaki başka radarlar için mode-S all-call FRUIT problemini azaltmak için uçağı all-call sorgulamalarına kilitler (lock out).

Birinci radar tarafından tek başına yapılan gözetim, radar track pozisyonunun ikinci (2 numaralı) radar kaplama alanına yaklaşmasına kadar devam eder. İkinci radar, all-call sorgulama ile uçağı tespit edemez. Çünkü uçak daha önceden aynı II kodu ile all-call

sorgulamalarına kilitlenmiş (lock out) olur. Ancak, küme organizasyonu ikinci radarın yaklaşmakta olan uçağa dair ileri düzeyde uyarılmasını sağlar. Uçağın adres ve beklenen track pozisyonu ikinci radara gönderilir. Bu bilgiler roll-call listesine eklenerek, uçağın radar kaplama alanına veya belirlenmiş başka bir alana girer girmez seçici adresli sorgulaması yapılır.



Şekil 4.22. Kümeleme Prensibi [13].

Bu sayede, ortak kaplama bölgesinde bulunan bir uçağı hem birinci hem de ikinci radar bağımsız olarak sorgulayabilir.

Kümeleme, bağımsız Mode-S radarlar arasında track bilgi haberleşmesi ile veya merkezi bir küme kontrolörü ile organize edilebilir. Ayrıca, çoklu Mode-S radarlar tarafından sağlanan ortak alanda üretilen gözetim verisi, küme içindeki haritalar ile belirlenir. Kümenin, çok fazla örtüşme olan bir bölgede hangi radarın gözetimi sağlayacağını belirlemesi mümkündür.

4.4.10. Mode-S Gelişmiş Gözetim

Mode-S Gelişmiş Gözetim, temel gözetim ile elde edilen bilgilere ilave olarak daha fazla bilgi elde edilmesine olanak sağlar. Ancak bu ilave bilginin elde edilmesi için, uçak transponder ünitesi ile aviyonikleri arasında bir ara yüze ihtiyaç bulunmaktadır.

Mode-S Gelişmiş Gözetim ile elde edilebilecek ilave bilgiler [56]:

- Uçağın mevcut durum vektör bilgisi:
 - Yer hızı ve track açısı
 - Dönüş Açısı
 - Hava hızı ve manyetik uçuş başı
- Uçak niyet bilgisi:
 - Seçili Uçuş Seviyesi
 - Seçili Uçuş Başı
 - Sonraki Waypoint

Mode-S Gelişmiş Gözetim ile elde edilebilecek bilgiler iki gruba ayrılabilir:

Öncelikli olarak, özellikle uçağın mevcut hareket durumunu (yer hızı, hava hızı, track açısı, dönüş açısı, dönüş oranı, tırmanma oranı, manyetik uçuş başı, IAS gibi) gösteren mevcut durum vektör bilgileri yer almaktadır. Bu bilgiler, yer sistemindeki uçak track hassasiyetini arttırmak için kullanılabilir.

İlave olarak uçak aviyoniklerinden elde edilecek uçuşun sonraki aşamalarına dair bilgiler (uçuş seviyesi, uçuş başı, sonraki waypoint vb.) yer almaktadır. Bu bilgiler emniyet ağları ve rota tahmin araçları için bir değer olarak kullanılabilir.

Mode-S sistemiyle ilgili olumlu ve olumsuz yönleri ile ilgili aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

Mode-S sisteminin olumlu tarafları:

- Klasik SSR problemlerini azaltır.
- Gelişmiş seviyede gözetim sağlar.
- Mevcut ACAS sistemleri ile uyumludur.
- Avrupa hava sahasında kullanım için uygundur.
- Data link haberleşmesini destekler.
- Mevcut SSR sistemleri ile uyumludur ve klasik SSR' dan Mode-S SSR sistemine geçişi destekler.

Mode-S sisteminin olumsuz tarafları:

- Yer istasyonu tesisi yüksek maliyet gerektirir. Uçak ekipmanı nispeten pahalıdır.
- Karmaşık sistem tasarımı mevcuttur.
- Etkin performans için yer networkü gereklidir.
- RF çevre kirliliği göz önüne alınmalıdır.
- Mode-S data link zorunluluğu yoktur.

5. YÜZEY HAREKET RADARI (SMR)

Yerdeki uçak ve nesneleri gösterme yeteneğine sahip radar sistemleridir. Asıl amacı, pist, apron ve taksi yolundaki (PAT sahası) uçakların hareketlerini güvenli bir şekilde yapmalarını sağlamaktır. Uçakların PAT sahasındaki durumlarını, bu yüzeylerde uçaklara zarar verebilecek nesnelerin tespit ve gözlemlenebilmesine imkân verirler. Gerekirse PSR olarak da kullanılabilir. Özellikle görüşün kısıtlı olduğu sis, yağış ve gece durumları ile kuleden uzak noktalardaki hareket ve durumların izlenmesi için kullanılırlar. Hedefler hakkında oldukça ayrıntı içerir. Hedefin araç mı, uçak mı olduğu, hatta belirli bir tecrübeden sonra uçak tipi bile anlaşılabilir. SMR, 2–3 NM kaverajında ve 60 RPM dönüş hızına sahiptir [12, 13]. Esenboğa Havalimanında kullanılan SMR sistemi anten kulesi Şekil 5.1’de görülmektedir.

SMR’lar yüzeydeki uçak ve nesneleri, nitelikleriyle bağlantılı bir iz (leke) olarak gösterirler. Kodlu tanımlama için uçaklarda bulunan transponder ve PAT sahasındaki araçlara takılan squitter cihazlarını takip edebilen MLAT (Multilateration) sistemiyle birlikte çalıştırılarak, bu lekeler uçak ve araçların transponder/squitter kodlarıyla eşleştirilirler. SMR ve MLAT’ın beraber bulunduğu sisteme A-SMGCS adı verilir. SMR, pist üzerindeki potansiyel çarpışmalara ilişkin olarak kontrolörü uyarır. SMR aynı zamanda A-SMGCS sistemi için anahtar eleman konumundadır.



Şekil 5.1. Esenboğa SMR Anten ve Kule

SMR sistemi, hizmetin sürekliliği açısından dual olarak tasarlanmış olup çalışma frekansları 9,170 GHz (f1) ve 9,438 GHz (f2)'dir. Türkiye'de sivil havacılık sektöründe çalışan SMR sistemin dual çalışması gerçek anlamda yedekleme anlamını taşımamaktadır. Çünkü her iki kanalın farklı frekanslarda olması sebebiyle, sistemin yapılışı gereği, kanalların kapsama alanları farklı olup birbirini tamamlayıcı özelliktedir. Bu sebeple herhangi bir kanal arızalandığı zaman, sensör tamamen devre dışı kalmaz. Ancak kaveraj kaybına uğrar [12, 13].

5.1. Alıcı-Verici Donanımı ve Fonksiyonu

Alıcı, verici sorgulama darbesini ortama yayınladıktan sonra, devreye girer. Yani vericinin çevreye göndermiş olduğu elektromanyetik dalgaların, cisimlere çarparak geri dönen yankılarını almaya başlar. Bu işaretleri demodüle ederek video işaretini elde eder.

