

HAVA TRAFİK TANIMLAMA VE TEŞHİS OPTİMİZASYONU İÇİN BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ

A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR AIR TRAFFIC DEFINITION AND IDENTIFICATION OPTIMIZATION

HİRA TUNA ÜNLÜ

DR. ÖĞR. ÜYESİ DERYA DİNLER

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2024

Canım Aileme...



ÖZET

HAVA TRAFİK TANIMLAMA VE TEŞHİS OPTİMİZASYONU İÇİN BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ

HİRA TUNA ÜNLÜ

Yüksek Lisans, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Derya DİNLER

Mayıs 2024, 82 sayfa

Görünürlüğü düşük, yüksek hızlı, hassas güdümlü silah ve platform sistemlerindeki gelişmeler, askeri komuta ve kontrol uygulamalarını desteklemek için gelişmiş gözetleme, tespit, izleme, teşhis ve tanımlama sistemlerinin performansına ilişkin gereksinimler getirmiştir. Gelişmiş silah sistemlerinin etkinliği ve bunlara karşı savunma, büyük ölçüde doğru ve hassas sensörler ve istihbarat bilgilerinin zamanında elde edilmesine bağlı olacaktır. Giderek artan operasyonel gereksinimler ve zorlu görev ortamıyla başa çıkmak için sensörlerin otonom olarak kullanılması artık yeterli olmayacaktır. Çoklu sensörlerin etkin kullanımı, yüksek durumsal farkındalık, planlama desteği ve entegre çalışan bir komuta ve kontrol sistemi, barış zamanında bile operasyonel kararları doğru ve zamanında verebilmek için giderek daha önemli hale gelmiştir.

Bu nedenle, etkili çok sensörlü, çoklu hedef izleme (Multi-Sensor, Multi-Target Tracking, MSMTT) sistemlerinin entegre bir şekilde çalışması, sınıflandırma ve tanımlama sistemleriyle birlikte geliştirilmesi ve sahaya sürülmesi, zorlu hareket ortamlarında giderek daha karmaşık hale gelen hedeflerin etkili bir şekilde saptanması, izlenmesi ve tanımlanması için gerekli hale gelmiştir.

Bu tezde, hava araçlarının doğru teşhis ve tanımlanması amacıyla çok sensörlü çalışma mantığına dayalı, hızlı, güvenilir ve bütün unsurları kapsayan bir sistem önerilmektedir. Önerilen bu sistem alt katman ve üst katman olmak üzere iki katmandan oluşmaktadır. Alt katmanda yalnızca radar sensörü ile ilgilenilmiş olup farklı radarlardan elde edilen bilgiler füzyona uğratarak tekilleştirilmiş veri elde edilmiştir. Alt katmanda amaç, aynı

hedefi gören birden fazla radarın operatörün önündeki ekranda yarattığı karmaşıklığı azaltırken aynı zamanda hedef hakkında daha dengeli bir bilgi elde edilmesini sağlamaktır. Literatürde kullanılan Gating algoritması temelli bir yöntemle veri ilişkilendirmesi yapılmış ve birleştirmek için uygun olduğu görülen veriler birleştirilmiştir. Üst katmanda ise, alt katmandaki gating işlemi tekrar edilmiş ancak bu sefer radarlara ek olarak farklı tipte sensörlerin (ESM, E/O ve ADS-B) sağladığı veriler de bu algoritmaya dahil edilmiştir. Üst katmanda amaç, sensörlerin birbirleri ile gerçek zamanlı olarak konuşabilmesi, birbirlerinin elde ettiği verilerden yararlanarak operatöre teşhis vermeye giden yolda hedef hakkında daha fazla bilgi sağlamasıdır.

En sonda ise, komuta kontrol merkezlerinde mevcut olarak kullanılan sistem ile önerilen sistem karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, önerilen sistemde operatörün gördüğü verilerin standart sapmasının mevcut sisteme göre azaldığı ve veri güncelleme sıklığının arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sensör füzyonu, Veri füzyonu, Çoklu sensör, Çok sensörlü izleme ve tanımlama, Çoklu hedef izleme, Veri ilişkilendirme

ABSTRACT

A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR AIR TRAFFIC DEFINITION AND IDENTIFICATION OPTIMIZATION

Hira Tuna ÜNLÜ

Master of Science, Industrial Engineering

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Derya DİNLER

May 2024, 82 pages

Developments in low-visibility, high-speed, precision-guided weapon and platform systems have introduced requirements on the performance of advanced surveillance, detection, tracking, identity and identification systems to support military command and control applications. The effectiveness of, and defense against, advanced weapon systems will depend largely on the timely availability of accurate and precise sensors and intelligence information. To cope with ever-increasing operational requirements and challenging mission environments, autonomous use of sensors will no longer be sufficient. Effective use of multi- and multi-spectral sensors, high situational awareness, planning support and an integrated command and control system have become increasingly important in order to make accurate and timely operational decisions since peacetime.

Therefore, the development and fielding of effective multi-sensor, multi-target tracking (MSMTT) systems in an integrated manner, along with classification and identification systems, becomes essential for the effective detection, tracking and identification of increasingly complex targets in challenging operational environments.

In this thesis, a fast, reliable and all-encompassing system based on multi-sensor working logic is proposed for the accurate identification and identity of aircraft. The proposed system consists of two layers, namely the lower layer and the upper layer. In the lower layer, only radar sensor data is considered, and unified data are obtained by fusing data obtained from different radars. The aim of the lower layer is to reduce the complexity created on the operator's screen by multiple radars seeing the same target while also obtaining a more balanced information about the target. Data association was performed using a method adopted from literature called the gating algorithm and data deemed suitable for merging were combined. In the upper layer, the gating process from the lower

layer was repeated, but this time, data from other sensors (ESM, E/O, and ADS-B) were also included in this algorithm along with radars. The aim of the upper layer is to enable sensors to communicate with each other in real-time, providing the operator with more information about the target on the path to identity by utilizing data obtained from each other. At the end, a comparison was made between the proposed system and the system currently in use at command and control centers. As a result, it was observed that in the proposed system, the standard deviation of the data seen by the operator decreased compared to the current system, and the data update frequency increased.

Keywords: Sensor fusion, Data fusion, Multi sensor, Multi sensor tracking and identification, Multi target tracking, Data association



TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana bilgisi ve ilgisi ile destek olan, güler yüzü ile beni motive eden danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Derya DİNLER'e,

Hem meslek hayatımda hem tez sürecim boyunca tüm sorularımı sabırla cevaplayan ve yolumu aydınlatan Mürsel BEŞLİ'ye,

Hayatıma girdiği andan itibaren her yükümü paylaşan, hiçbir desteğini benden esirgemeyen hayat arkadaşım Şeref Kutay CEBECİ'ye sonsuz sevgi ve teşekkürü borç bilirim.

Bu tezi her zaman arkamda duran babam Harun ÜNLÜ ve annem Şule ÜNLÜ'ye ithaf ediyorum.

Hira Tuna ÜNLÜ

Mayıs,2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
TABLolar DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tarihsel Süreç İçinde Hava Trafiği Nasıl ve Neden Yoğunlaştı?	1
1.2. Hava Araçlarının Çok Çeşitlenmesi	2
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Tanımlar	4
2.2. Tespit ve Teşhisin Önemi.....	6
2.3. Tespit	8
2.3.1. Radar	9
2.3.2. ADS-B.....	11
2.3.3. ESM	11
2.3.4. Elektro Optik.....	12
2.3.5. Taktik Data Link	14
2.4. Teşhis.....	14
2.4.1. Teşhis Çeşitleri.....	15
2.4.2. Teşhisi Destekleyen Bilgi Kaynakları.....	17
2.5. Mevcut Durum.....	17
3. İLGİLİ ÇALIŞMALAR	19
4. METODOLOJİ.....	31
4.1. Radar Verilerinin Füzyon İşlemi	34
4.1.1. Radar Verilerinin Açıklanması	34

4.1.2.	İz Başlatma	37
4.1.3.	Gating Mesafesi	39
4.1.4.	Radar Verilerinden Süper Plot Elde Etme ve Veri Birleştirme	44
4.2.	ESM Verilerinin Füzyon İşlemi	48
4.3.	Elektro Optik Verilerinin Füzyon İşlemi	51
4.4.	ADS-B Verilerinin Füzyon İşlemi	52
4.5.	Link-16 Verileri	52
4.6.	Farklı Sensör Verilerinin Füzyon İşlemi	52
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	57
5.1.	Aynı Tipli Radarların Füzyona Uğratılması	57
5.1.1.	Mevcut Sistem ile Çalışılan Sistemin Karşılaştırılması	61
5.2.	Farklı Tipli Sensörlerin Füzyona Uğratılması	72
6.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	76
7.	KAYNAKLAR	78
EKLER.....		81
EK 1 – Anketler		81
ÖZGEÇMİŞ		83

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Hava Yolu Uçak Filosu İstatistikleri	2
Şekil 1.2 Sabiha Gökçen Havaalanı Trafik İstatistiği	2
Şekil 2.1 Çalışma Bölgesi ve Sahalar	5
Şekil 2.2 Çözünürlüğün E/O Verisine Etkisi	13
Şekil 2.3 Teşhis Üçgeni	15
Şekil 2.4 Mevcut Durum	18
Şekil 4.1 Kullanılacak Yöntem ve Adımları	33
Şekil 4.2 Tek Radarda İz Başlatma İşlemi	38
Şekil 4.3 İki Radarda İz Başlatma İşlemi	38
Şekil 4.4 Tek Radarda Gating Mesafesi	40
Şekil 4.5 İki Radarda Gating Mesafesi	40
Şekil 4.6 Dört Radarda Gating Mesafesi	41
Şekil 4.7 Dört Radarda Gating Mesafesi Güncellemesi-1	42
Şekil 4.8 Dört Radarda Gating Mesafesi Güncellemesi-2	43
Şekil 4.9 Dört Radarda Gating Mesafesi Güncellemesi-3	43
Şekil 4.10 Süper Plot Gösterimi-1	45
Şekil 4.11 Yeni Güncelleme Verisinin Gelmesi ile Yeni Süper Plot Oluşumu	46
Şekil 4.12 Süper Plot Gösterimi-2	47
Şekil 4.13 PW ve PRI	48
Şekil 4.14 Farklı Radarlara Ait PW-PRI'lar	49
Şekil 4.15 Devamlı Dalga Yapısı	50
Şekil 4.16 Farklı Kaynaklar ile Gating Mesafesi	53
Şekil 4.17 İkili Karşılaştırma Ölçeği	55
Şekil 4.18 İkili Karşılaştırma Matrisinin Örneklenmesi	55
Şekil 4.19 X Vektörünün Oluşturulması	56
Şekil 4.20 Rassal İndeks (RI) Değerleri	56
Şekil 5.1 Hız Vektörünün Hesaplanması	58
Şekil 5.2 Zaman Farkı Eşik Değerinden Fazla Olan Plotlar	59
Şekil 5.3 Gating Kıyaslamasına Sokulan Farklı Hedefler	60
Şekil 5.4 Gating Kıyaslamasına Sokulan Aynı Hedefler	60
Şekil 5.5 Gating Algoritması Akış Şeması	61
Şekil 5.6 Mevcut Sistem	62
Şekil 5.7 Gating Algoritması	63
Şekil 5.8 Mevcut Sistem Grafiği	64
Şekil 5.9 Mevcut Sistem ve Gating Algoritması Grafiği	65
Şekil 5.10 Süper Plot Verileri	65
Şekil 5.11 Standart Sapma Hesaplamaları	66
Şekil 5.12 Mevcut Sistem Grafiği-2	67

Şekil 5.13 Mevcut Sistem ve Gating Algoritması Grafiği.....	68
Şekil 5.14 Süper Plot Verileri-2	68
Şekil 5.15 Standart Sapma Hesaplamaları-2.....	69
Şekil 5.16 Tüm Veriler İçin Mevcut Sistem ve Gating Algoritması Grafiği.....	69
Şekil 5.17 Tüm Veriler İçin Standart Sapma Hesaplamaları.....	70
Şekil 5.18 F Test Hipotezleri	70
Şekil 5.19 F Test H0 Hipotezi Red Şartı.....	70
Şekil 5.20 Tüm Veriler İçin F-Test Uygulaması	71
Şekil 5.21 Alt Küme Durumu.....	72
Şekil 5.22 İkili Karşılaştırma Matrisi.....	73
Şekil 5.23 Sensör Ağırlık Vektörleri.....	73
Şekil 5.24 Çok Sensörlü Füzyon Tablosu (Radar ve ESM)	74
Şekil 5.25 Çok Sensörlü Füzyon Tablosu (Tüm Sensörler)	75
Şekil 5.26 Çok Sensörlü Füzyon Tablosu (Tüm Sensörler-2).....	75

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.2 Örnek - Modlar ve Anlamları.....	10
Tablo 3.1 Literatürdeki Çalışmalar	28
Tablo 4.1 Sensörler ve Elde Edilebilen Veriler	32
Tablo 4.2 Bir Hedef İçin Birinci Radardan Gelen Veriler	44
Tablo 4.3 Bir Hedef İçin İkinci Radardan Gelen Veriler.....	45
Tablo 4.4 Birleştirilmiş Süper Plot Verileri	46



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

σ^2	Varyans
α	Anlamlılık Düzeyi (Alfa)
W_i	Ağırlık
Λ	Lamda

Kısaltmalar

ACM	Airspace Control Measures
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast
AHP	Analytic Hierarchy Process
AIS	Automatic Identification System
ANFIS	Adaptif Sinir-Bulanık Çıkarım Sistemi
ATC	Air Traffic Control
ATO	Air Task Order
C2	Command and Control
CI	Consistency Index
COMINT	Communications Intelligence
CR	Consistency Ratio
DIF	Direct Identity Fusion
E/O	Elektro Optik
EHF	Extra High Frequency
ELINT	Electronic Intelligence
ESM	Electronic Support Measures
FIR	Flight Information Region
FP	Flight Plan
GPS	Global Positioning System

ICAO	International Civil Aviation Organization
IFF	Identification Friend or Foe
IR	Infrared
IRST	IR Search and Track
İHA	İnsansız Hava Aracı
MF	Medium Frequency
MLE	Maximum Likelihood Estimation
MMT	Multi Target Tracking
MSMTT	Multi-Sensor, Multi-Target Tracking
MSTS	Multi-Sensor Tracking System
MTI	Moving Target Indicator
NOTAM	Notice to Airman
PDA	Probabilistic Data Association
PPLI	Precise Participant Location and Identification
PRI	Pulse Repetition Interval
PSR	Primary Surveillance Radar
PW	Pulse Width
RI	Random Index
SIGINT	Signal Intelligence
SIM	Simüle
SSR	Secondary Surveillance Radar
TDL	Taktik Data Link
TPA	Track Production Area
TSK	Türk Silahlı Kuvvetleri
UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency

1. GİRİŞ

Hava araçlarının, ilk kalkışından hava sahasına tekrar ininceye kadar geçirdikleri sürecin havada yarattığı trafiğe hava trafiği denir. Havada yaratılan bu trafiğin yönetilmesi ise Hava Trafik Yönetimi ile gerçekleşir. Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (International Civil Aviation Organization- ICAO)'ya göre; Hava Trafik yönetimi, hava trafiğinin ve hava sahasının tehlikesiz, devamlı ve verimli bir şekilde yönetilmesidir. Hava trafiğini yönetmekteki amaç, havada oluşan trafiğin güvenli bir şekilde akması, hava sahalarının sınırlı kapasitelerinin verimli bir şekilde kullanılması olarak özetlenebilir.

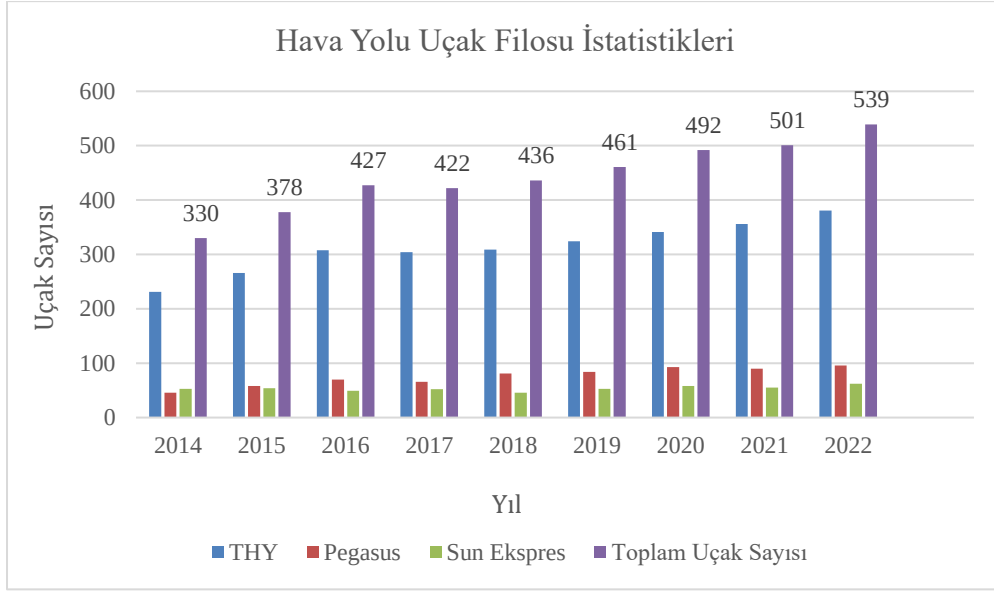
1.1. Tarihsel Süreç İçinde Hava Trafiki Nasıl ve Neden Yoğunlaştı?

Hava trafiğinin tarihsel süreci göz önüne alındığında, ilk uçuş olarak Orville ve Wilbur Wright kardeşlerin 1903 yılında yaptığı uçuş ile hava trafiğinin başladığı görülür. Daha sonra, I. ve II. Dünya savaşlarında güvenlik amacı ile askeri havacılık alanında yapılan birçok gelişme gerçekleşmiştir. Bu gelişmelerin etkisi ile uçak sayılarında büyük bir artış meydana gelmiş ve havacılık sektöründeki gelişmeler hızlanmaya başlamıştır [1] .

Hava araçları zaman içerisinde yalnızca sayısal olarak artmakla kalmayıp; artık atmosferin bütün katmanlarında, akla gelebilecek her amaçla, çeşitli büyüklüklerde ve hızlarda, her türlü faydalı yükle ve cihazlarla donatılarak akıl almaz şekilde geliştirilmişlerdir. Böylelikle, uçaklardan, füzelerden, insansız hava araçlarından yalnızca birer uçan platform olarak değil, kullanım amaçlarından ve özellikle çatışma ortamında sağladıkları üstün avantajlardan ve oluşturdıkları tehditten bahsedilmektedir.

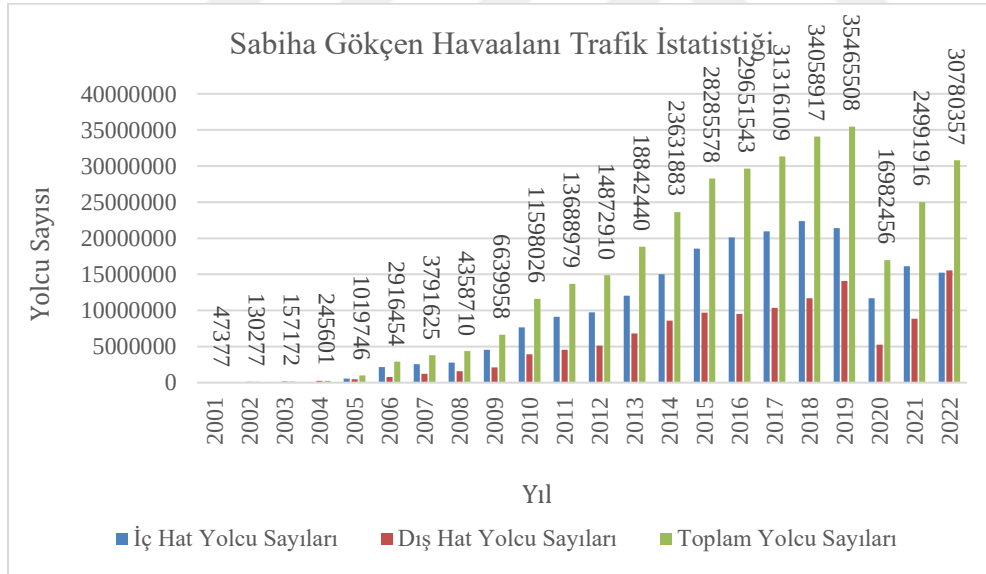
Hem sivil hem askeri alanda uçak sayılarının hızlıca artması sebebiyle; insanlar uçakları hızlı ve güvenli bir ulaşım aracı olarak görmeye başlamıştır. Bu kapsamda, hava trafiğinde hızlı bir yoğunluk meydana gelmiştir ve hava trafiğinin doğru yönetimi kritik bir hale gelmiştir.

Aşağıdaki grafikte son yıllara göre hava yolu uçak filosu istatistikleri gösterilmiştir [2].



Şekil 1.1 Hava Yolu Uçak Filosu İstatistikleri

Aşağıdaki grafikte ise Türkiye’deki önemli havaalanlarından biri olan Sabiha Gökçen havaalanına ait 2001-2022 yılları arası havaalanı trafik raporu istatistikleri gösterilmiştir [3].



Şekil 1.2 Sabiha Gökçen Havaalanı Trafik İstatistiği

1.2. Hava Araçlarının Çok Çeşitlenmesi

Havacılık tarihi Wright kardeşlerin 1903 yılında ilk havadan ağır motorlu uçuşu gerçekleşmesinden başlayarak bugünlere kadar uzanmaktadır.

Başlangıçta çok düşük süratli, pervaneli ve alçak irtifada uçan uçaklardan başlayarak teknolojinin gelişmesi ile ses üstü süratlerde uçan veya çok alçak ve düşük irtifada uçan dronelere kadar hava araçlarında bir çeşitlilik oluşmuştur.

Hava araçlarının çok çeşitlenmesi ve hava trafiğinin günden güne artması da havadaki güvenliğin sağlanmasının zorlaşmasına sebep olmaktadır.

Havadaki güvenliği sağlamak, hava araçlarının birbirinden doğru ve hızlı bir şekilde ayırt edilmesi ile başlar. Hava araçlarını birbirinden doğru ve hızlı bir şekilde ayırt etmek için ise tespit, teşhis ve tanımlama süreçleri kritik rol oynar.

Bu çalışmanın amacı, belirli bir hava sahasında tüm hava araçlarının doğru tespit, teşhis ve tanımlanması için teknolojideki gelişmeler neticesinde hava trafik ve komuta kontrol sistemlerinde gerçekleşen kapasite artışlarından daha fazla faydalanmak ve hava araçlarının tespit, teşhis ve tanımlanması amacıyla çok sensörlü çalışma mantığına dayalı, hızlı, güvenilir ve bütün unsurları kapsayan bir sistem önermektir.

Ayrıca, mevcut hava sahası kontrol yöntemleri çoğunlukla operatör marifetiyle yapılmakta olup otomasyon çok kullanılmamaktadır. Bu çalışmayla, operatör tarafından yapılan birçok teşhis/tanımlama ve trafik ayrımı işlemine uygun algoritmalar ile destek sağlayacak ve bu işlemlerin otomatik veya yarı otomatik olarak yapılmasına yardımcı olacak bir karar destek sistemi oluşturulması amaçlanmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, ilerleyen bölümlerin daha anlaşılır olması için genel bilgiler ve tanımlar açıklanmış, üçüncü bölümde konu ile ilgili literatüre yer verilmiştir. Dördüncü bölümde, çalışmada kullanılacak metodoloji anlatılmıştır. Bu tez çalışmasında kullanılan metodoloji “Gating Mesafesi” olarak adlandırılır ve gating mesafesi bir sonraki güncellemede plotların bulunmasını beklediğimiz veya tahmin ettiğimiz bir mesafedir. Beşinci bölümde ise bu metodoloji kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan bahsedilmiştir. Son bölümde ise bu deneysel çalışmanın sonuçlarından bahsedilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Hava araçlarının tespit, teşhis ve tanımlanması konusuna girmeden önce, bu araçların içinde hareket ettikleri ortamı, yani hava sahasını ve bu sahada uygulanan uçuş kurallarını ve kontrol unsurlarını kısaca tanımakta fayda vardır.

2.1. Tanımlar

Bir ülkenin hava sahası (ülkenin hükümrân olduğu kara ve deniz alanlarının üzerinde tanımlanan ‘Milli Hava Sahası’ ve uluslararası deniz alanlarının üzerinde ülkelere paylaştırılmış sahaların birleşimi) FIR (flight information region) sahalarına ayrılmıştır. Bu sahanın büyüklüğüne uygun olarak ülkeler bir veya daha fazla sayıda FIR sahasını kontrol etmek üzere ATC (air traffic control) ünitesi oluşturur. Örnek olarak Türkiye 2 FIR sahasına sahiptir, batı sektöründe tanımlı FIR’ı kontrol etmek üzere İstanbul, doğu sektöründe tanımlı FIR’ı kontrol etmek üzere Esenboğa ATC kontrol birimleri oluşturulmuştur. ATC’ler bu bölgelerde bulunan sivil hava trafiğinin güvenliğini ve yönetimini sağlamaktan sorumludur.

Hava sahasını kullanacak sivil hava araçlarının tanımlanan FIR sahaları içerisinde motor çalıştırma aşamasından motor susturmaya kadar tüm faaliyetlerini kontrol altında yapması gerekmektedir. Her bir uçuş için bu faaliyetlerin ve kendini tanıttıcı yayınların tanımlandığı mesaj formatına uçuş planı (flight plan-FP) denmektedir. FP’nin askeri versiyonuna ise hava görev emri (air task order-ATO) ismi verilir. Hava sahasını kullanacak tüm sivil hava araçlarının FP yayımlaması, tüm askeri hava araçlarının ise ATO yayımlaması zorunludur. Yayımlanan FP ve ATO, hava aracının uçuşu boyunca kullanacağı tüm FIR sahalarından sorumlu ATC ünitelerine otomatik olarak ulaştırılır. ATC’ler de bu FP ve ATO’yu komuta kontrol merkezlerine iletmek ile sorumludur.

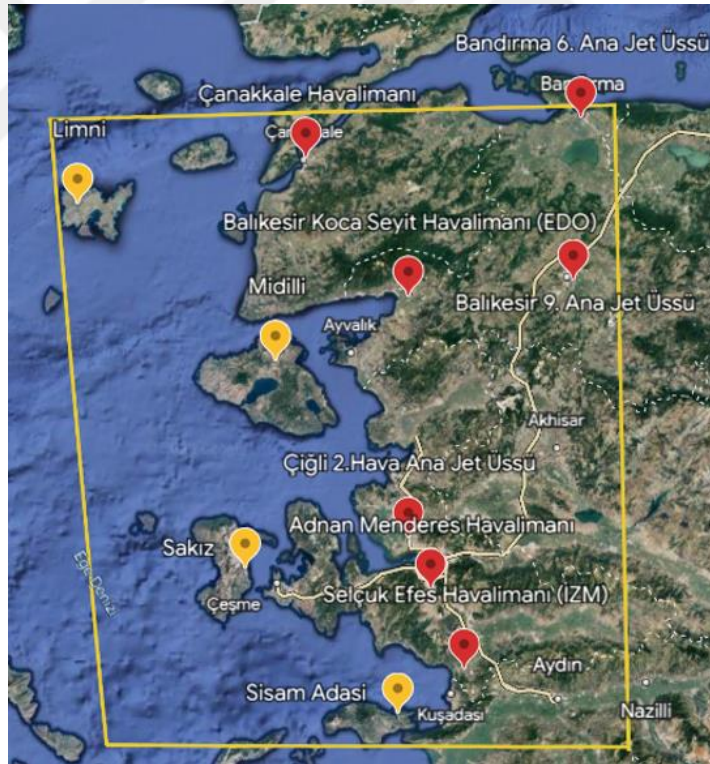
FP ve ATO uçakların planlanan uçuşları ile ilgili, kalkış ve varış noktaları, planlanan kalkış ve varış saatleri, uçak tipi, yakıt miktarı, planlanan seyir irtifası, planlanan rotası, hava durumu koşulları gibi detayları içerir.

Hava araçları uçuşları esnasında, ülkeler tarafından yayımlanan iki asli sahayı kullanırlar: Meydan Kontrol Sahaları ve Hava Yolu Koridorları. Bu sahalara ilave olarak uçuş eğitimleri gibi farklı ihtiyaçlar için oluşturulmuş sahalar ve süreli ihtiyaçlar için oluşturulmuş NOTAM (notice to airman) sahaları da kullanılmaktadır. Hava sahasının etkin ve emniyetli kullanımı için oluşturulan tüm tedbirler Hava Sahası Kontrol Tedbirleri

(Airspace Control Measures-ACM) mesajları ve NOTAM ilanları ile tüm paydaşlara yayımlanır.