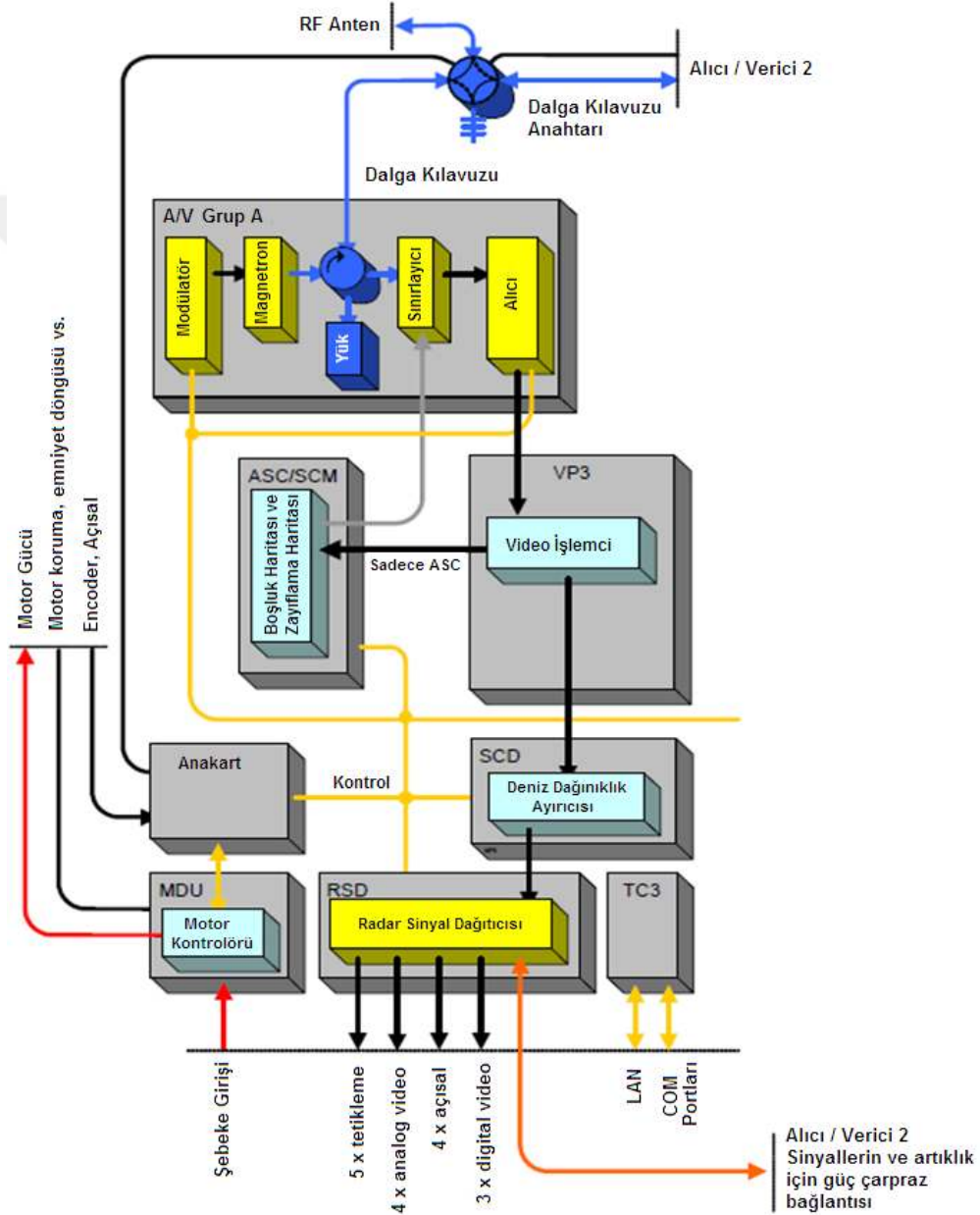
Alıcı tekniği süperheterodin olan bir alıcıdır. Süperheterodin alıcıda elde edilen ara frekans, alıcı tarafından alınan işaretin taşıdığı tüm darbe şekillerini kendi üzerinde taşır. Ara frekanslı işaret, ara frekans katında çeşitli filtrelerden geçirilerek demodülasyon için dedektör katına gönderilir ve video işareti elde edilir. SMR sisteminde verici ve alıcı için bir anten kullanıldığından, verici antenden yayın yaparken, alıcının girişi sirkülatör (circulator) tarafından korunur. Yani vericinin yüksek güçlü işareti sirkülatör tarafından tutularak alıcının giriş devrelerinin zarar görmesi önlenmiş olur. SMR, 100 MHz frekanslı ara frekans devresine sahiptir. SMR sisteminin blok diyagramı Şekil 5.2'de verilmiştir.

Frekans diplexer, her iki kanalın vericisinden gelen işaretlerini birleştirerek antene verir. Aynı şekilde antenden gelen işaretleri her iki kanalın alıcısına gönderme işlemini gerçekleştirir.

Blok şemada da görüldüğü üzere, kanalların alıcı ve vericileri aynı blok içinde yer almaktadır. Alıcı ve vericiler bir sirkülatör vasıtasıyla antene bağlanmışlardır. receiverden elde edilen radar videosu VP3 (Video İşlemci) bloğuna gelmektedir.

Türkiye'de kullanılan SMR sisteminde SCD bloğu bulunmamaktadır. VP bloğundan çıkan dijital video işareti, servis bilgisayarına gitmek üzere radar sinyal dağıtıcı (RSD) bloğuna gider. VP bloğundan diğer bir işaret de uyarlanabilir hassasiyet kontrolü (ASC) bloğuna giderek alıcının giriş seviyesinde ayarlama yapar.

Bloklar arasındaki tüm haberleşme kontrol alanı ağı (CAN) sistemi tarafından yapılır. (sarı çizgilerle gösterilen hatlar) Alıcı-Verici kontrol cihaz (TC) bloğu, tüm blokların kontrol işlevini yerine getirir. Encoderden gelen açısız değişim darbe (ACP) bilgileri ana kart bloğu tarafından CAN bus aracılığı ile VP bloğuna iletilir.



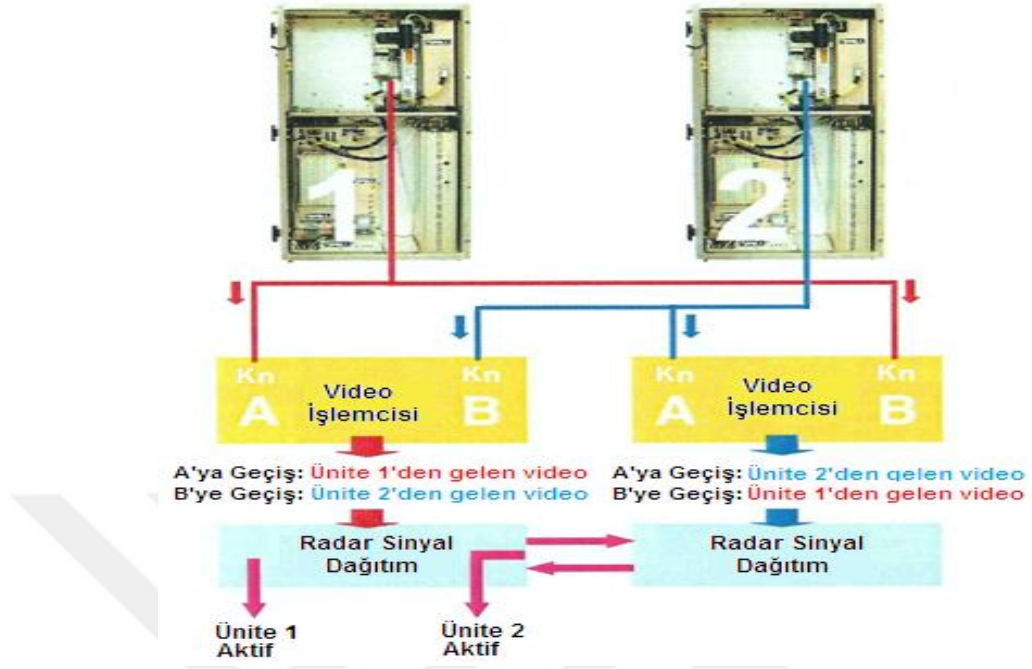
Ana dağıtım birimi (MDU), sistemin elektrik bağlantısını sağlar. Ayrıca Motor kontrolörü bloğu yardımıyla anten motorunu kontrol eder. Motor koruma devreleri ve güvenlik anahtar kontrol devreleri de bu blokta bulunmaktadır.

Alıcı ve verici bloklarının zamanlaması çok önemlidir. Çünkü verici aktif olduğu zaman alıcının, alıcı aktif olduğu zaman vericinin aktif olmaması gereklidir. Vericinin zamanlaması modülatör tarafından sağlanır. Sistemin genelinde zamanlama saat işaretlerinin üretimi kontrolü ve dağıtımı, TC ve ana kart blokları tarafından yapılır. Bloklar arasındaki iletim CAN bus tarafından gerçekleştirilir. North ve ACP bilgileri ana kart tarafından VP bloğuna iletilir.

Frekans çeşitliliği özelliği, bir antenle ayrı frekanslarda sorgulama yapılabilmesi özelliğidir. Şekil 5.3’de f_1 ve f_2 frekanslarının vericiden antene bağlantısı, Şekil 5.4’de ise çift frekans çeşitliliğinin sistem içerisindeki yapısı gösterilmiştir.

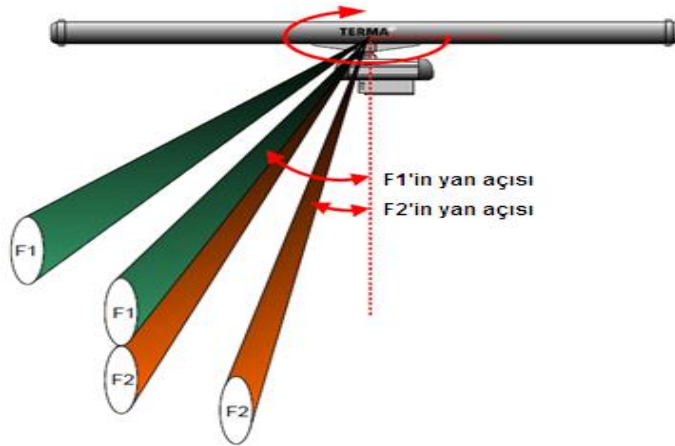


Şekil 5.3. f_1 ve f_2 Frekanslarının Antene İletilmesi [57].



Şekil 5.4. Çift Frekans Çeşitliliği [57].

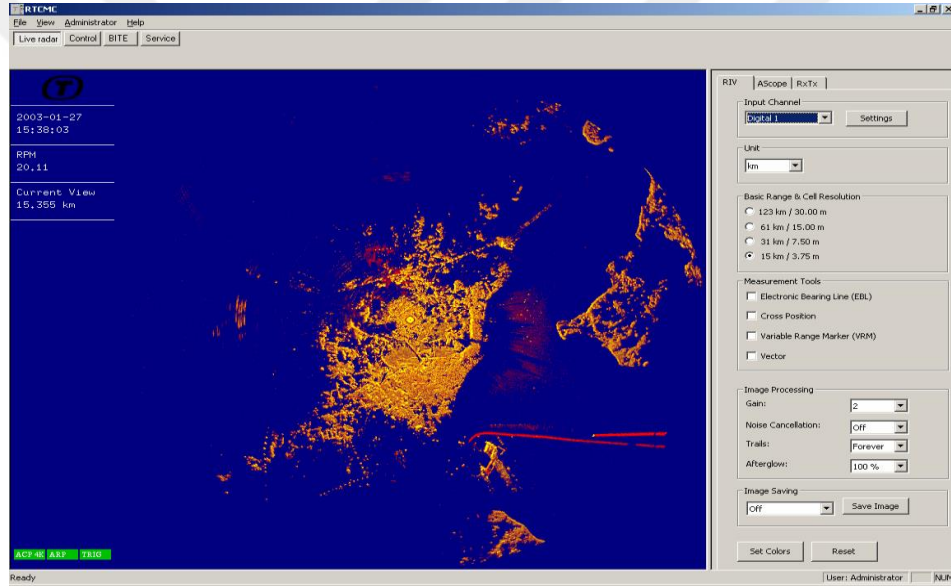
Şekil 5.5'de, tek antenden yayın yapan, kanal frekansları ayrı, iki kanallı (dual) sistemin anten hüzmesi sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Farklı Frekansa Göre Antenin Işıma Hüzmesinin Değişimi [57].

SMR sisteminin hizmet ekranı Şekil 5.6’da gösterilmiştir. Hizmet ekranında gözlem ve kontrol edilebilen konular şunlardır:

- Radar resmi görüntüleyiciye (RIV) ulaşarak, RAW video’nun canlı olarak izlenebilmesini sağlar. Alıcı/Verici ve göstergenin kontrolü yapılarak izlenen RAW video ayarları yapılabilir.
- Radarla ilgili çok kullanılan parametrelerin değişikliğini sağlar.
- Bite birimi tarafından tespit edilen hataları ve ölçülen değerleri okumaya yarar.
- Bütün modüllerin kurulumlarının yapılmasını sağlar.



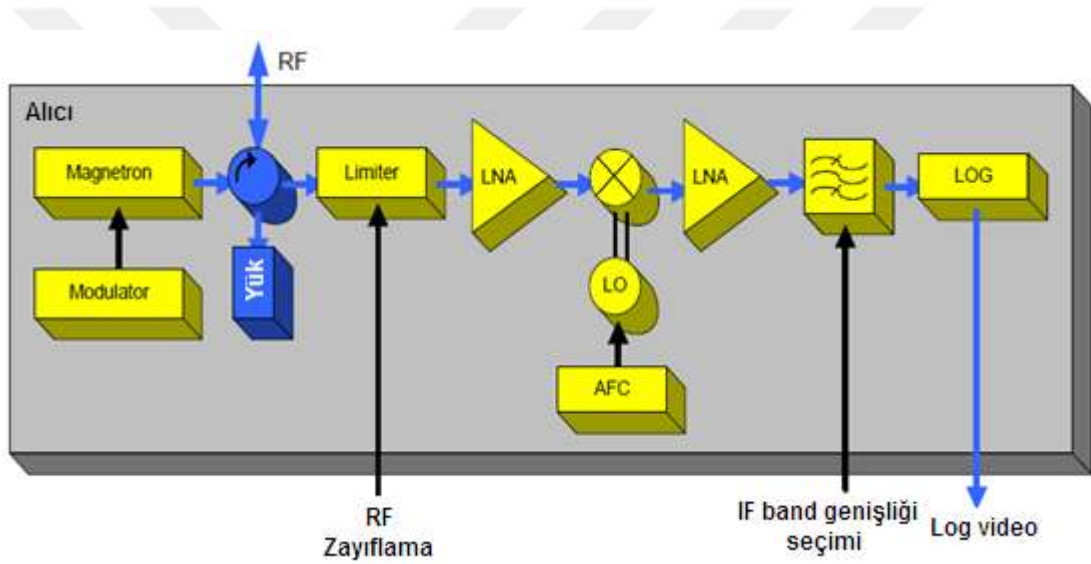
Şekil 5.6. SMR Hizmet Ekranı Görüntüsü

SMR sistemi tek başına hedef belirleyen bir sistemdir. Yani belirlenmesi istenen hedefte herhangi bir cihaz veya özel bir donanım bulundurulması gerekmez. Dolayısı ile kendi gönderdiği işareti kendisi dinleyen nadir sistemlerden (non-co-operative) biridir.