Bu çalışma için tüm senaryoların dikkate alındığı ve hava aracı çeşitliliğinin sağlandığı Orta Ege bölgesi seçilmiştir. Orta Ege bölgesi; aşağıda listelenen sahaların hepsini içermesi sebebi ile hem senaryo bazında hem de hava aracı bazında çeşitlilik sağlamaktadır. Ek olarak; bu bölgede Yunan adalarına yolcu taşıyan turistik amaçlı uçuşlar gerçekleşmektedir bu da ek bir senaryo çeşitliliği sağlamaktadır. Çalışmanın gerçekleştirileceği bölge aşağıdaki resimde gösterilmiş, sahalar işaretlenmiştir.

- Uluslararası Hava Sahaları (Türkiye-Yunanistan FIR hattı)
- Eğitim Uçuş Sahaları (Selçuk-Efes Havalimanı)
- Askeri Uçuş Sahaları (Ana Jet Üsleri)
- Yoğun Sivil Uçuş Sahaları (Adnan Menderes Havalimanı-Balıkesir Koca Seyit Havalimanı-Çanakkale Havalimanı)



Şekil 2.1 Çalışma Bölgesi ve Sahalar

Hava sahasının kontrolünde diğer bir önemli faktör, hava trafiğinin tanımlanması ve teşhis edilmesidir. Her bir hava aracı için kişisel teşhis verilmesi, hava sahasının güvenliğinin sağlanması bakımından kritik bir aşamadır. Kişisel teşhisi oluşturan veriler; çağrı adı, kalkış meydanı ve zamanı, planlı iniş meydanı ve zamanı, tanıtıcı kod, planlı

rota, vb. bilgilerden oluşur ve FP veya ATO mesajları ile kontrol unsurlarına iletilir. Herhangi bir mesajla uçuş bilgisi alınmamış hava araçlarının tanımlanması (uçak tipi, niyeti, faaliyeti, vb.) için bu bilgiler haricinde çeşitli sensörlerle elde edilen sürat, irtifa, konum, vb. bilgiler de komuta kontrol üniteleri tarafından değerlendirilir ve gerekli hallerde bu trafiklere müdahale için çeşitli reaksiyonlar gösterilir.

Yukarıda anlatılan sistem içerisinde, yayımlanan kurallara ve tedbirlere uygun hareket eden hava araçlarının doğal olarak dost (Friendly ve Neutral) teşhisiyle, yani tehdit oluşturmeyen hava trafiği olarak izlendiğini söyleyebiliriz.

Bu çalışmanın amacı ise, askeri faaliyetlere özgü görev gizliliği gibi nedenlerle belirtilen kurallar ve tedbirler dışında FIR içerisinde uçan veya kötü niyetli bir şekilde kuralları ihlal eden hava araçları ile kriz ve savaş ortamlarında düşmanca niyetle faaliyet gösteren hava araçlarının (Unknown, Suspect ve Hostile olarak adlandırılır.) dost trafiklerden ayırt edilmesine yardımcı olacak verileri tasnif etmek, çok yoğun hava faaliyetinin olduğu ortamlarda hava sahası kontrol birimlerine (ATC ve askeri komuta kontrol (command and control-C2) unsurlarına) ve operatörlere bu hava araçlarının ayırt edilmesinde yardımcı olacak tehdit veri tabanını oluşturmak ve gerçek zamanlı olarak tespit edilmesini sağlamak amacıyla kullanılabilecek mantıksal yaklaşımları ortaya koymaktır.

2.2. Tespit ve Teşhisin Önemi

Birinci Dünya Savaşından itibaren, hem barış zamanında hem de savaş zamanında hava trafiğinde yer alan hava araçlarını öncelikle tespit etmek, tespit sonrasında izlemeye devamlılık sağlayarak sağladığı bilgilere ve havada sergilediği hareketlere göre bir teşhis vermek kritik bir süreç olmuştur. Bu iki süreç sonrasında ise tanımlamak barış zamanında çarpışmaları önlemek ve güvenli bir trafik sağlamak adına, savaş zamanında ise dost savaş uçaklarımızın hayatta kalma (beka) kabiliyetini hızlı bir şekilde sağlayıp savunma yapabilmeleri adına önemli bir süreçtir.

Özellikle savaş zamanında, dost savaş uçaklarımız hayatta kalamazlarsa sahip oldukları hassas silahlar ve hızlı hedefleme bilgileri gibi yetenekler bir anlam ifade etmemektedir. Bu nedenle bir hava harekâtının başarısını belirlemede en kritik faktörler; yeterli reaksiyon süresini karar vericilere sağlayacak şekilde dost/düşman ayrımını yapmak ve beka (hayatta kalabilirlik) faaliyetlerini destekleyen her türlü unsurun doğru bir şekilde yönlendirilmesini sağlamaktır.

Günümüz çatışma ortamının yalnızca konvansiyonel savaşlar olmadığı, düşük yoğunluklu mücadeleler ve tehditlerle dolu bir dünyada yaşadığımız göz önüne alındığında savunma gayretlerinin de bu karmaşık ortamın ihtiyaçlarına uygun olarak sürekli kendini geliştirmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Özellikle hava savunması kapsamında, geliştirdiğimiz hava araçlarımızı kendi harekâtımızı desteklemek, avantaj sağlamak ve caydırıcılık yaratmak için etkin ve emniyetli bir şekilde kullanırken, benzer yeteneklere sahip tehdit unsurları durdurmak ve yok etmek için de çok iyi organize olmuş ve reaksiyon süresi çok kısa bir savunma sistemine ihtiyacımız olduğu açıktır.

Burada hava savunma harekâtının yapısından genel hatlarıyla bahsetmekte fayda vardır. Tüm savunma faaliyetlerinde olduğu gibi, ilk aşamada tehdidi tespit etmek gerekmektedir ki bu aynı zamanda diğer tüm faaliyetleri tetikleyecek unsurdur. Hava araçlarının tespiti genellikle hava gözetleme radarları ile yapılmakla birlikte, radarların da aktif, pasif, vb. türleri olduğunu, ayrıca çeşitli elektronik harp destek unsurlarının istihbarat kaynaklarının da tespit faaliyetlerini desteklediğini eklememiz gerekir.

Ardından tespit edilen hava aracının veya cisminin çok kısa bir süre içerisinde tanımlanması ve teşhis edilmesi gerekir ki gerekli savunma reaksiyonunun başlatılması için zamanında ve uygun kararlar verilebilsin. Burada ‘tanımlama’ terimi daha çok hava aracının/cisminin türü, muhteviyatı, vb. bilgilerinin edinilmesi ve reaksiyon kararında uygun savunma unsurunun kullanılmasında bir karar faktörü olarak kullanılacaktır. Örneğin tehdit oluşturan uçak, helikopter, insansız hava araçları (İHA) veya füzenin engellenmesi veya tahrip edilmesi için kullanılması gerekecek savunma silah ve sistemi farklı olacaktır. ‘Teşhis’ terimi ise daha çok tespit edilen hava aracının/cisminin dost mu düşman mı olduğunu tanımlamak için kullanılacaktır. Hava savunma faaliyetleri açısından tehdit hava unsurlarının tanımlanması ve teşhis edilmesi gerekmektedir, bunu yapabilmek için aslında tüm hava araçlarının tanımlanması ve teşhis edilmesi gerekecektir. Bu tanımlamalardan sonra, karar vericiler tehdit veya düşman unsur olarak tanımladıkları hava araçlarına karşı gerekli reaksiyonları başlatacaklardır.

Bu çalışmada, tehdit değerlendirmesinin ötesine geçilmeyecek, yani tehdidin önlenmesi veya tahrip edilmesi konuları kapsamayacaktır.

2.3. Tespit

Tespit en basit tanımı ile hava cisimlerinin varlığının çeşitli sensörler aracılığı ile ortaya konulmasıdır. Bir savaş ortamındaki ilk görev düşmanı tespit etmektir ve Birinci Dünya Savaşı'nda bu sürece yardımcı olmak için teknolojinin yapabileceği çok az şey bulunmaktaydı. Tespit neredeyse sadece insan gözüne bağlıydı. Havadaki veya yerdeki savunucuların, orada olduğunu bilmek için düşman uçağı görmeleri, duymaları veya belki de düşman tarafından vurulmaları gerekiyordu. Radar ve diğer tespit sensörlerinden önceki günlerde, düşman uçaklarını tespit etmek ve izlemek için başka bir araç mevcut değildi.

Birinci Dünya Savaşı'nda, net gün ışığında görsel algılama en iyi ihtimalle 10-15mil aralığını aşamamıştır. 1930'ların sonunda bile savunma birliklerinin hava saldırılarını dinleyip, gözle izlemeleri gerekmiştir.

1940'a gelindiğinde radarlar, 100 mil öteden gelen uçakların tespit edilmesini sağlamıştır. Erken tespit, savunma birliklerine, hava savunma sistemlerini düzenlemek ve saldıran uçakları engellemek için çok daha fazla zaman kazandırmıştır. Radarın yükseklik bulma kabiliyeti, yerdeki uçaksavar topçularına hedefleri tespit etmesinde yardım etmiştir.

Soğuk savaş, uçağın beka konusunu daha da karmaşık hale getirmiştir. Savaşın sonra, radar teknolojisi ileri sıçramış ve uçak tasarımları da beka avantajını korumak için mücadele etmek zorunda kalmıştır. 1960'lara gelindiğinde radar, hava savunma angajmanında ana etken unsur olmuştur. Daha uzun menzilli algılama radarları çok daha erken uyarı sağlamıştır.

Tüm bunlar, hava sahalarımızın güvenle korunabilmesi için erken tespit ve teşhisin oldukça kritik olduğunu göstermektedir.

Hava araçlarının tespit edilmesinde çeşitli sensörler kullanılmaktadır, sensörlerden edinilen bilgiler hem kinematik (konumsal bilgi) hem de kinematik olmayan veriler (kimlik, IFF(Identification Friend or Foe) vb.) olabilir.

Sensörlerden başlıcaları aşağıda listelenmiş ve açıklanmıştır;

- Radarlar (Primary surveillance radar ve secondary surveillance radar)
- ESM (Electronic Support Measures)
- ADS-B (Automatic Dependent Surveillance Broadcast)
- Elektro Optik (İHA'ların kameraları)

- Link-16

2.3.1. Radar

Radar, ilk kullanılmaya başlandığı günden bugüne kadar farklı coğrafyalardan birçok bilim adamı sayesinde gelişmiş ve gelişmeye devam eden bir tespit cihazıdır. Tespit denildiği zaman ana kaynak radardır. Her türden radarın çalışmasında üç temel fizik kuralı temel alınır. Bu kurallar;

- Elektromanyetik dalgaların yansıması
- Elektromanyetik dalgaların sabit yayılma hızı
- Elektromanyetik dalgaların doğrusal yayılmasıdır.

Radarlar özelliklerine göre PSR (primary surveillance radar) ve SSR (secondary surveillance radar) olarak ikiye ayrılır.

2.3.1.1. Primary Surveillance Radar

Birincil gözetleme radarı olarak da adlandırılabilen bu radar çeşidi, sinyal yayınlar ve bu sinyalin bir hedefe çarparak radara geri yansıması ile hedef tespiti yapar. Hedefe çarparak geri yansıyan bu sinyalin işlenmesi ile elde edilen bilgiler (açı-mesafe) aracılığı ile de hedefin konum verisi tespit edilir. Konum verisinin içerisinde hedefin koordinatı, irtifası ve zaman etiketi bulunur. Radarlar temel olarak konum verisi sağlasa da teknolojinin gelişmesi ile beraber farklı veriler de sağlamaya başlamışlardır.

Her radar dönüşünde elde edilen noktasal konuma plot adı verilir. Birincil radardan elde edilen plot verisi hedeften bağımsızdır. Hedeften herhangi bir veri, sinyal alınarak elde edilmez, radar çalıştığı sürece plot verisi elde edilir.

2.3.1.2. Secondary Surveillance Radar

PSR ile hedefin konum bilgisi elde edilir ancak bir dost hedef mi yoksa düşman hedef mi olduğu bilgisi elde edilemez. Dost düşman ayrımı bilgisini sağlayan radar tipine secondary surveillance radar yani SSR denir. SSR, hedefe ait görev, filo kodları, irtifa bilgisi gibi hava aracını tanıma bilgilerini veren sistemlerdir. II. Dünya Savaşında ortaya çıkan hava aracının dost mu düşman mı olduğunun belirlenmesi ihtiyacı ile geliştirilmiştir.

SSR'ların çalışma mantığı şöyledir: hava aracında bulunan transponder adı verilen yanıtlayıcı cihaza yer istasyonunda bulunan bir sorgulayıcı cihaz ile sorgu sinyali

yollanır. Uçakta bulunan yanıtlayıcı cihaz da özel bir kod ile bu sorgulayıcı cihaza cevap verir. Gelen cevap herhangi bir değişikliğe uğramadan ekranda görüntülenir. Gelen cevap sinyalindeki kodlar çözülerek hava aracı hakkında bilgi edinilmiş olur. Gelen cevaplar 2 ya da 4 haneli kodlardır, bu kodlara mod adı verilir. Hedef hakkında sağladığı bilgiye göre değişiklik gösteren mod çeşitleri Tablo 2.1’ de verilmiştir.

Tablo 2.1 Mod Kodları

Kullanım Alanı	IFF Mod Çeşidi	Sağladığı Bilgi
Askeri	Mod 1	Görev Kodu (Bomber, fighter vb.)
	Mod 2	Filo Kodu
	Mod 5	Kriptolu Kimlik Bilgisi
Sivil	Mod S	Gözetleme Verileri
Askeri ve Sivil	Mod C	İrtifa (Kod 100 feet ile çarpılarak irtifa verisi elde edilir.)
	Mod 3/A	Kimlik Numarası (Havadaki platformlar için tekil olarak, son iki hanesi uçakla uygun şekilde verilir.)

Sorgulama ve cevap sinyallerinin frekans spektrumları SSR tarafından bilindiğinden, SSR sadece bu frekans bandındaki işaretleri dikkate alır. Bu sayede, her nesneden yansıyan sinyaller yer istasyonu tarafından işleme sokulmaz.

Örneğin bir hedeften aşağıdaki mod kodlarının alındığını varsayalım.

Tablo 2.2 Örnek - Modlar ve Anlamları

Mod Çeşidi	Gelen Mod Kodu	Anlamı
Mod 1	11	Fighter
Mod 2	2025	151. Filo
Mod 3/A	3152	Tunç 52
Mod C	156	15600 feet

SSR tüm bu sağladığı bilgilere rağmen, pilotun müdahalesine açıktır. Sorgulamaya müdahale edilebilir olması sebebi ile %100 güvenilir bir sensör değildir. Örneğin, uçağın kaçırılması durumunda kaçırın kişi tarafından kasıtlı olarak IFF cevaplayıcısı kapatılabilir veya yanlış kod gönderilerek yanlış yönlendirme yapılabilir.