SMR vericisi, döner anten vasıtasıyla, ortama elektromanyetik darbeler gönderir. Bu darbelerin gönderilme sebebi, darbelerin elektromanyetik dalgaların yansıma özelliğine göre cisimlerden ve hedeflerden yansarak alıcıya gelmesini sağlamak içindir. Alıcı içerisindeki katlar Şekil 5.7’de gösterilmiştir. SMR için kullanılan darbe genişlikleri ve isimleri Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. SMR’da Kullanılan Sorgulama Darbelerinin Uzunlukları ve PRF Değerleri

DARBE		DARBE GENİŞLİĞİ	PRF (Hz)
VSP (Very Short Pulse)	Çok Kısa Darbe	40 ns	800-8000
SP (Short Pulse)	Kısa Darbe	50-120 ns	800-8000
MP (Medium Pulse)	Orta darbe	120-300 ns	600-3300
LP (Long Pulse)	Uzun Darbe	300-600 ns	400-2200
VLP (Very Long Pulse)	Çok Uzun Darbe	600-1000 ns	400-1000



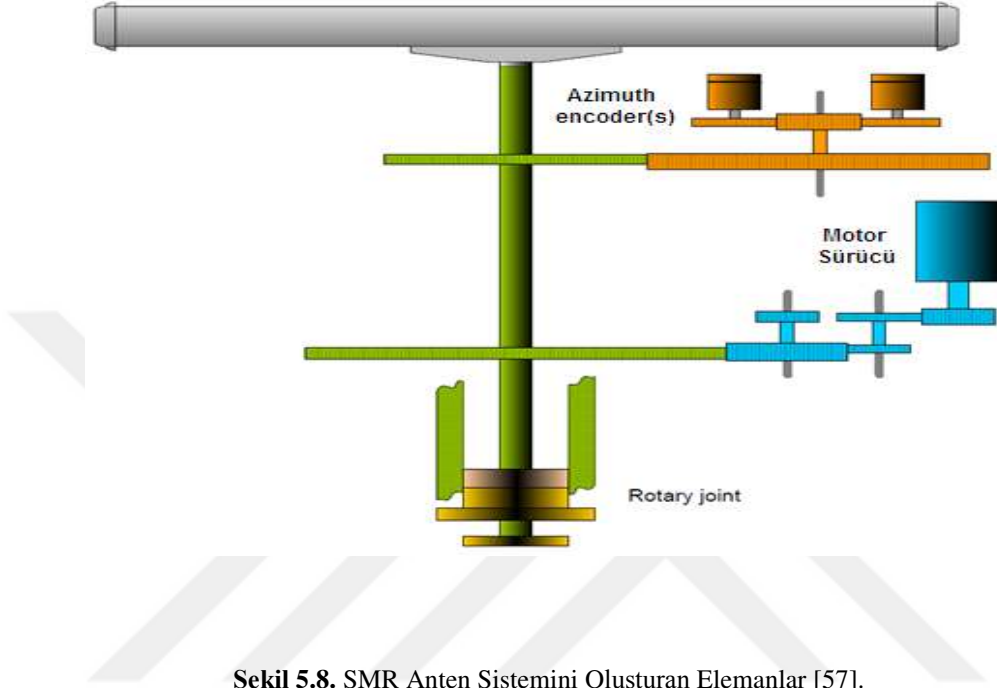
Şekil 5.7. Alıcı İçerisinde Bulunan Katlar [57]

5.2. Anten Donanımı ve Fonksiyonu

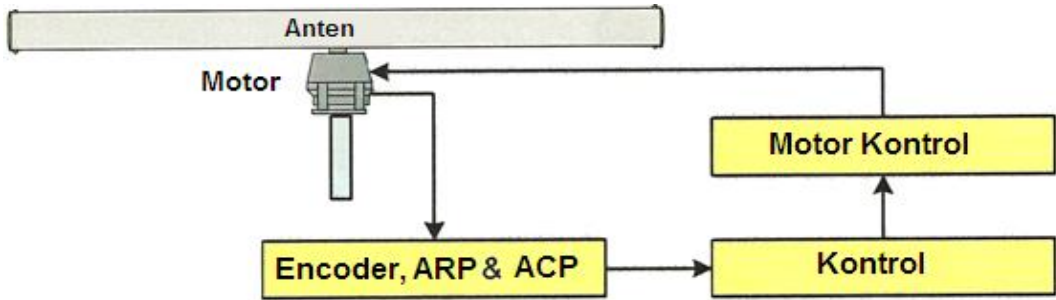
Anten sisteminin ana parçalarını ve bu parçaların fonksiyonları Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Anten sisteminin ana parçaları; anten ünitesi, açısız kodlayıcı (çift olarak kullanılabilir), anten sürücü motoru, motor devrini anten devrine uyarlayan hız düşürücü dişli grubu, devir düşürücü dişli takımı ve rotary joint (döner bağlantı)’den oluşur.

Anten kontrol sistemi, Encoder ünitesinden alınan 8192 ACP darbesi ve kuzey darbesinden yararlanılarak antenin dakikada yaklaşık 90 devir atması sağlanır. Kontrol ünitesi motor devrinin düzenlenmesi için frekans çevirici bloğunu kontrol eder. Tüm

kontroller TC3 modülü veya servis bilgisayarı vasıtasıyla yapılmaktadır. Şekil 5.9’da anten kontrol sistemi görülmektedir.



Şekil 5.8. SMR Anten Sistemini Oluşturan Elemanlar [57].



Şekil 5.9. SMR Anten Kontrol Sistemi [57].

Antenin durum bilgisi "encoder" ünitesi tarafından sağlanır. Encoder ünitesi, Antenin her devrinde bir adet kuzey darbesi ve 8192 adet ACP verir. Böylece sistemin açısal çözünürlüğü 0,0439 dereceye kadar ulaşır. ACP ve kuzey bilgileri ana kart tarafından ilgili birimlere dağıtılır.

6. KUŞ TESPİT RADAR SİSTEMİ

6.1. Sistemin Genel Tanıtımı

Havaalanı/mevkiine ait kritik sahalarda, süzülen kuşların göç yolları üzerinde bulunması nedeni ile oluşabilecek kuş-uçak çarpışmalarını önleme maksadıyla kuş tespit radar sistemi kullanılmaktadır.

PSR ve SMR sistemlerinde olduğu gibi radyo dalgaları kullanılarak nesnelerin tespiti ve konumlandırılmasına imkân sağlayan bir sistemdir. Kuş tespit radar sisteminin çalışma prensibi genel olarak, antenden gönderilen bir RF dalganın, uzaydaki bir cisme çarpıp geri yansması sonucu antene geri gelmesi ile hedefin tespit edilmesine dayanmaktadır. Sistem, uçuş emniyetini tehdit edebilecek kuş sürülerinin, etkisini ortadan kaldırmak için kullanılmaktadır. Diğer taraftan gerçek zamanlı bilgileri gösteren inceleme / araştırma / raporlama kullanıcı ara yüzleri; kuş güzergâhlarını, uçuş yüksekliklerini, göç mevsimlerini, kuş yoğunluklarını belirleyerek kullanıcının isteğine göre istatistiksel rapor üreten ve kaydeden analiz yazılımlarına sahiptir [58]. İstanbul Atatürk Havalimanında bulunan bir kuş tespit radar sistemi Şekil 6.1’de görülmektedir.