2.3.2. ADS-B

Otomatik Bağımlı Gözetim Yayın yani ADS-B, bir uçağın konumunu belirlemeye yardımcı olan bir uydu navigasyon sistemidir. Bir uçağın konumunu yerdeki hava trafik kontrolörlerine bildirebilen bir sistemdir.

ADS-B alıcıları, maliyet açısından çok uygun fiyatlıdır ve kullanım için herhangi bir sertifika gerektirmez, interneti olan herkesin kullanımına açıktır. İsteyen herkes ADS-B donanımını satın alarak veri sağlayabilir. Bu sebeple, ADS-B sistemleri ile ilgili önemli bir güvenlik sorunu meydana gelir. Bir ADS-B sistemi kötü niyetli kişiler tarafından kolayca ele geçirilebilir. Kötü niyetli kişiler sisteme eriştikten sonra uçakların birbirine çarpmasına, uçakların düşmesine veya uçağın yerdeki insanlarla tamamen temasını kaybetmesine neden olabilir hatta yazılım üzerinde sahte hava araçları varmış gibi veriler oluşturarak gözetleme sistemlerini şaşırtabilir. Bu sebeple diğer tespit kaynakları daha güvenilirdir.

ADS-B'ler diğer sensörlerden gelen verileri doğrulamak amaçlı kullanılabilir. Örneğin: ADS-B'den gelen verilerin hepsi radardan gelen verilere göre 2 mm kuzeyde ise ya radarın ya da ADS-B'nin yanlış veri gönderdiği anlamına gelir. Resetleme işlemi yapılarak, kontrol sağlanır ve olası bir radar kalibrasyon kaymasının önüne geçilebilir.

2.3.3. ESM

Kara savaşlarının karada, hava savaşlarının havada gerçekleşmesi ile benzer olarak, elektronik harp de elektromanyetik spektrumda gerçekleşir. Dost unsurların elektromanyetik spektrumu kesintisiz bir şekilde kullanmasını sağlayan veya düşman unsurların elektromanyetik spektrumundan yararlanmasını engelleme amaçlı faaliyetler, elektronik harp olarak değerlendirilir. ESM ise elektronik harbin önemli bir bileşenidir. Gözetim sistemlerinde elektronik destek önlemi (ESM) verilerinin işlenmesi, teşhis ve tanımlamadaki temellerden biridir. ESM sensörü, öncelikle hava veya deniz platformlarına monte edilmiş yayın kaynakları (emitör) tarafından üretilen elektromanyetik sinyalleri yakalayan pasif bir sensördür.

ESM faaliyetleri, düşman unsurlarca kullanılan bir elektronik harp tehdidinin yaydığı elektromanyetik dalgaları sezinlemek vasıtası ile tehdidi tespit etmek, yönünü veya yerini belirlemek, sinyallerini kaydetmek ve tehdidi teşhis etmek için sinyal yapısını analiz etmek vb. işlevler, teknikler, ve sistemler ile ilgilidir.

SIGINT (signal intelligence) olarak adlandırılan sinyal istihbaratı, elektromanyetik dalgaların dinlenmesi vasıtası ile yapılan istihbarat toplama (intelligence collection) faaliyetleri olarak tanımlanmaktadır. Sinyal istihbaratı, dinlenen sinyallerin niteliğine göre ELINT (electronic intelligence) ve COMINT(communications intelligence) olarak ikiye ayrılır.

- Elektronik istihbarat (ELINT), elektronik sensörler kullanılarak toplanan istihbarattır. ELINT'te toplanan istihbarat, genellikle kişisel iletişim dışındaki bilgilerdir. Amaç genellikle bir hedefin yeteneklerini, örneğin radarın yerini tespit etmektir.
- İletişim istihbaratı (COMINT), kısa mesaj, telefon, e-posta, anlık mesajlaşma ve diğer çevrimiçi ve elektronik iletişim araçları gibi kanalların ele geçirilmesiyle toplanan herhangi bir istihbarat anlamına gelir. COMINT'in temel hedefi insanlar arasındaki iletişimi dinlemektir.

2.3.4. Elektro Optik

Gözetleme kaynağı olarak kullanılan bir diğer sensör elektro optiktir (E/O). E/O sensörler ortamdaki elektromanyetik radyasyonu keşfeder ve optik sinyallere dönüştürerek bilgi elde eder. Bir gözetleme sensörü olarak E/O kullanımı genellikle görüntüleme ve algılama içindir. E/O sensörler, elektromanyetik spektrumun görünür ve yakın kızılötesi bölgelerindeki radyasyonu tespit etmek için tasarlanmıştır. E/O sensörler, görünür ve kızılötesi ışığın yoğunluğunu algılar ve bu bilgiyi elektrik sinyallerine dönüştürür. Bu sinyaller daha sonra işlenerek görüntüler veya diğer bilgiler elde edilir.

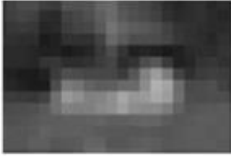
E/O sensörlerin farklı kullanım alanları vardır. Bu çalışmada keşif ve gözetleme amaçlarıyla kullanılma alanına odaklanılacaktır. E/O sensörler İHA ve casus uydular gibi platformlara entegre edilebilirler ve stratejik bilgi toplama, hedef tespiti, izleme ve gözetim gibi görevleri yerine getirebilirler.

E/O sensörler, yüksek hassasiyet, hızlı tepki süresi ve geniş spektral aralık gibi avantajlara sahiptir. Bu özellikler, gözetleme ve algılama sistemlerinde yüksek kaliteli görüntülerin

elde edilmesini sağlar. Ancak, E/O sensörlerin performansı, çevresel koşullara (örneğin, hava şartlarına, aydınlatma düzeyine) ve kullanım amaçlarına bağlı olarak değişebilir.

Havada gözetleme yapan sistemler elde ettikleri gözetleme verilerini işlenmesi için yer istasyonlarında bulunan veri işleme ünitelerine gönderirler. Gönderilen veriler işleme üniteleri tarafından işlenerek görüntülenir. Gözetleme yapılan alana ait görüntü, birden fazla kamerayla gözetleme işlemi gerçekleştirilerek de elde edilebilir, tek bir kameranın zamanla hareket ettirilmesi ve farklı açılardan görüntü alması ile de elde edilebilir.

Veri işleme üniteleri, mozaikleme adı verilen bir işlem yaparlar. Bu işlemde, gözetlenecek alan küçük hücrelere bölünür ve gözetleme sensörleri aynı anda farklı hücrelerden görüntü alırlar. Daha sonra elde edilen bu farklı hücre görüntüleri birleştirilerek büyük resim elde edilir. E/O sensörden elde edilecek ya da elde edilmesi beklenen veri ile sensörün görüntü çözünürlüğü arasında birebir bağlantı vardır. Cismin varlığını tespit etmek için düşük bir çözünürlük yeterli olurken, cismin içeriğini ve tipini tespit etmek için yüksek çözünürlükte bir görüntüye ihtiyaç duyulur. Sonuç olarak E/O, cisim ile ilgili hangi detayda bilgi elde edebilirse onu sağlar. İlk aşama cismin varlığının tespit edilmesidir, ikinci aşamada cismin tipi ve son aşamada ise cismin milliyeti, üzerindeki silah tipi gibi detaylı bilgileri vermesi beklenir. Veri-çözünürlük ilişkisi aşağıdaki resimde örneklendirildiği gibidir.

	Tespit	Ayırt Etme	Tanımlama
İnsan	 3.5 x 1 piksel (Orada bir şey var.)	 11 x 3 piksel (Orada bir insan var.)	 23 x 6 piksel (Oradaki insan bir sivilce benziyor.)
Taşıt	 2 x 2 piksel (Orada bir şey var.)	 6 x 6 piksel (Orada bir taşıt var.)	 12 x 12 piksel (Oradaki taşıt bir otobüse benziyor.)

Şekil 2.2 Çözünürlüğün E/O Verisine Etkisi

Sonuç olarak, E/O sensörlerden beklenen, nispeten kısa menzilleri göz önünde bulundurulduğunda hedefin ilk tespitinden ziyade, diğer sensörlerin varlığını tespit ettiği ancak tanımlayamadığı hava araçları ile ilgili tip, milliyet vb. gibi hedefin kimliğine dair ek verilerin elde edilmesidir.

2.3.5. Taktik Data Link

Harekâtın iyi bir şekilde desteklenebilmesi için haberleşme sistemlerinin gerçek zamanlı ve kesintisiz olması beklenir. Harekata katılacak tüm platform ve birimlerin birbirleri ile haberleşme ve bilgi paylaşımını sağlayan veri iletişim ağı sistemine taktik data link (TDL) denir.

Dünya genelinde farklı maksatlarda kullanılan TDL'ler söz konusudur, hava araçları genellikle Link-16 üzerinden iletişim kurduğu için bu çalışmada TDL olarak Link-16 kastedilmektedir. Link-16, gerçek zamanlı veri iletişimi, harekâta dair ortak bilgi paylaşımı ve harekâtın takibini sağlar. Kriptolu olması sebebi ile güvenli bir protokoldür, aynı ağa katılan tüm katılımcılar birbiri ile ve diğer komuta kontrol merkezleri ile veri paylaşımı yaparlar.

Radarı ya da herhangi bir tespit sensörü bulunan bir hava aracı Link-16 ağına girerek hem kendine ait bilgileri hem de tespitlerini ve tespitlerine ait bilgileri raporlar. Böylece gerçek zamanlı ve güvenli veri paylaşımı sağlanmış olur.

Link-16 ağına girebilen herkes harekâtın aynı tarafında yer almaktadır, bundan dolayı ağa güvenli bir şekilde giriş bilgisi varsa link katılımcılarına dost teşhisi verilir. Bununla birlikte, Link-16 ağının yalnızca askeri platformlar tarafından kullanılacağı dikkate alındığında, hava sahasındaki tespitlerin çoğunluğunda ağa giriş veya PPLI (Precise Participant Location and Indication) verisi olmayacağını söylemek yanlış olmaz.

PPLI, Link-16 katılımcılarının kendi konum, kimlik, görev ve ağa katılım durum bilgilerini ilettikleri mesajlardır. PPLI verisi, bir mesaj olduğu için yalnızca Link-16'dan elde edilebilir.

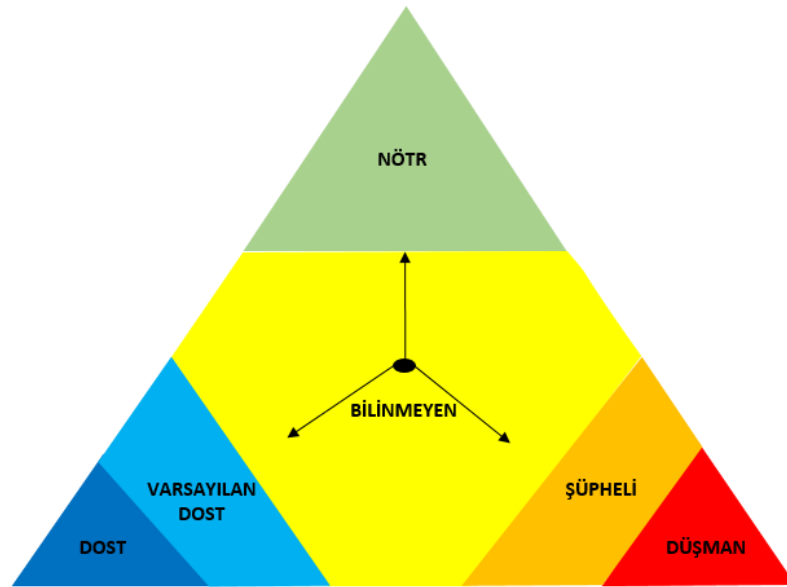
2.4. Teşhis

Teşhis ise, tespit edilen hava aracının faaliyetine ve niyetine bağlı olarak dost, bilinmeyen, şüpheli, düşman vb. olarak kategorize edilmesidir.

Sensörler kullanılarak tespit edilen hava aracı sürecin en başında bir sembol olarak gösterilir ve bu sembol plot olarak adlandırılır. Plot verisinin içerisinde sadece ham veri (konum, güncelleme zamanı vb.) bulunmaktadır. Sensörlerden direkt olarak elde edilmeyen ancak veri güncellemelerine bağlı hesaplamalar ile elde edilen sürat ve yön bilgisi gibi vektör veriler de bulunan sembole “iz” adı verilir.

Bir hava aracı tespit edildikten sonra, iz başlatma işlemi gerçekleştirilir ve başlatılan iz izlenmeye başlanır. İzleme esnasında, ize belirli bilgi kaynaklarından elde ettiğimiz bilgilere göre bir teşhis verilmesi gerekmektedir. İzler operatöre askıda (Pending) durumunda gelir ve operatörün ize teşhis vermesi için kısıtlı bir süresi bulunmaktadır. Bu kısıtlı süre içerisinde 6 adet teşhisten (dost-friend, düşman-hostile, nötr-neutral, bilinmeyen-unknown, varsayılan dost-assumed friendly, şüpheli-suspect) biri verilmelidir. Teşhis işlemi, tespit edilen hava aracının faaliyetine ve niyetine bağlı olarak kategorize edilmesidir. Milliyet ve uçak tipi tam teşhis değildir.

Teşhis aşamasında düşman ve şüpheli hedeflere alınacak önlemler ve savunma reaksiyonları ile, dost/nötr gibi kötü niyet bulundurmeyen hava araçlarına alınacak önlemler ve reaksiyonlar farklıdır. Gerçekte dost olan bir uçağı düşman olarak teşhis edip düşürmek bir savaşın başlamasına bile sebep olabilmektedir. Bu sebeple, teşhis işlemini doğru bir şekilde tamamlamak kritik bir öneme sahiptir. Teşhis çeşitleri aşağıdaki teşhis üçgeninde gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Teşhis Üçgeni

2.4.1. Teşhis Çeşitleri

Sensörler tarafından uygulanan olası nitelik tanımlama değerleri kümesi, bu sensörleri kullanan kuruluşların standardizasyon belgelerine dayanarak belirlenebilir. Bu çalışma, STANAG 1241 taslağına uygun olarak temel bir tanımlama taksonomisini varsaymaktadır [4].

Friendly: (DOST) Bir müttefik/koalisyon askeri izi, nesnesi veya varlığı; dost kuvvetleri destekleyen ve bir müttefik/koalisyon ulusuna veya ilan edilmiş veya tanınmış bir dost gruba ait bir iz, nesne veya varlık.

Hostile: (DÜŞMAN) Özellikleri, davranışları veya kökenleri karşıt güçlere ait olduğunu gösteren ya da dost güçler ve misyonları için tehdit oluşturduğunu gösteren bir iz, nesne veya varlık.

Neutral: (NÖTR) Ne müttefik/koalisyon askeri kuvvetlere ne de karşıt askeri kuvvetlere ait olmayan, özellikleri, davranışları, kökenleri veya milliyetleri dost kuvvetleri veya onların görevlerini desteklemediğini veya onlara karşı çıkmadığını gösteren askeri veya sivil bir iz, nesne veya varlık.

Unknown: (BİLİNMEYEN) Herhangi bir standart kimliğin kriterlerini karşılamayan, değerlendirilmiş bir iz, nesne veya varlık. Örneğin, ATO, FP, tahsisli Mod1,Mod2 kodu ve telsiz teması olmayan aynı zamanda düşmanca hareket de sergilemeyen hava araçları bilinmeyen durumda kabul edilebilir. Bilinmeyen bir hava aracı tespit edildiğinde, sensörler ESM ya da E/O (elektro optik) sensörleri gibi o bölgeye yönlendirilerek daha detaylı inceleme yapmaları sağlanır. Bu durumda, sensörlerin her birinden bu hava aracına ait elde edilen bilgiler çok değerlidir ve birleştirme işlemi yapılarak bilinmeyen teşhisi değiştirilir.

Assumed Friendly: (VARSAYILAN DOST) özellikleri, davranışı veya kökeni nedeniyle arkadaş olduğu varsayılan bir iz, nesne veya varlık. ATO ya da FP yollamayan ancak telsiz teması kurulabilen başka milletlerden uçaklar vb. bu kategoride değerlendirilebilir.

Suspect: (ŞÜPHELİ) özellikleri, davranışları veya kökenleri potansiyel olarak karşıt güçlere ait olduğunu veya dost güçler ve görevleri için potansiyel bir tehdit oluşturduğunu gösteren bir iz, nesne veya varlık.

Mevcut durumda, teşhis çeşitlerinden bilinmeyen, şüpheli ve düşman hava araçlarını doğru tespit etmek kritik bir öneme sahiptir. Özellikle bilinmeyen ve şüpheli teşhislendirmelerini doğru hava araçlarına verebilmek belirsizliği ortadan kaldırmak ve doğru reaksiyonu alabilmek adına önemlidir.

2.4.2. Teşhisi Destekleyen Bilgi Kaynakları

Teşhis işlemini destekleyen birçok bilgi kaynağı bulunmaktadır, en çok kullanılanlardan birkaçı aşağıda açıklanmıştır.

Sorgulayıcı Cevaplayıcılar (IFF Mod Bilgileri): Dost uçaklar kimlik bilgilerini gizlemek istemezler, kendilerini raporlamak isterler. IFF ve Mod bilgileri alınan uçaklar için tehlike içermeyen teşhis sınıflandırması yapılabilir. Mod1, Mod2 ve Mod5 yalnızca askeri araçlarda kullanıldığından, aracın askeri/sivil teşhisi ile ilgili de bilgi sağlar.

ESM (Electronic Support Measures): Tespit kaynaklarından biri olan ESM'in sağladığı bilgiler, teşhis verme işleminde de kullanılır. COMINT ile dinlenen telsizlerden konuşulan dilin/milliyetin tespit edilmesi, ELINT ile tespit edilen radarın yeri vb. istihbaratlar teşhis verme işlemini destekler.

ATO ve FP ile Eşleştirme: Tespit edilen izin bilgileri ve ATO/FP'de yazan bilgilerin eşleşmesi, tehdit içeren bir durum olmadığını gösterir ve teşhis verme işlemini kolaylaştırır.

ID By Origin (IDBO): Kalkış meydanı bilgisi, teşhis verme işlemini kolaylaştırır. Askeri meydan /sivil meydan bilgisine göre askeri/sivil hedef ayrımının yapılmasını sağlar.

Killbox: İçine giren herkesin düşman olduğu kural bazlı sahalardır. Bu sahalara giren hava aracına direk düşman teşhisi verilir.

Bir hava aracının teşhisi, uçuş sırasında sürekli olarak davranışına, sorgulara verdiği yanıtlara vb. sebeplere bağlı olarak değişebilir, bir uçağın tüm uçuşu boyunca bir teşhisle devam etme zorunluluğu yoktur.

2.5. Mevcut Durum

Mevcut durumda yalnızca radarlar aracılığı ile tespit edilen hava araçları teşhis verme işlemi için komuta kontrol merkezlerine aktarılmaktadır.

Komuta kontrol merkezleri, kendisine ait izleme sahasında, tespit edilen izlerin sisteme dâhil edilmesini sağlar. İz üretim sahasındaki (TPA-track production area) izlerin teşhislerini verir, sorumlu olunan sahada askeri veya sivil uçuşların takip ve koordinesi ile emniyetli bir şekilde görev yapılmasını sağlayacak gözetleme görevlerini icra eder [5].

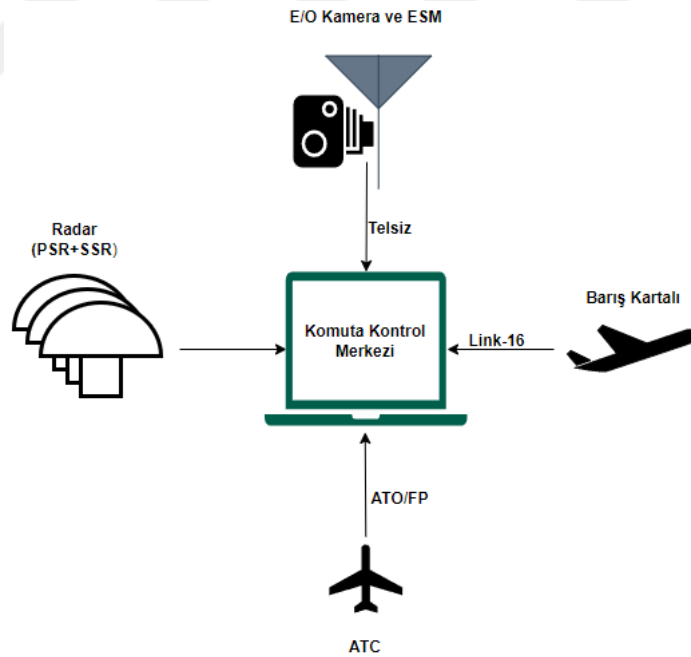
Teşhis verme yetkisi için radar ve IFF verilerine ilave olarak, asgari telsiz çağrısı yapılabilmesi ve ATO/FP'ler güncel olarak alınabilmelidir. Asgari gereksinim olarak

belirlenen bu üç unsurun yanında özellikle teşhis edilemeyen diğer hava araçlarının kimliği ile alakalı yukarıda açıklanan teşhisi destekleyen bilgi kaynakları kullanılmaktadır.

Teşhis verme işleminde operatöre yardımcı olacak diğer bilgiler de komuta kontrol merkezlerine aktarılır. Aktarılan çeşitli bilgilerden bazıları aşağıda açıklanmıştır.

- Diğer sensörler ile yapılan teşhislerin telsiz ile aktarılması: Mevcut durumda, tespit edilen hava araçları yalnızca radar sensörü ile komuta kontrol merkezlerine aktarılmaktadır, diğer sensörler ile komuta kontrol merkezleri arasında bir entegrasyon söz konusu değildir, diğer sensörlerden elde edilen teşhis verileri telefon, telsiz ya da ayrı bir sohbet ekranı ile manuel olarak operatörler tarafından alınarak teşhis verme işleminde kullanılmaktadır.
- Link-16 ile iz paylaşımı: Komuta kontrol merkezleri, genişletilmiş gözetleme için bilgi elde etmek amacıyla komuta kontrol verilerini diğer komuta kontrol sistemleriyle taktik data linkler (TDL) aracılığıyla birleştirir.

Tüm bu mevcut durum aşağıdaki şekilde görselleştirilmiştir.



Şekil 2.4 Mevcut Durum

Aktarılan bilgiler komuta kontrol sistemleri ile birleştirilerek hava resmi elde edilir, hava resmi üzerinde bu tespit edilen araçlar izlenerek ve teşhisi destekleyen bilgi kaynakları kullanılarak teşhisleri verilmektedir.

3. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Bilinmeyen hedeflerin tespiti, tanımlanması ve takip edilmesi hava gözetim ve güvenlik sistemlerinde çok önemli bir görevdir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte tek bir sensör sistemi ihtiyaçları karşılayamamakta ve çok sensörlü çoklu hedef takibi gereksinim haline gelmektedir.

Coates [6], 1996 yılında izleme sistemlerinin performansını iyileştirmek amacıyla sensör füzyonunun uygulanması konusunda ilgilenebilir. Makale, düşük gözlemlenebilir hedeflerin izlenmesi için bir takip sistemi sağlamak amacıyla IR (Infrared) arama ve takip teknolojisinin mevcut sensörlerle birleştirilerek tüm menzillerdeki düşman hedefler için gelişmiş bir takip sistemi çözümü sağlamasını amaçlamaktadır. Bu makalede havadaki IRST (IR Search and Track) sisteminde havadaki hedeflerin tespiti ve takibi için bazı yöntemler sunulmaktadır. Tespitler gerçekleştiikten sonra, farklı sensörlerden gelen izler aynı hedefe aitse korelasyona uğratılmalıdır. Yazar çalışmasında korelasyon için farklı yöntemler incelemiştir. İlk yöntem, gating yöntemidir ve gating algoritmasını en yakın komşu mantığına dayalı bir şekilde kurmuştur. Gating algoritması işletilirken aynı hedeflerin bir dikdörtgen içerisinde kalması amaçlanmıştır. Bu yöntemin bu çalışmadaki gating yönteminden farkı alt katmanda direkt pasif bir hedef tespit sistemi olan IRST sensörü ile çalışmasıdır, bu tezde ise alt katmanda farklı radarlar için gating algoritması işletilmiştir. Ek olarak bu tezde, katmanlı bir yapı mevcuttur ve üst katmanda farklı tespit sensörleri alt katmandan gelen bilgilerle tekrar gating algoritmasına sokulmaktadır.

İkinci yöntemde tespit edilen hedefe ait farklı hipotezler sunulmuş ve Reid's algoritması olarak bilinen bir Multiple Hypothesis Tracking (MHT) yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu ağaç yapısında iki farklı veri seti kullanılmıştır. Makalenin sonucunda, bir IRST sisteminin diğer sensörlerin verilerini kullanarak takip sistemini geliştirmesinin hem IRST sisteminin performansını artırdığı hem de karmaşık matematiksel işlemleri azaltarak iyileştirme sağladığı görülmüştür. Yazarın gelecekteki çalışmalar için önerisi ise, yeni gelişecek sistemlerde füzyon işleminin en başından hesaba katılmasıdır.

Chang ve Shalom [7], 1996'da MTI (Moving Target Indicator) radarları ile çoklu sensör izleme ve füzyon konularında bir makale yayınlamışlardır. Çok sensörlü izleme ve veri birleştirme konuları, verilerin belirsiz olması, her hedefin her sensör tarafından tespit edilememesi, hedeflerden kolayca ayırt edilemeyen dağınıklık algılamaları nedeni vb. sebeplerden dolayı karmaşık bir konudur. Bu çalışmada yazarlar, birden çok MTI

radarından elde edilen verileri içeren çoklu hedef izleme problemini ele almışlardır. Yoğun bir dağınıklık ortamında hem veri kaynağı hem de hedefteki belirsizlikleri hesaba katan, açgözlü en yakın komşu algoritmasına dayanan yeni bir izleme ve füzyon algoritması sunmuşlardır. Sunulan algoritmada, merkezi bir füzyon mimarisi kurgulanmıştır ve bu mimariye göre birden çok sensörden sağlanan veriler bir merkezde birleştirilir. Bu kurgudaki amaç, bir izi mümkün olduğunca hızlı bir şekilde yanlış izlerden ayırt etmektir. Algoritmanın özeti olarak, her radar dönüşünde güncelleme geldiğinde birbirinden uzak verilerin ilişkilendirilmesi engellenmiş ve yakın güncellemeler bir araya toplanmıştır. Farklı sensörlerden alınan hedef bilgileri bir merkezde toplanmış ve kümeleme yöntemi ile kümelere ayrılmıştır. Daha sonra bir araya toplanan güncelleme verileri arasında veri ilişkilendirilmeleri yapılarak veriler sadeleştirilmiştir. İz başlatma işlemine geçmeden önce, her ize bir puan atanmış ve iz düşürme ya da başlatma işleminde bu puanlar kullanılmıştır. Gereksiz izlerden kaçınmak için, belli bir eşik puanın altında kalan izler budanarak düşürülmüştür. Yazarlar çalışmalarında yalnızca radarların füzyonu ile ilgilenmiş, bu tezin aksine çalışmada farklı bir sensör kullanılmamıştır. Çalışılan algoritma, MATLAB ortamında çalıştırılmış ayrıca Monte Carlo simülasyonu ile izler oluşturularak analiz edilmiş ve performansının iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Wang v.d. [8], veri ilişkilendirmeye yönelik büyük ölçekli hava trafiği gözetimi için çok sensörlü, çok hedefli bir IMM (Interacting Multiple Model) izleme algoritması sunmuşlardır. Algoritma, çok sayıda radarla elde edilen ölçümlerden çok sayıda hedefi takip etmek için kullanılabilir bir algoritma olarak tanıtılmıştır. Algoritmanın kullanımı, asenkron olan beş radardan elde edilen ölçümlerde gösterilmektedir. Çalışmada, birincil ve ikincil radarlar (IFF) heterojen ve coğrafi olarak geniş bir alana dağılmış olan 800 adet hedefi gözetlemiştir. Yazarlar, bir dizi performans ölçüm kriteri belirleyerek kendi algoritmalarını ve Kalman filtresi algoritmasını karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonunda, IMM algoritması çoklu sensör verilerini birleştirdiği için daha iyi performans göstermiştir ve hesaplama gereksinimlerini tek sensöre göre önemli ölçüde düşürmüştür.