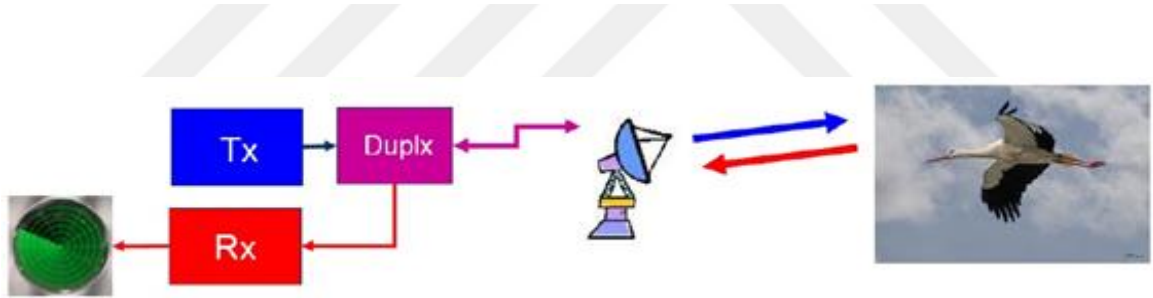


Şekil 6.1. Atatürk Havalimanı Kuş Tespit Radar Sistemi

Kuşlar, uçaklar ile mukayese edildiğinde çok küçük bir cisim olmalarından dolayı yansıyan radyo frekans sinyallerinin enerjisi çok küçük olduğundan, radar sistemlerince tespit edilmesi teknolojik açıdan oldukça zordur. Bu maksatla özel olarak tasarlanan elektronik alıcı devreleri ve algoritmaları geliştirilmiştir. Kuş tespit radar sistemine ait temel yapı Şekil 6.2’de gösterilmiştir.

Kuş tespit radar sistemi, Şekil 6.3’de görüldüğü gibi uçak ve kuş çarpışmaları sonucunda uçakların zarar görmesi ve uçuş emniyetinin azalması sonucunda, yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Tübitak tarafından geliştirilen yerli üretim kuş tespit radar sistemlerinde, donanım geliştirme ile bir adet S Band darbe (pulse) radarı ve bir adet X Band FMCW radarı eklenerek, operatör ara yüzünün yazılımsal olarak iyileştirilmesi sağlanmıştır. Bu şekilde tespit edilen hedeflerin kuş, kuş sürüsü ve uçak kapsamında sınıflandırılabilmesi, yatay ve dikey radar bilgilerinin tek bir ekran üzerinde kaynaştırılarak (fuse edilerek) gösterilmesi amaçlanmıştır [58].



Şekil 6.2. Kuş Tespit Radar Sisteminin Genel Yapısı



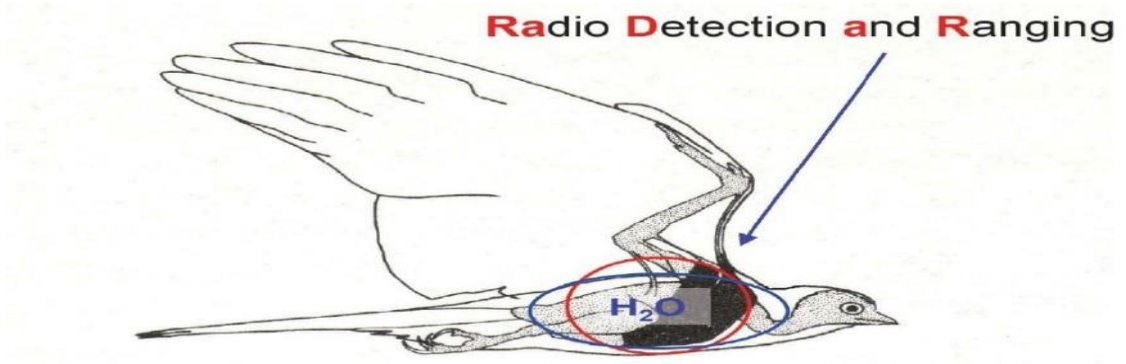
Şekil 6.3. Kuş Uçak Çarpışmaları Sonucundaki Zararlar

6.2. Sistem Parametreleri

Radarın performansı, tespit performansı ile hassasiyet/doğruluk parametreleri tarafından belirlenir. Uçuş sayısının yoğun olduğu havalimanlarında gözlem yoluyla tespit edilen kuş sürülerinin varlığı kuş tespit radar sistemleri ile daha hassas tespit edilmesi mümkün olmuştur. Bir kuş radarı insan gözünden farklı olarak aşağıdaki yeteneklere sahiptir:

- Uzun menzil
- Hassasiyet
- Gündüz/gece/olumsuz hava şartları
- Gerçek zamanlı gösterim
- 360° gözlem
- Sayısız kuşun takibi
- Sayısal kayıt ve depolama
- Uzun dönem eğilim analizi

Bu özelliklere sahip olmasına rağmen, kuş radar sistemi insan gözünün 2 yaşında bir erkek leylek ile 10 yaşındaki bir dişi leyleği ayırt etmesi gibi bir kabiliyete sahip değildir. Kuşların tespitinin yapılmasındaki en büyük etken, kuşların yansıtma özelliği gösteren sıvı kısımlarıdır. Bundan dolayı kuşlar en iyi yan profilden tespit edilebilir. Bu durum Şekil 6.4’de görülmektedir.



Şekil 6.4. Kuşların Sıvı Kısımlarının Yansıtma Özelliği

Kuş tespitinde önemli faktörler şunlardır:

- Mesafe (radar ile kuş arasındaki),
- Kuşun boyutu,
- Kuşun görüş açısı,
- Çoklu yol etkisi,
- Radar sinyal yayılımı ve gürültü,
- Yer kargaşası,
- Sabit ve dönen hedefler,
- Yağış,
- Kuş tracker kabiliyeti.

(6.1)'deki serbest uzayda radar denklemi uyarınca, kuşun yansıtma özelliği, menzile ters orantılı olup, menzilin 4.kuvveti oranında azalmaktadır.

$$P_r = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (6.1)$$

Örnek olarak 2000 metrede bulunan ve 0.01m²'lik bir radar kesit alanına sahip bir kuş (büyük), S-band radar tarafından tespit edilmesi halinde alınan eko gücü değeri;

$$P_r = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} = \frac{30000W \cdot 400 \cdot 400 \cdot (0,1)^2 \cdot 0,01}{(4\pi)^3 \cdot (2000)^4} = 1,5 \cdot 10^{-11} W$$

olarak bulunur.

Etkin bir kargaşa filtrelemesi ile yer kargaşası, dönen nesnelerden kaynaklı kargaşalar ve kar kaynaklı kargaşaların önüne geçilmesi sağlanır. Bu şekilde kuşların tespiti sağlanabilir.

6.3. Sistem Bileşenleri

Kuş tespit radar sisteminde biri yatay yönde tarama yaparak hedeflerin tespitini sağlayan yatay radar, diğeri de dikey yönde tarama yaparak hedefin yüksekliğini tespit eden dikey radar olmak üzere 2 tipte radar anteni kullanılmaktadır.

Sistem, yatay ve dikey radar algılayıcılardan oluşan algılayıcı yerleşkesi ve elde edilen gerçek zamanlı ve kaydedilmiş bilgileri sergileyen kullanıcı ara yüzlerini barındıran operasyon merkezidir [58]. Ana sistem konfigürasyonu Şekil 6.5’de gösterilmiştir.