Challa ve Pulford [9], 2001 yılında hedef izleme ve hedef sınıflandırma problemini radar ve ESM sensörlerini birlikte çalışacak şekilde ele almıştır. Bu problemi ele alırken radar ve ESM verilerini kullanan, Bayes hedef sınıflandırma yöntemlerini kullanmışlardır. İlk olarak, ESM verilerini kullanan bir hedef sınıflandırma yöntemi sunmuşlardır. ESM verileri yayın kaynağı hakkında kimlik bilgileri içerir, çalışmada sınıflandırılacak

hedeflerin benzersiz yayın kaynaklarına sahip oldukları varsayılmıştır. Bu nedenle, hedefleri ayırt etmek için ESM verileri kullanılabilir durumdadır. İkinci olarak ise radar verilerini kullanan bir hedef sınıflandırma yöntemi sunulmuştur. Hedef sınıflandırılmasının temeli, radardan hedef hakkında elde edilen bilgilere dayanır. Çalışmada hedef sınıflarını ayırt etmek için hedef tarafından başlatılan manevra girdileri ve hedefin kapladığı durum uzayı bilgileri kullanılmıştır. Ardından, doğrudan kimlik füzyonu (DIF - Direct Identity Fusion) adını verdikleri bir radar ve ESM veri füzyon algoritması çalışmışlardır. Bu algorithmada hem radar hem de ESM sensörleri ile ilişkili verilerin mevcut olduğu ve hedef manevra modellerinin ve hedefe yerleştirilen yayın kaynağının aynı hedef türlerini yansıttığı varsayılmıştır. Bu algoritmanın bazı yönlerde başarılı bazı yönlerde ise başarısız bir algoritma olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Daha sonra ise, ortak izleme ve sınıflandırma (JTC – Joint Tracking and Classification) olarak adlandırılan bir yöntemi önermişlerdir. JTC yönteminin DIF yöntemine göre daha fazla fayda sağlamakla birlikte uygulaması daha zor bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır. JTC yönteminde, DIF yaklaşımına göre sınıflandırma performansında bir iyileşme olsa da, önemli bir gelişme gözlemlenemediği sonucuna varılmıştır.

Kırubarajan v.d. [10], çok hedefli izleme için çok boyutlu veri ilişkilendirmesini kullanan çok sensörlü bir füzyon algoritmasının geliştirilmesini sunmuşlardır. Çalışma, merkezi füzyon için zamanla değişen örnekleme aralıklarına (elektronik olarak taranan dizi (ESA) radarları) sahip birden fazla asenkron sensörden alınan gözlemlerin kullanıldığı büyük ölçekli bir gözetim problemi tarafından motive edilmektedir. Sunulan yeni maksimum derinlikli çok boyutlu algoritma ve standart sensörler arası füzyon yönteminin performansları 120 hedef ve 4 sensörlü örnek simüle edilmiş senaryo kullanılarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken ana performans ölçütü, iki sensör birleştirme/izleme algoritmasının izleme kararlılığıdır (iz kaybı az olmalıdır). Sonuçta, standart füzyon yöntemi az boyutlu ortamda başarılı olsa da daha yüksek boyutlu karmaşık ortamlarda önerilen algoritmanın daha başarılı olduğu görülmüştür.

Möbus ve Kolbe [11], nesnelerin takibini daha doğru ve güvenilir bir şekilde yapabilmeyi amaçlayarak kızılötesi ile radar sensörleri verilerinin tek sensörlü izlenmesi ve çoklu sensör birleşimi için algoritmalar ve teknikler sunan bir makale yayınlamışlardır. Tek sensörlü izleme bölümünde, hedefin izlenerek gating veya kümeleme algoritmaları ile ilişkilendirilmelerinden bahsedildikten sonra radar ve kızılötesi sensörlerinin tek sensör olarak izleme süreçleri anlatılmıştır. Çoklu sensör füzyonu bölümünde ise, Probabilistic

Data Association (PDA) ve Kalman filtreleme yöntemleri açıklanmış, kızıl ötesi ile radar sensörlerinin füzyona uğrama süreçlerine değinilmiştir. Daha sonra, günlük hayattan bir trafik sahnesi örneği ile hem tek sensörlü izleme hem de çoklu sensör izleme sonuçları incelenmiştir. İnceleme sonucunda, radar verilerinin kızılötesi verilerle birleştirilmesinin, nesne takibinin algılama aralığını, güvenilirliğini ve doğruluğunu önemli ölçüde artırdığını göstermişlerdir. Nesneler hızlı manevra yapabilen cisimlerdir bu sebeple düzgün bir nesne takibi günlük hayattaki birçok tehlikenin önüne geçme potansiyeline sahiptir, sensör füzyonu sayesinde manevralar daha hızlı bir şekilde yakalanabilir hale gelmiştir.

Raol [12], 2009'da, çoklu sensörlerden elde edilen verilerin birleştirilmesi konusunda bir kitap yayınlamıştır. Veri birleştirme sürecinin anlaşılması, yöntemlerin incelenmesi ve sonuçların analiz edilmesini konu alan kitapta yöntemler MATLAB programlama dili temel alınarak incelenmiştir.

Dong v.d. [13], 2009 yılında çoklu sensörlü uydu görüntüsü birleştirme konusunu çalışmışlardır. Nesne tanımlama, sınıflandırma gibi füzyon algoritmalarını tanıtmış ve bu algoritmaların avantajları ile mevcut zorluklarından bahsetmişlerdir.

Floudas v.d [14], çok sensörlü veri füzyonu konusunu yerleşik hareketli araçlar için çalışmışlardır. Otomotiv sektörü için önerdikleri uygulamayı gerçek veri ve simülasyon verileri ile test etmişlerdir. Testin sonucunda, önerilen yaklaşımın nesnelerin kimliğinin korunmasına ve araç ortamının kabul edilebilir yanlış alarm ve gözden kaçırma oranlarıyla tanınmasına olanak sağladığını göstermişlerdir.

Schubert v.d. [15], bir aracın dinamik durumunun tahmin edilebilmesi için veri füzyonu temelli akıllı trafik uygulamaları hakkında bir çalışma yayınlamışlardır. Yapılan durum tahmininin sağlamlığını ve doğruluğunu arttırmak amacıyla çok sayıda hareket modelini incelemişlerdir. Uygulama olarak, GPS (Global Positioning System) verileri Kalman Filtresi ile birleştirilerek bir izleme işlemi gerçekleştirilmiş ve performansı birleştirilmemiş metodlar ile karşılaştırılmıştır. Aynı şekilde, modellerin performansı farklı senaryolarda ve sürüş durumlarında değerlendirilmiştir. Yazarlar sonuç olarak, izleme işlemi geliştirmek için farklı modellerin güçlü yönlerinin birleştirilmesi önerisinde bulunmuşlardır.

Liyun [16], 2014 yılında çok sensörlü çoklu hedef izleme (MMT- Multi Target Tracking) konusunda çalışma yapmıştır. Bu makale, Maksimum Olabilirlik Tahmini (MLE) ile

Adaptif Sinir-Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) yöntemlerini birleştirerek MMT'yi çözmek için bir hibrit yöntem sunmaktadır.

Çoklu sensörlü çoklu hedef izleme sistemleri için ana problem farklı sensörlerden sağlanan hangi verilerin aynı hedefe ait olduğunu belirlemektir. Bu makalede, bu sorunu çözmek için sisteme maksimum olabilirlik tahmini yöntemi uygulanmıştır. Daha sonra izleme doğruluğunu artırmak için yapılan veri birleştirme, veri ilişkilendirme ve hedef izlemenin birleştirilmesi işlemleri için ANFIS kullanılmıştır. Önerilen hibrit yöntemin uygulanabilir ve etkili olduğunu doğrulamak için iki tipik çok sensörlü çok hedefli izleme sistemi senaryosu simüle edilmiş ve Monte Carlo simülasyonu 50 kere çalıştırılmıştır. Deneysel sonuçlar algoritmanın etkinliğini doğrulamıştır.

Li v.d. [17], 2015 yılında sensör ağlarının araştırılmasında iki etkileyici konu olan, çoklu sensör füzyonu ve konsensüs filtreleme hakkında bir araştırma makalesi yayınlanmışlardır. Makalede ilk olarak, çoklu sensör füzyonu tanımlanmış ve kullanımının faydaları ele alınmıştır. Daha sonra bazı çoklu sensör füzyon yöntemleri (Kalman filtreleme vb.) anlatılmış ve eksik kaldıkları yönlerin mevcut olması sebebiyle konsensüs filtreleme algoritmasına ihtiyaç duyulduğundan bahsedilmiştir. Daha sonra bu iki konu ile ilgili en güncel çalışmalar ele alınmış ve son olarak ise, geleceğe yönelik birkaç öneri verilerek çalışma tamamlanmıştır.

Thite ve Mishra [18], çoklu sensör kullanan hava gözetleme sistemleri için çoklu hedef takibi konusunda bir çalışma yapmışlardır. Bu konudaki en temel sorunlardan biri olan veri ilişkilendirme problemini Çoklu Hipotez İzleme (MHT – Multi Hypotheses Tracking) algoritmasını çok boyutlu atama yaklaşımıyla geliştirerek çözmeyi önermişlerdir. HOMHT'nin (Hypotheses Oriented Multiple Hypotheses Tracking) hesaplamalı fizibilitesi, hipotezleri daha verimli bir şekilde oluşturmak için Murty'nin K-best atama algoritmasının [19] kullanılmasıyla büyük ölçüde geliştirilmiştir. Algoritma, diğer basit algoritmalara göre iyileştirmeleri ölçmek amacıyla diğer izleme algoritmalarıyla karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. Önerilen Optimize Edilmiş Çok Sensörlü Çok Hedefli İzleme algoritması yüksek yoğunlukta bile veri ilişkilendirme sürecini hızlı hale getirmiştir. Özetle, çoklu hedef takip sistemi, coğrafi olarak yayılmış birden fazla sensör yardımıyla hedef bilgilerini toplar. Bu sensörler analiz edilecek ve her hedefin izine dönüştürülecek büyük miktarda veri üretir ve komutanların muharebe operasyonlarını gerçekleştirmesi için ortak hava resmi oluşturmak amacıyla veri ilişkilendirme kararlarını alır.

Taghavi v.d. [20], ESM verileri kullanarak hedef tanımlaması için yeni bir mimari geliştirme konusunda çalışmışlardır. Çalışmadaki fikir, farklı işlem seviyelerinden farklı veri türlerini kullanmak ve ardından daha iyi sınıflandırma sonuçları elde etmek için bunları bir araya getirmektir. Bu çalışmanın ana odak noktası, birden fazla ESM sensörünün yanı sıra radar (kinematik) ölçümlerini ele almak ve ESM ile kinematik verilerin işlenmesine yönelik yeni bir yaklaşım önermektir. Önerilen yaklaşımda, farklı ESM'lerden farklı bilgi türleri gelmesi sonucu birleştirememeye sorunu ile karşılaşmış ve bu sorun örtüşmeyen veriler varsa, toplanan verilerdeki tüm boş özellik kümelerini farklı sensörler tarafından doldurmak yöntemi ile çözülmüştür. Örtüşme durumunda, veriler aynı türde ve bağımsız olduğu için basit bir füzyon kuralı uygulanmıştır. Çalışmada bir ESM ve bir radar ile örnek yapılmış, yöntem olarak Monte Carlo simülasyonu 100 kere çalıştırılmıştır. Simülasyon sonuçları, ESM işleme zincirindeki herhangi bir seviyeden fazladan bir özellik eklemenin bile sınıflandırma sonuçlarını yalnızca kinematiğe dayalı sınıflandırma yapmaya göre iyileştirebileceğini göstermiştir.

Siebert [21], 2017 yılında denizcilik dünyasında daha güvenilir bir deniz taşımacılığı yapılabilmesi için bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmasında, denizcilikte izlemeyi sağlamak için kullanılan durum resmini daha güvenilir bir şekilde elde etmeye odaklanmıştır ve bunun için farklı açıları olan mekânsal olarak dağıtılmış işbirlikçi sensörler önerisinde bulunmuştur. Denizcilik alanında durum değerlendirmesi ve çarpışmadan kaçınma için birincil sensör, her kıyıdaki kontrol istasyonunda ve her gemide kurulu olan radarlardır. Gemilerin ve istasyonların dinamik durumlarını yayınlamalarına izin vermek üzere kullanılan Otomatik Tanımlama Sistemi (AIS – Automatic Identification System) ise ikincil sensör olarak kullanılmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada çoklu sensörler olarak farklı radarlar ve AIS sistemi kullanılmıştır. Siebert, AIS verilerini de dâhil ederek, hedef takibinden önce çoklu radar sensör ağından gelen verilerin birleştirilmesi için bir mimari önermiştir. Radar hedef ölçümlerini birleştirmeden önce, farklı sensör kaynaklarından elde edilen bu ölçümleri ilişkilendirerek aynı hedefe ait olduğuna emin olmak gerekir, bu kapsamda çalışmada Küresel En Yakın Komşu kuralı ve doğru eşleştirme için Munkres algoritması kullanılmıştır. Hedeflerin eşleştirilmesi yapıldıktan sonra takip süreçleri için literatürde bulunan birçok yöntem arasından IMM-JPDA (Interacting Multiple Model - Joint Probabilistic Data Association) kullanılmıştır. Önerilen model, Baltık Denizinde iki radar ve üç gemi ile çeşitli senaryolar işletilerek denenmiştir. Çalışmanın sonucunda modelin,

iki radar tarafından izlenen aynı çoklu hedef senaryosunu içeren ölçüm verileri üzerinde başarılı olduğu ortaya çıkmıştır. İki'den fazla radar için model denenmemiş olmakla birlikte, yetersiz kalabileceği düşünülmektedir. Önerilen modelin gelecekte daha fazla radarı birleştirmek için genişletilmesi önerilmiştir.

Koh [22], 2019'da hava trafik gözetlemesinde teknoloji geliştikçe radarlardan farklı sensörlerin bulunduğundan söz etmiştir. Bu farklı sensörlerden elde edilen bilgilerin entegre edilmesi işlemine; süreklilik, bütünlük, doğruluk açısından ATC'nin performansını artırmanın gerekliliği ve aynı zamanda bir yedek gözetleme sensörü olarak hizmet etmesi için ihtiyaç duyulduğundan bahsetmiştir. Çalışmada önerilen Multi-Sensor Tracking System'in (MSTS) amacı, ADS-B sensöründen gelen konum verileri ile radardan elde edilen konum verilerini doğru bir korelasyon işlemine uğratarak daha güvenilir bir konum verisi sağlamak olarak söylenebilir. Yazar, belirsizlikleri ve farklılıkları çözecek etkili korelasyon algoritmalarının hala eksik olduğunu söyleyerek araştırmasında etkili ve yüksek performanslı çoklu sensör korelasyon algoritması geliştirmeyi amaçlamıştır. Geliştirilen algoritmaya dayalı C# kullanılarak bir araç geliştirilmiştir ve Malezya Sivil Havacılık Dairesi'nden (CAAM) alınan gerçek zamanlı radar ve ADS-B verileri kullanılarak doğrulanmıştır. Yazar çalışmasında ADS-B sensöründen gelen verilerde sık sık konum atlaması oluşmasında zorlanmış ve uygulamanın etkinliğinin artırılması için ikiden daha fazla sensörün birlikte çalışması gerekliliğinden söz etmiştir.

Gad [23], 2019'da deniz gözetimini desteklemek ve böylece hedef izleme sisteminin kalitesini artırmak için çok sensörlü veri füzyonu çalışması gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, deniz gözetleme sürecini desteklemek için etkili bir bulanık mantık tabanlı veri birleştirme tekniği kullanılmıştır. Çalışmada, farklı bilgi seviyelerinde veri birleştirme işlemleri gerçekleştiren veri birleştirme algoritmasının performansını değerlendirmek için gerçek bir veri kümesi kullanılmıştır. Gerçek veri testi, bir deniz gözetleme alanında bulunan üç radarı içermektedir. Radarlar, yaklaşık 100 mil boyunca dağılmış iki boyutlu seyir radarlarıdır. Önerilen bulanık mantık tabanlı veri füzyon modülünün değerlendirilmesi ve test edilmesi için hızlı bir tekne kullanılmıştır. Hızlı tekne, seyrüsefer yolu boyunca en az iki radar tarafından izlenmesi gereken yolun önceden planlandığı bir vaka çalışması hedefi olarak kullanılmıştır. Planlanan alanda olan diğer hedefler takip edilmemiş yani üç radar yalnızca bir hedefi (hızlı tekne) takip etmiştir. Radarlardan alınan veriler füzyon merkezinde kaydedildikten sonra önerilen

füzyon modeline tanıtılmış ve sonuçları analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, algoritmanın gerçek durumlarda karşılaşılan çok sayıda farklı sensör verisini işleyebildiği gözlenmiştir. Önerilen veri füzyon algoritmasının, tasarım ve uygulama basitliği, azaltılmış hesaplama karmaşıklığı nedeniyle büyük ölçekli bir deniz gözetim alanıyla uğraşırken veri füzyon şemalarına mükemmel bir alternatif olduğu açıktır.

Xu v.d. [24], 2020 yılında hava trafik gözetleme sürecinde rota bazlı dinamik bir izleme (tracking) modeli önermiş ve simülasyon aracılığı ile modeli uygulamışlardır. Yazarlar, çoğu uygulamalarda rotaların yalnızca ekranda gösterilmek için olduğunu vurgulayarak kendi çalışmalarında araçları takip etmek, tahmin etmek için rota bilgilerini yeterince birleştiren dinamik Markov stokastik süreçleri modellemişlerdir.

Jahromi v.d. [25], otonom araçlar için yol bölümleme, engel tespiti ve takip gibi ortam algılama işlemlerini gerçekleştiren yeni bir hibrit çok sensörlü füzyon boru hattı konfigürasyonu (Hybrid Multi-Sensor Fusion Pipeline Configuration) önermişlerdir. Önerilen füzyon çerçevesinde Sinir Ağı ve Genişletilmiş Kalman Filtresi yöntemlerini tercih etmişlerdir. Bu hibrit çerçevenin amacı uygun maliyetli, hafif, modüler ve sağlam (sensör arızası durumunda) bir füzyon sistemi çözümü sağlamaktır. Başvurulan füzyon algoritması, 3000'den fazla yol sahnesinde test edilmiş ve algoritmanın otonom araca ayrıntılı bir çevre haritası sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Çevredeki ortamın detaylı bir şekilde anlaşılması aracın en uygun kararı verebilmesine büyük katkıda bulunmaktadır.

Senel v.d. [26], 2023 yılında akıllı trafik uygulamalarında çevresel algının artırılması için sensör verilerinin birleştirilmesi hakkında çalışmışlardır. Bu makalede, otomotiv sensörlerinden (kameralar, radar ve LiDAR) nesne listesi düzeyindeki verileri birleştirmek için modüler, gerçek zamanlı, çok sensörlü bir füzyon çerçevesi sunulmuş ve test edilmiştir. Çalışmada, çevresel algılamaya yönelik HLF'ye (High Level Fusion) dayalı modüler bir füzyon çerçevesi sunulmuş ve sunulan çerçevede ilk olarak Macar algoritması ve ardından Kalman filtresi metodları kullanılarak füzyon ve izleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen veri birleştirme çerçevesinin farklı senaryolarda doğrulanması amacıyla çeşitli senaryolar üretilmiş ve LGSVL simülasyon aracı ile simüle edilmiştir. Simülasyon işlemi sırasında deneysel olarak nuScenes veri seti kullanılmıştır. Simülasyon işlemi sonucunda hız ve konum gibi bazı parametrelerin bazı sensörlerin bireysel kullanımı ile gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Bir diğer sonuç ise işlem sırasındaki filtrelerin doğru seçilmesinin sonuç güvenilirliğini etkilediğidir.

Liu [27], toplanan verilerin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmak amacıyla, çok sensörlü veri birleştirme teknolojisinde ağırlıklı bilgi birleştirme algoritması ve Kalman filtreleme birleştirme algoritmasını çalışmıştır. Yazar çalışmasında öncelikle çok sensörlü veri birleştirme işlemini tanımlamış ve çalışma prensibini anlatmıştır. Daha sonra, çok sensörlü veri füzyon algoritmalarını incelemiş ve mevcut sorunları üzerinde durmuştur. Ağırlıklı bilgi birleştirme yöntemi, bir grup sensör tarafından sunulan bilgiyi ağırlıklandırmakta ve ortalama olarak sonucu füzyonun değeri olarak almaktadır. Ağırlıklı ortalama füzyon algoritması, matematiksel ortalama formülünü kullanır ve her bir sensörün ağırlıklarını neredeyse eşit olarak alır. Çalışmada, özellikleri ve yetenekleri farklı olan tüm sensörlerin ağırlıklarının eşit olarak alınması bir eksiklik olarak anlatılmıştır. Yazar kendi çalışmasında kullandığı ağırlıklı bilgi birleştirme algoritmasının eksikliğini gidermek amacıyla, jackknife yöntemini ve uyarlanabilir ağırlıklı yöntemi birleştiren bir bilgi füzyon algoritması önerilmiştir. Bu tezde ise bu eksiklik, bilirkışiler ile yapılan AHP yöntemi ile giderilir.

Huang v.d. [28] insansız sürüş yönünde artan talebin farkına varmış ve çevre algılaması için kullanılan tek sensöre bağlı yöntemlerin eksikliklerini belirtmişlerdir. Bu konuda, çevre algılaması yapan sistemlerin tek sensöre bağlı kalmaktansa, çok sensörlü bilgi füzyon teknolojisi kullanmasını önermişlerdir. Bu nedenle, bu çalışmada farklı sensörlerin avantajlarından tam olarak yararlanabilmek için çevresel algılamaya yönelik çok sensörlü bir sistem platformu tasarlamışlardır. Platform, beş optik kamera içeren çoklu kamera sensörü, LiDAR sensörü ve IMU sensöründen oluşmaktadır. Çalışmada sensör kalibrasyonu sonrasında veri birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen platform bir uygulama yapılarak denenmiştir ve uygulama sonuçları, yöntemin insansız araçların veya İHA'ların çevresel algılanması ve işlenmesi için doğru bir karar temeli sağlayan karmaşık çevresel bilgileri doğru bir şekilde toplayabildiğini ve tanımlayabildiğini göstermiştir.

Tablo 3.1 Literatürdeki Çalışmalar

Çalışma	Makale Adı	Yıl	Sensörler	Yöntem	Uygulanan Sektör
Coates [6]	The Fusion of an IR Search and Track With Existing Sensors To Provide a Tracking System for Low Observability Targets	1996	IRST	Gating Algoritması ve Reid's Algoritması	Genel
Chang ve Shalom [7]	Multisensor Tracking and Fusion with MTI Radars	1996	Radarlar	Açgözlü En Yakın Komşu Algoritması	Genel
Wang v.d. [8]	Advanced Estimation and Optimization for Air Traffic Surveillance	1998	Radarlar (Birincil ve İkincil)	IMM (Interacting Multiple Model) Algoritması	Havacılık
Challa ve Pulford [9]	Joint Target Tracking and Classification Using Radar and ESM Sensors	2001	Radar ve ESM	Bayes Hedef Sınıflandırma Yöntemi	Genel
Kirubarajan v.d. [10]	Efficient Multisensor Fusion Using Multidimensional Data Association	2001	Radarlar	Çok Boyutlu Veri İlişkilendirme Algoritması	Genel
Möbus ve Kolbe [11]	Multi-Target Multi-Object Tracking, Sensor Fusion of Radar and Infrared	2004	Radar ve Kızılötesi	Probabilistic Data Association (PDA) Algoritması	Genel
Raol [12]	Multi-Sensor Data Fusion with MATLAB	2009	Çeşitli Sensörler	Örüntü Tanıma Teknikleri ve Karar Bazlı Yöntemler	Komuta Kontrol
Dong v.d. [13]	Advances in Multi-Sensor Data Fusion: Algorithms and Applications	2009	Radar ve Kızılötesi	Wavelet Temelli Füzyon ve Yapay Sinir Ağları Yöntemleri	Görüntü İşleme
Floudas v.d. [14]	Multi-Sensor Coordination And Fusion For Automotive Safety Applications	2006	Farklı Tipte Radarlar ve Kameralar	Çoklu Sensör Veri Birleştirme Algoritması	Otomotiv
Schubert v.d. [15]	Comparison and Evaluation of Advanced Motion Models for Vehicle Tracking	2008	GPS ve Odometre	İnteraktif Çoklu Model Filtresi Yöntemi	Otomotiv
Liyun [16]	A Hybrid Multi-sensor Multi-target Tracking Scheme with MLE and ANFIS	2014	Belirtilmemiş	MLE ve ANFIS Yöntemleri	Genel

Li v.d. [17]	A Survey on Multisensor Fusion and Consensus Filtering for Sensor Networks	2015	Belirtilmemiş	Konsensüs Filtreleme Algoritması	Genel
Thite ve Mishra [18]	Optimized Multi-Sensor Multi-Target Tracking Algorithm for Air Surveillance System	2016	Belirtilmemiş	Optimize Edilmiş Çok Sensörlü Çok Hedefli İzleme Algoritması	Havacılık
Taghavi v.d. [20]	Object Recognition and Identification Using ESM Data	2016	Radar ve ESM	Bayesian Framework	Genel
Siegert [21]	Multi-Radar Multi-Target Tracking In The Context of Cooperative Maritime Traffic Situation Assessment	2017	Radar ve AIS	Küresel En Yakın Komşu Algoritması, Munkres Algoritması ve Ortak Olasılıksal Veri Birliği Algoritması	Denizcilik
Koh [22]	Development Of an Algorithm For Correlation Of Aircraft Positioning Data From Radar And ADS-B Sensors	2019	Radar ve ADS-B	Multi Sensor Tracking System Algoritması	Havacılık
Gad [23]	A Fuzzy Logic-Based Multisensor Data Fusion for Maritime Surveillance - Real Data Testing	2009	Radar, Sonar ve ESM	Bulanık Mantık Tabanlı Veri Birleştirme Algoritması	Denizcilik
Xu v.d. [24]	Route-Based Dynamics Modeling and Tracking With Application to Air Traffic Surveillance	2020	Belirtilmemiş	Rota Bazlı Dinamik İzleme Modeli (Dinamik Markov Stokastik Modelleri)	Havacılık
Jahromi v.d. [25]	Real-Time Hybrid Multi-Sensor Fusion Framework for Perception in Autonomous Vehicles	2019	Kamera, LiDAR ve Radar	Sinir Ağı Algoritması ve Genişletilmiş Kalman Filtresi Algoritması	Otomotiv
Senel v.d. [26]	Multi-Sensor Data Fusion for Real-Time Multi-Object Tracking	2023	Kamera, LiDAR ve Radar	Macar Algoritması ve Kalman Filtresi Yöntemi	Otomotiv
Liu [27]	Application Research and Improvement of Weighted Information Fusion Algorithm and Kalman Filtering Fusion Algorithm in Multi-Sensor Data Fusion Technology	2023	Belirtilmemiş	Ağırlıklı Bilgi Birleştirme Algoritması ve Kalman Filtreleme Birleştirme Algoritması	Genel
Huang v.d. [28]	The Data Fusion and Semantic Segmentation Method Based on Multi-Sensor System	2023	Kamera, LiDAR ve IMU	Derin Öğrenmeye Dayalı Anlamsal Bölümleme Yöntemi	İHA

Özetle, bu tezde literatürde bulunan gating algoritmalarından farklı olarak katmanlı bir yapı mevcuttur. Alt katmanda radarlar kendi aralarında bir gating algoritmasına sokulmuş ve super plot dediğimiz birleştirilmiş veriler elde edilmiştir. Daha sonra alt katmanın sonucunda elde edilen veriler bir üst katmana taşınarak radardan farklı 3 tespit sensörü ile daha aynı anda gating algoritmasına sokulmuştur. Yani toplamda 4 farklı sensörün ana rol oynadığı bir çok sensörlü veri ilişkilendirme ve birleştirme sistemi önerilmiştir. Veri birleştirme işlemi yapılırken ise alt katmanda radarın kendi gönderdiği kalite verisi kullanılarak bir ağırlık elde edilmiş ve sayısal veriler birleştirilirken bu ağırlıklar dikkate alınmıştır. Üst katmanda ise diğer tespit sensörleri literatürün aksine eşit ağırlıkta varsayılmayarak bilirkişilere bir AHP anketi doldurtulmuş ve sonucunda elde edilen tutarlı ağırlıklar kullanılarak veri birleştirme işlemi tekrarlanmıştır.



4. METODOLOJİ

İlk etapta radar verilerinin tanımlanacak kurallara göre birleştirilmesi daha sonra birbirinden farklı sensörlerden elde edilen verilerin yine tanımlı kurallar doğrultusunda birleştirilmesi işlemlerinin, hava aracının tanımlanması ve teşhis edilmesi amacıyla kullanılması hedeflenmiştir. Elbette, hukuki sebepler yüzünden hava araçlarının teşhis edilmesi nihayetinde operatörlerin sorumluluğundadır. Dolayısıyla bu çalışmanın sonunda elde edilecek çıktılar operatöre tavsiye niteliğinde olacaktır.

Hava sahasının yoğunluğu ve insan kaynaklı hataların olma olasılığı göz önüne alındığında, tavsiye niteliğinde olsa bile karar destek sistemlerinin sağlayacağı sonuçlar büyük faydalar sağlayacaktır. Şöyle ki; normal şartlar altında teşhisi verilemeyen uçaklar için askeri scramble (acil kalkış) uçuşu yapılmak suretiyle teşhis sağlanmaya çalışılmakta, bu da hem maliyet bakımından hem de diplomatik bazı sonuçları bakımından olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Hatta yanlış teşhis verilerek dost veya sivil uçakların düşürülmesiyle sonuçlanmış üzücü olaylar da meydana gelebilmektedir.