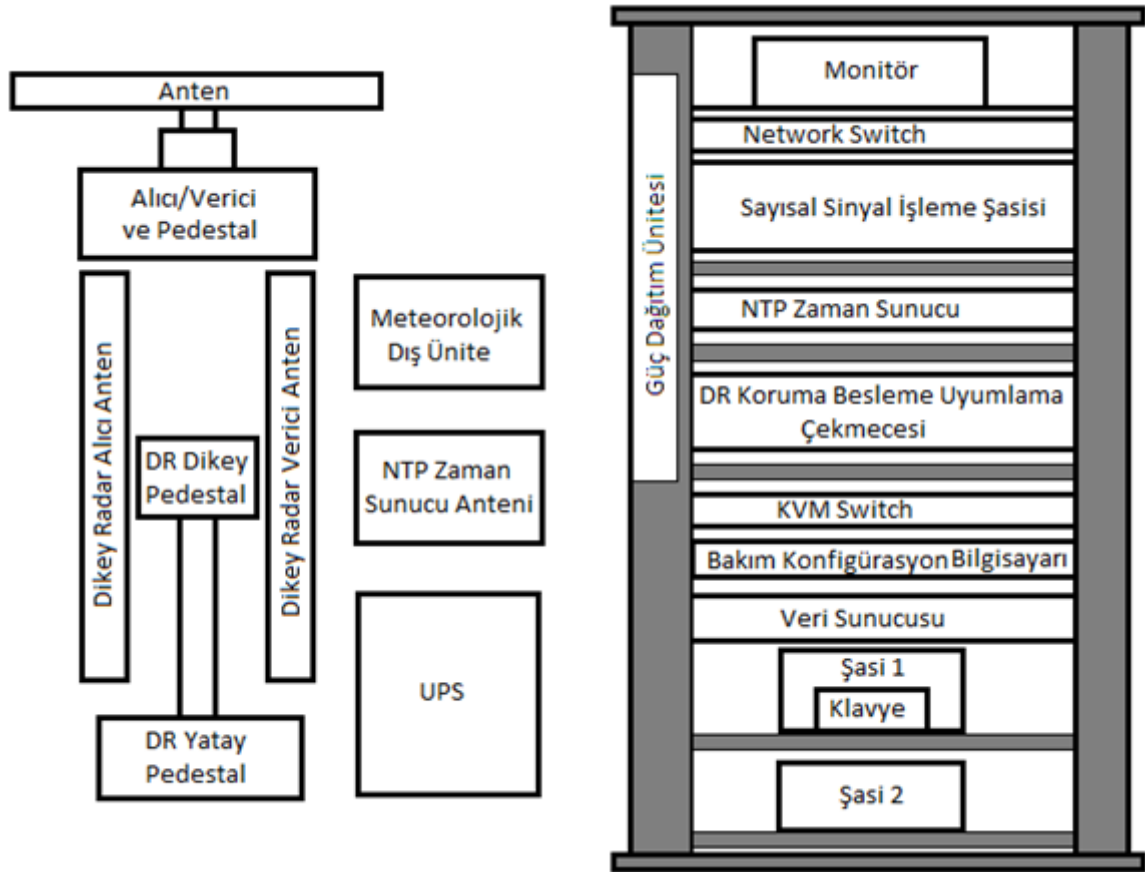
Şekil 6.5. KUŞRAD Ana Sistem Konfigürasyonu [58].

Algılayıcı yerleşkesi içerisinde sırasıyla:

- Dikey Radar (İç üniteler dahil)
- Yatay Radar (İç üniteler dahil)
- Network Switch
- Sayısal Sinyal İşleme Şasisi
- NTP Sunucusu (Anten dahil)
- Meteorolojik Ölçüm İstasyonu (Birden fazla algılayıcı yerleşkesi kullanılması durumunda operasyon merkezinde bulunacaktır.)
- KVM Switch
- Bakım Konfigürasyon Bilgisayarı

- Veri Sunucusu (Birden fazla algılayıcı yerleşkesi kullanılması durumunda operasyon merkezinde bulunacaktır.)

bileşenlerini içermektedir. Bu bileşenler Şekil 6.6’da gösterilmiştir.



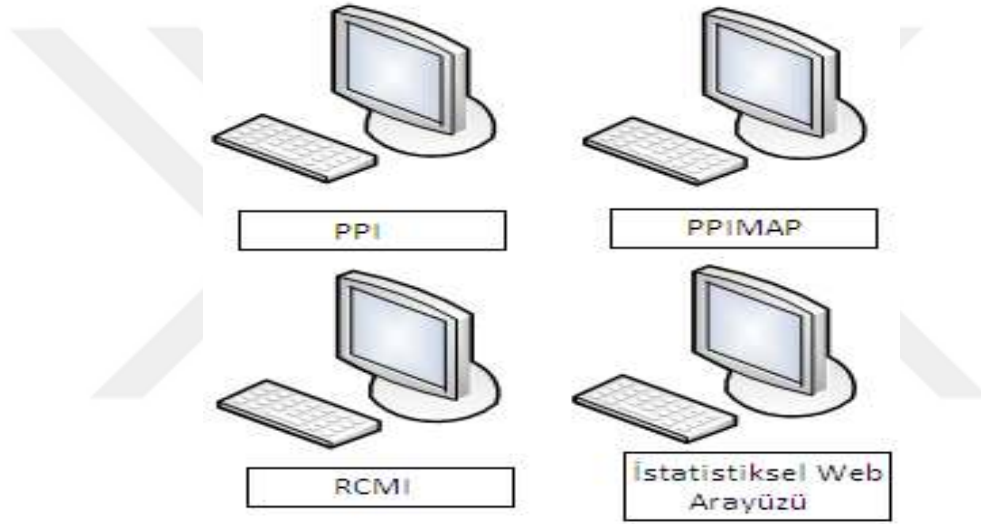
Şekil 6.6. KUŞRAD Sistemi Algılayıcı Yerleşkesi Üniteleri [58].

Operasyon Merkezi ise sırasıyla;

- PPI Arayüz Bilgisayarı
- PPIMAP Arayüz Bilgisayarı
- RCMI Arayüz Bilgisayarı
- Web Arayüz Bilgisayarı

bileşenlerini içermektedir. Operasyon merkezine ait bileşenler Şekil 6.7’de gösterilmiştir.

Radar eko verilerinin gösterimi, PPI ara yüzünde, kullanıcıya daha anlaşılır ve harita altlığı kullanılarak tespit ve iz bilgilerinin sergilenmesi, PPIMAP ara yüzünde gerçekleştirilmektedir. PPIMAP ara yüzünün diğer bir özelliği de dışarıdan beslenen ASTERIX formatındaki verileri gösterebilmesidir. Sistemde mevcut radarların kontrolü ve durumlarının sergilenmesi amacıyla RCMİ ara yüzü kullanılmaktadır. Sistemdeki tüm yazılım bileşenleri, ethernet switch üzerinden birbirleriyle haberleşebilmektedir. Donanım bileşenleri ise RS-422 bağlantı ara yüzü üzerinden haberleşebilmektedir [58].



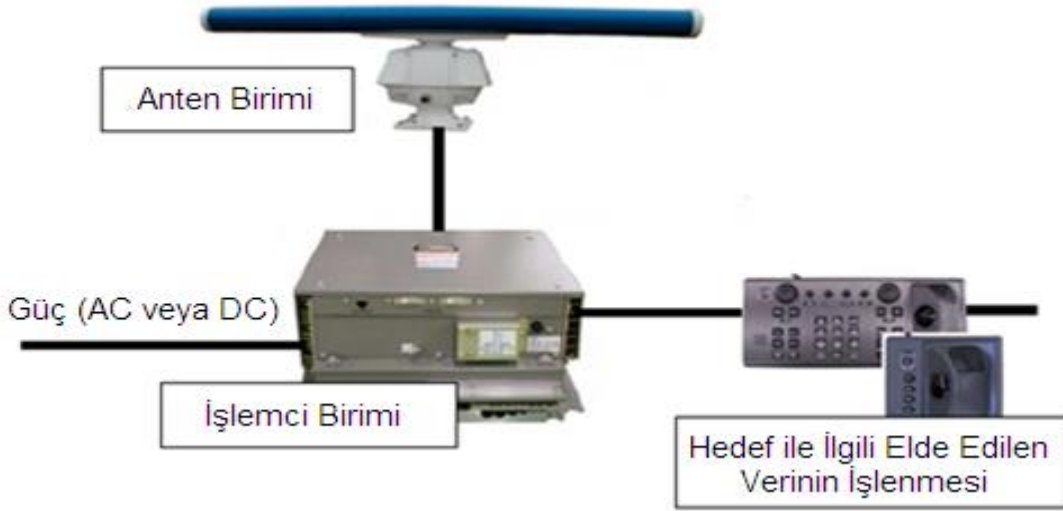
Şekil 6.7. KUŞRAD Sistemi Operasyon Merkezi [58].

Yatay tarama fonksiyonu için S-bant yatay radar kullanılmaktadır. Bu radar sistemine ait teknik özellikler Tablo 6.1’de verilmiştir. Yatay radar genel yapısı Şekil 6.8’de görülmektedir.

Tablo 6.1. S Bant Yatay Radar Sisteminin Teknik Özellikleri [58].

Frekans	3050 MHz
Anten Huzme Genişliği	1.8° H, 25° V
Anten Dönüş Hızı	21 rpm
Tespit/Takip Menzili	40 km

Menzil Çözünürlüğü	<20m
Çıkış Gücü	60 kW tepe
Darbe Genişliği	0,2-0,6-1,2 μ s
PRF	1100-600-500 Hz
Maksimum iz sayısı	500
Takip edilebilen hedef hızları	2-100 m/s
Çalışma Sıcaklığı	-20° ile +50°



Şekil 6.8. Yatay Radar Genel Yapısı [58].

Kuş tespit radar sistemi hedef tespiti için yatay radar taramasının yanında aynı zamanda dikey radar taraması da yapar. Kuş tespit radar sisteminin dikey radar alıcı/verici anteni Şekil 6.9’da görülmektedir.



Şekil 6.9. KUŞRAD Dikey Radar Alıcı/Verici Anten [58].

Kuş tespit radar sisteminin genel teknik özellikleri de Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2. KUŞRAD sistemi teknik özellikleri [58].

Özellik	Açıklama
Sensörler	Yatay Radar (YR), S bant darbe radarı Dikey Radar (DR), X bant katı hal eşevreli FMCW radar
İşlevler	-3B hedef tespiti ve izlenmesi -İzlenen hedeflerin kuş, kuş sürüsü ve uçak olarak sınıflandırılması -Kritik sahalara giren ve kuş, kuş sürüsü olarak sınıflandırılmış hedefler için sesli ve görsel alarm üretme -Geri oynatma için eko verisi kaydı -İstatistiksel analiz için tespit ve iz bilgisi kaydı -İstatistiksel veriye uzaktan erişim imkânı
Bileşenler	Algılayıcı Yerleşkesi (YR, DR, Sinyal İşleme Bileşeni, Konfigürasyon ve Bakım Bilgisayarı, NTP Zaman Sunucu, Meteorolojik Ölçüm İstasyonu, UPS) Operasyon Merkezi (Video ve Veri Kayıt Bileşeni, Operatör Konsolları, UPS)
Modlar	-Mode 1, DR ile 3B tüm uzay taraması, tespit ve füzyon -Mode 2 (10 km), DR ile daraltılmış sektör taraması, tespit, takip ve füzyon -Mode 2B (20 km), DR ile daraltılmış sektör taraması, tespit, takip ve füzyon

Anten Hüzme Genişlikleri	1.8° yatay, 25° dikey (YR), 0.8° dikey, 10° yatay (DR)
Anten Dönüş Hızı	21 rpm (YR), <120°/s (DR)
Tespit ve Takibe Yönelik Menzil Sınırı	40 km (YR), 20 km (Mode 1 ve 2B DR)
Çözünürlük	<20m (YR), < 6m (DR Mode 2)
Güç	60 kW tepe (YR), 30 W sürekli (DR)
Frekans Tarama Süresi	312,5 µs
PRF ve Darbe Süresi	1100-600-500 Hz (YR), 0,2-0,6-1,2 µs (YR)
Doppler İşleme	64 tarama (Mod 2 DR), 32 tarama (Mode 1 DR)
Takip Hız Limitleri	2-100 m/s
Maksimum İz Sayısı	500
Çalışma Sıcaklığı	-20° ile +50° aralığında
Kullanıcı Arayüzleri	Operasyon Merkezi üç adet operatör konsolu ihtiva etmektedir. Bunlar operasyonel monitör, coğrafi monitör, teknik monitör ve istatistiksel monitördür.
Sistem Arayüzleri	ASTERIX CAT240 video, ASTERIX CAT34 servis, ASTERIX CAT48 tespit ve iz

7.SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyadaki hızla gelişen ve büyüyen sivil havacılık sektöründe en önemli çalışmalardan birisi emniyetli uçuşların yapılabilmesi amacıyla hava araçlarının konum bilgilerinin elde edildiği radar sistemleridir. Havacılık sektöründeki küresel serbestleşme, artan rekabetin getirdiği sektördeki yenilikler ve değişimler ile beraber artan hava trafiğinin kontrol edilmesi noktasında radar sistemleri, gün geçtikçe çok daha önemli hale gelmiştir. Son dönemde ülkelerin terör saldırılarına maruz kaldığı düşünüldüğünde (11 Eylül saldırıları gibi) özellikle sivil havacılığın daha güvenli yapılması noktasında PSR ve SMR gibi radarların önemi ortaya çıkmaktadır. Ayrıca okyanus bölgesinde hava araçlarının konumlarının daha net elde edilebilmesi noktasında yine radarlara olan ilgi artmaktadır.

Ülkemizin üç kıtanın ortasında kilit konumda gelişmiş pazarlar ile gelişmekte olan pazarlar arasındaki uçuş rotaları üzerinde bulunması büyük bir avantajdır. Havayolu açısından sahip olduğumuz bu coğrafi üstünlüğü dikkate alarak havayolu ulaşımına stratejik alan olarak yaklaşmamız kaçınılmazdır. Aynı husus CNS sistemleri ile paraleldir.

Ülkemizin uluslararası küresel havacılık merkezi olma hedefiyle dünyanın en büyük havalimanlarından biri olan İstanbul Havalimanı uçuşlarında radarların önemi çok fazla olacaktır. Özellikle son dönemde Millileşme ve Yerlileşme kapsamında yapılan radar sistemlerine vurgu yapılmaktadır. Son yıllarda ülkelerin sivil havacılık alanında milli bir yapı oluşturmaya başladığı göz önünde bulundurulursa, tez içerisinde bahsedilen radar sistemleri yakın gelecekte ülkemiz için söz sahibi olduğu sektörlerden birisi olacağı öngörülmektedir. Her ne kadar radar anlamında sistemlerin teknik olarak oturmuş olsa dahi sistemlerin yazılım tabanlı hale dönüştürülmesi ve sistemler sistemi bir yapıya dönüştürüleceği düşünülmektedir. İlerleyen çalışmalarda hava araçlarının sayısının artmasına ve drone gibi küçük radar kesit alanına sahip hava araçlarının da hava sahasına katılmasıyla milimetrik dalga radarlarının da sivil havacılık alanında kullanılacağı açıktır. Bu kapsamda milimetrik dalga radarları üzerine icra edilecek akademik çalışmaların daha büyük uygulama alanı bulacağı değerlendirilmektedir.

Bu tez çalışmasında, sivil havacılık alanında sayıları ve çeşitleri her geçen gün artan yeni nesil radar sistemlerinin dünyadaki kullanıma paralel olarak Türkiye'deki uygulamaları güncel dokümanlarla ve akademik bir bakış açısıyla incelenmiştir.

Önümüzdeki yıllarda radar sistemleri ile ilgili bilimsel çalışmalar üretime paralel olarak çok daha fazla artacağı ve bu tez çalışmasının önemli bir boşluğu dolduracağı tahmin edilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] http://leea.recherche.enac.fr/Bulletin/BulletinAirTransportData_Avr2016.pdf
- [2] ATSEP Temel Eğitim Dokümanı (Hava Trafik Yönetimi) -DHMİ Elektronik Dairesi Başkanlığı , 2012
- [3] Maintenance and Training Manual -Raytheon Canada Limited-2010
- [4] ATSEP Haberleşme Sistemleri Yeterlilik Eğitim Dokümanı -DHMİ Elektronik Dairesi Başkanlığı -2015
- [5] NAUTEL Maintenance and Training Manual-2015
- [6] ATSEP Seyrüsefer Sistemleri Yeterlilik Eğitim Dokümanı -DHMİ Elektronik Dairesi Başkanlığı -2015
- [7] MOPIENS Maintenance and Training Manual (DME) -2016
- [8] THALES Maintenance and Training Manual (CVOR) -2013
- [9] THALES Maintenance and Training Manual (ILS/DME) -2016
- [10] MOPIENS Maintenance and Training Manual (ILS) -2014
- [11] <http://herkesicinhavacilik.com/2016/06/25/aletli-inis-sistemi-instrument-landing-system-ils/>
- [12] ATS Gözetim Sistemleri ve Hizmetleri-DHMİ Hava Seyrüsefer Dairesi Başkanlığı - Kasım 2016
- [13] ATSEP Gözetim Sistemleri Yeterlilik Eğitim Dokümanı -DHMİ Elektronik Dairesi Başkanlığı -2016
- [14] <http://www.radartutorial.eu/index.tr.html>
- [15] RAYTHEON Maintenance Training-Radar Fundamentals- 2010
- [16] **Merrill I. Skolnik**, 1981, Introduction to Radar Systems-2nd Edition
- [17] **Bassem R. Mahafza**, -2000, Radar Systems Analysis and Design using MATLAB
- [18] Automatic Dependent Surveillance (ADS) And Air Traffic Services (ATS) Data Link Applications-ICAO Circular 1995
- [19] <http://www.ads-b.com/services.htm>

- [20] <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/eaer-2019.pdf>
- [21] RAYTHEON Maintenance Training-ASR System Overview-2010
- [22] **Allen E. Fuhs**, 1983, Radar Cross Section Lectures, Department of Aeronautics, Naval Postgraduate School,
- [23] **Merrill I. Skolnik** , 1981, Introduction to Radar Systems-2nd Edition,
- [24] **Peyton Z. Peebles, Jr.**, 1998, Radar Principles
- [25] **Vipul J., Payam H.**,2013,Automotive Radar Sensors in Silicon Technologies;
- [26] **Constantine A. B.** 2005,Antenna Theory: Analysis and Design, 3rd Edition;
- [27] **J.L.Volakis**, 2007 Antenna Engineering Handbook 4ed. J.L.Volakis, 2007, McGraw-Hill, Inc.Ch.2
- [28] **John D. Kraus, Ronald J. Marhefka**; 2001, Antennas For All Applications 3rd Edition;
- [29] **Mark A. Richards**, 2014, Fundamentals of Radar Signal Processing, Second Edition
- [30] **David K. Cheng**, 1989, Field and Wave Electromagnetics (2nd Edition)
- [31] **Hamish M.**, 2001,Modern Radar Systems,
- [32] **B. P. Lathi, Zhi Ding**, 2010,Modern Digital and Analog Communication Systems
- [33] EUROCONTROL Specification for SurveillanceData Exchange - Part 1 All Purpose Structured EUROCONTROL Surveillance Information Exchange(ASTERIX),2016
- [34] **Michael C. S.**, 1988,Secondary Surveillance Radar
- [35] ICAO Manual of Secondary Surveillance Radar (SSR) Systems (Doc 9684); ICAO; 2004
- [36] **Peter H.**, 1976Secondary radar: Fundamentals and instrumentation
- [37] Basic Concepts On MSSR Mode-S Systems; Training Document; Indra Sistemas S.A.; 2014
- [38] Eurocontrol Training Notes (Advanced Radar Technology [SUR-RAD-ADV])-2017
- [39] Mode S Implementation in Europe; EUROCONTROL; 2003
- [40] **Sheng-Chou Lin**, 2015 Lecture Notes Radar System Design

- [41] **Alexander, M. J.** 1988 The Design and Performance of a Large Vertical Aperture Antenna for Secondary Surveillance Radar
- [42] **Pavel B., Vladimír S.;** 2001 Monopulse Secondary Surveillance Radar Antenna For Air Traffic Control
- [43] **Bernhard K., Bruce R., George G. H.** 1971, Monopulse Azimuth Measurement in The ATC Radar Beacon System;
- [44] Eurocontrol Standard Document For Radar Surveillance In En-Route Airspace And Major Terminal Areas; EUROCONTROL; 1997
- [45] <http://www.tscm.com/dutycy.pdf>
- [46] Aeronautical Surveillance Manual; ICAO. Doc. 9924 AN/474; 2010
- [47] **Eric J. Shea,** 2002, Air Surveillance For Smart Landing Facilities In The Small Aircraft Transportation System
- [48] Transponders in Aviation; EUROCONTROL NETALERT-safety nets newsletter; 2014
- [49] **Soyertem H.,** 2013, ATS Gözetim Sistemleri ve Hizmetleri, 11. Baskı
- [50] **Barry B.,** 2012 Understanding Mode S technology;
- [51] Mode S Elementary Surveillance (ELS) Operations Manual; EUROCONTROL; 2011
- [52] ICAO Annex 10 Volume III Chapter 9. Aircraft Addressing System; ICAO; 1995
- [53] Principles of Mode S Operation and Interrogator Codes; EUROCONTROL; 2004
- [54] ICAO European Secondary Surveillance Radar (SSR) CODE Management Plan, 2010
- [55] European Mode S Station Functional Specification; EUROCONTROL; 2005
- [56] Concept Of Operations Mode S in Europe (Mode S CONOPS); EUROCONTROL; 2011
- [57] TERMA Scanter 2001 Maintenance and Training Manual
- [58] TÜBİTAK BİLGEM Kuş Radarı (KUŞRAD) Araştırma Geliştirme Projesi, 2013

ÖZGEÇMİŞ

Tulgay CANBOLAT, 10 Ekim 1969 yılında Elazığ'da doğdu. İlk ve Orta öğreniminden sonra Lise öğrenimini Elazığ Teknik Lise ve Merkez Endüstri Meslek Lisesi Elektronik bölümünde tamamladı. 1992 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik bölümünden mezun oldu. Kısa bir süre özel sektörde çalıştıktan sonra 1992 yılı sonunda Atatürk Üniversitesi Erzincan Meslek Yüksekokulu Elektronik bölümünde Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı. Bu görevi 22 yıl yürüttü. 2013 yılında aynı okulda Müdür Yardımcısı olarak görev yaptı. 2014 yılı başında kurum değiştirerek Ankara'da Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü Elektronik Dairesi Başkanlığı Radar Sistemleri Şubesi Müdürlüğü bünyesinde Elektronik Mühendisi olarak göreve başladı. Halen aynı kurum bünyesinde Sistem Tesis ve İşletme Şube Müdürlüğü altında bu görevi yürütmektedir. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Elektronik Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. Evli ve 2 çocuk babasıdır.