Bu değerlendirmelere bağlı olarak, bu çalışmada operatörden bağımsız olarak yapılacak otomatik tanımlama ve teşhis işlemleri ve elde edilecek tavsiye niteliğindeki sonuçlar büyük faydalar sağlayacak, gerçek veri ile uzun süreli çalışmalar yapılabildiği takdirde sistemin güvenilirliği de doğrulamalar yoluyla artacaktır.

Bölüm ikide açıklanan sensör ailesinden elde edilen verilerin, her bir sensör için belli zaman aralıkları ile güncellenmesini bekleriz, anlık duruma göre bunların bazıları çok sık bazıları ise daha seyrek güncellenir. Her sensör kendine özgü verileri üretir, çalışmada kullanılacak olan her veri her sensörden elde edilmek zorunda değildir. Aşağıdaki tabloda hangi sensörden hangi verilerin elde edilebileceği işaretlenmiştir.

(Link-16 sensöründen birçok veri elde edilebilmesine rağmen, askeri bir sensör ve gizli olması sebebi ile çalışma kapsamında yalnızca PPLI mesajının alınıp alınmadığı verisi ile ilgilenilecektir. PPLI mesajı alınan bir hedef için askeri ve dost teşhisi direkt olarak verilebilecektir.)

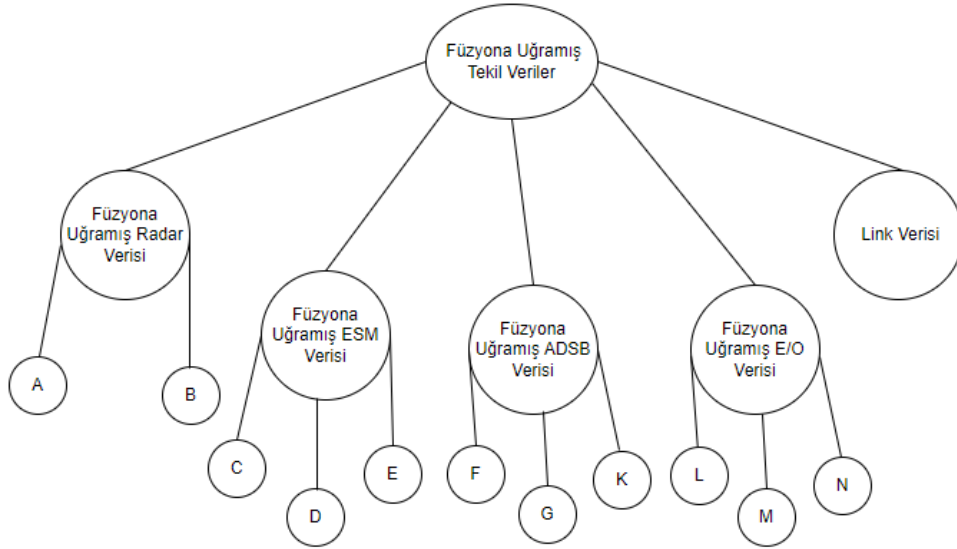
(Mod-5 kriptolu veri sağladığı için çalışmada ihmal edilecektir.)

Tablo 4.1 Sensörler ve Elde Edilebilen Veriler

	Radar	ADS-B	ESM	E/O	Link-16
Tespit	x	x	x	x	
Konum	x	x	x	x	
İrtifa	x	x			
Yön	x	x			
Mod1	x				
Mod2	x				
Mod3/A	x	x			
Yayın Kaynağı			x		
Uçak Tipi			x	x	
Milliyet		x	x	x	
Askeri/Sivil	x			x	
PPLI Alındı					x

Tabloda gösterilen verilerin bazıları, askeri ve gizli nitelik taşıdığından çalışmanın devamında gerçek verilere erişilemediği için simüle edilmiş verilerle örneklenecektir. Verilerin bazıları sayısal (irtifa, sürat vb.) değerler taşırken bazıları kategorik (uçak tipi, milliyet vb.) veri sınıfındadır. Kategorik veriler, algoritmik hesaplamalara konu olmamak ile birlikte teşhis ve tanımlamada büyük önem taşır. Hatta bazı durumlarda kesin bir kategorik veri elde edilmişse diğer tüm parametreler ihmal edilerek teşhis tavsiyesinde de bulunulabilir.

Bu çalışmada, yöntem olarak ilk aşamada benzer kaynakların (radarların) verilerinin ilişkilendirilmesi, birleştirilmesi ve tek bir veriye indirilmesi; sonraki aşamada ise farklı kaynakların (örneğin ESM, ADS-B) daha önce tekilleştirilmiş verilerinin birleştirilmesi ve füzyona uğramış tekil verinin elde edilmesi gerçekleştirilecektir. Aşağıdaki şekilde her bir sensörün verilerinin olduğu (örneğin 2 radar A,B; 3 ESM C,D,E) en alt katman, benzer kaynakların füzyona uğramış ve tekilleştirilmiş verisinin bulunduğu orta katman, farklı sensörlerin tekilleştirilmiş verileri birleştirilerek oluşturulan en üst katman gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Kullanılacak Yöntem ve Adımları

En alt katmanda farklı radarlardan alınan plot verilerinden yararlanılarak aynı hedefe ait olan plotlar literatürde kullanılan gating mesafesi algoritması temelli bir algoritma ile belirlenecek ve bu plot verilerinden aynı olanlar birleştirilerek veri o hedef için teke indirilerek füzyona uğramış radar verisi elde edilecektir. Teke indirilen hedefe süper radar plotu adı verilecektir.

Aynı sensörler arasındaki füzyon işleminin ESM'ler, ADSB'ler ve E/O sensörleri için de yapılarak süper plotlar elde edildiği varsayılacaktır. Daha sonra aynı hedefe ait olduğu kabul edilen bu süper plotlara ait veriler incelenerek tekrar füzyona uğratılacak ve füzyona uğramış tekilleştirilmiş veriler elde edilecektir. Son aşamada ise, bu tekilleştirilmiş veriler tanımlama işlemi için kullanılacaktır.

Gerçek hayatta, gating mesafesi yöntemi ile iki ya da daha fazla radarın verilerini hesaba katarak süper plot oluşturan bir algoritma kullanılmamaktadır, bunun yerine belirli işlemlere göre kalite değeri belirlenen radarlardan en kaliteli olanın sağladığı veriler dikkate alınmakta, diğer radar verileri ihmal edilmektedir. Bu çalışmada her radarın kinematik verilerinden kendi kaliteleri ile orantılı şekilde yararlanılır ve hiçbir veri göz ardı edilmez. Kategorik veriler için ise, tutarlı olması durumunda veri teke indirilir, bir tutarsızlık olması durumunda tüm durumlar gösterilerek karar operatöre bırakılır.

İkinci olarak, yine gerçek hayatta farklı sensörlerden elde edilen veriler manuel olarak operatörler aracılığı ile birleştirilerek aynı hedefe ait olup olmadığına karar verilmektedir. Verilerin bir arada tutulduğu ve analiz edilerek birleştirme ve daha sonra tanımlama işlemlerinin gerçekleştirildiği bir sistem bulunmamaktadır. Raol [12] 2009'da

yayınladığı Multi Sensor Data Fusion with MATLAB kitabında çok sensörlü sistemlerden elde edilen verilerin bir ortamda toplanarak izlenmesinin gerekliliğinden bahsetmiştir. Bu çalışmada yine radar alt katmanında olduğu gibi üst katmandaki farklı sensörlerden sağlanan veriler de gating mesafesi algoritmasına sokularak aynı hedefe ait olup olmadığına karar verilir. Aynı hedefe ait olduğu düşünülen kinematik verilerden sensörlerin AHP ile belirlenmiş güvenilirlik katsayıları ile orantılı olacak şekilde yararlanılır ve yine hiçbir veri göz ardı edilmez, böylece veri kaybı önlenir. Kategorik veriler için ise yine alt katmanda olduğu gibi, tutarlı olması durumunda veri teke indirilir, bir tutarsızlık olması durumunda tüm durumlar gösterilerek karar operatöre bırakılır.

Bu çalışmanın amacı, operatörü teşhis ve tanımlamaya götüren verilerin tek bir yerde toplanmasının ve aynı hedefe ait olduğu düşünülen verilerin birleştirilerek operatöre teşhis tavsiyesi verilebilmesinin metodolojik bir yöntemle yapılmasıdır.

4.1. Radar Verilerinin Füzyon İşlemi

4.1.1. Radar Verilerinin Açıklanması

Klasik bir hava gözetleme radarı, komuta kontrol sistemine ilk bakışta anlaşılması güç karmaşık veriler göndermektedir. Bu karmaşık mesaj anlaşılabilir şekilde özetlenip aşağıdaki gibi ayıklanarak teşhis ve tanımlama matrisimizde kullanılabilir hale getirilmektedir. Aşağıdaki örnek veri setinde bazı değerler kurgusal olarak eklenmiştir.

```
"trackId":281756452884142036,  
"sourceTracks":Radar A"  
"tmCoreTrackLifeStatusEnum":"ALIVE",  
"trackQuality":11,  
"updateTime":1686915202967  
"kinematicsData"  
"geoPosition":{"latitude":40.38011169329828,"longitude":31.46307373041426}  
"height":10683.240117903799,  
"course":106.38206481933594,  
"iffMode1Code":00,  
"iffMode2Code":0000,
```

"iffMode3ACode":3211,
"iffModeCCode":108,
"iffEmergencyCode":"NO_STATEMENT",
"environment":"AIR",
"platformType":0, 1.0

Burada her bir radarın her bir hedef için bir ID numarası atadığını, kaynak radarın belirtildiğini, verinin gerçek olduğunu (simüle olarak yaratılmadığını), bir kalite değeri belirlendiğini, güncelleme zamanını kodladığını, daha sonra da kinematik verilerin ve IFF kodlarının gönderildiğini görebiliriz. Bazı radarların deniz ve karada da tespit yapabildiği göz önünde bulundurularak bu listede ortamın (environment: AIR) hava olduğu, yine platform tipi (sabit kanat, döner kanat, füze vb.) ile ilgili değerlendirme yapabildiği ve sonucunu raporladığı da görülmektedir.

4.1.1.1. Veri Formatları ve İçerikleri

- Track ID Numarası

Genellikle rakamlardan oluşan bir id numarası (trackId:281756452884142036) her sistem tarafından kendi tespitleri için verilir. Eğer bu tespite ait güncellemelerin aynı cisme ait olduğu 4.1.3 bölümünde anlatılan gating metoduyla tespit edilmişse, devam eden güncellemelerde bu id numarası aynen korunur.

Id numarası genellikle bir izle ilgili belli bir periyodu kapsayan analiz çalışması yapılacaksa, veri tabanında kaydedilen belirli bir ize ait kayıtların bulunması için kullanılır.

- Kaynak Radar Adı

Her kaynak radar gönderdiği her veri setinde kendi adını da (sourceTracks:Radar A) gönderir. Bu çalışmada, teşhis ve tanımlama için kullanılacak verilerin kaynak bilgisi bu mesajdan elde edilecektir.

- Gerçek ve Simüle Veriler

Radar ve benzeri veri kaynakları gerçek çalışma modunda canlı veriler sağlayabildiği gibi, eğitim ve kalibrasyon gibi amaçlarla kullanılmak üzere var olmayan ancak gerçek veri formatında üretilmiş simüle veriler de gönderebilir. Bu nedenle, her veri güncelleme

mesajında verinin gerçek (ALIVE) mi simüle (SIM) mi olduğu belirtilir. (tmCoreTrackLifeStatusEnum:ALIVE)

- Kalite Verisi

Raporlanan verinin kalite değeri, verinin ne kadar sağlıklı ve güncel olduğu ile ilgili bir bilgi vermeyi amaçlar. Farklı radar tipleri kalite değerini oluştururken farklı metodlar kullanabilir. Bununla birlikte, genel olarak belirli bir sayıdaki son güncellemeleri göz önünde bulunduran kalite hesaplamaları en yaygındır. Örneğin, son 15 güncelleme süresi içerisinde (güncelleme sıklığı 10sn ise: 15x10 sn=150 sn içerisinde) kaç güncelleme verisi oluşturulabildiğine bakılarak 1 ile 15 arasında bir kalite değeri (trackQuality:11) atanabilir. Ek olarak, güncelleme içeriklerine de bakılabilir. Örneğin, sadece radar tarafından oluşturulan veri ile radar ve IFF verisinin korelasyonu ile oluşturulmuş verinin kaliteleri farklıdır. Yine, radar verisinin ADS-B gibi dış kaynaklardan alınan veri ile karşılaştırılması ve korelasyonunun sağlanması durumunda kalite değerinin de yüksek olması beklenir.

- Güncelleme Zamanı

Radarın her güncelleme verisi ile birlikte güncelleme zamanı (verinin yaratılış zamanı) da (updateTime:1686915202967) gönderilir. Gerek izleme (tracking) gerekse teşhis ve tanımlamada en güncel verinin kullanılması süreçlerinde bu zaman verisi kritik önem taşımaktadır. Zaman verisinin hassasiyeti farklı sistemlerde değişiklik gösterebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan verilerden hassasiyeti en düşük olana göre diğer zaman verileri adapte edilecektir.

- Kinematik Veriler

Kinematik veriler, konum, yükseklik ve hesaplanan yön verilerinden oluşmaktadır. Bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde bu verilerin nasıl kullanılacağı detaylarıyla anlatılacaktır.

Özetle, konum verisi (x,y) düzlemsel konum, coğrafi koordinat sistemi, latlong koordinat sistemi gibi farklı formatlarda gönderilmiş olabilir. Süper plot konumu hesaplamadan önce farklı formatlardaki konum verileri aynı formata dönüştürülmelidir. Ancak, bu çalışmada kullanılan radar konum verileri aynı formatta olacaktır. (geoPosition:{latitude:40.38011169329828,longitude:31.46307373041426})

Yükseklik verisi feet cinsinden 5 haneli rakamsal veridir. (height:10683.240117903799)

Hesaplanan yön verisi belirli bir sayıda (son 5 veri gibi) güncelleme göz önünde bulundurularak hesaplanır. Genellikle 0 ile 360 derece arasında bir değerdir. (course:106.38206481933594)

- IFF Verileri

IFF verileri mod denilen kodlardan oluşur ve tespiti ait ek bilgiler sağlar, bu mod kodlarının sağladığı bilgiler ikinci bölümün IFF kısmında açıklandığı gibidir. ("iffMode1Code":00, "iffMode2Code":0000, "iffMode3ACode":3211, "iffModeCCode":108 vb.)

Verilerin farklı kaynaklardan toplanarak bir merkezde işlendiği, genellikle de bu merkeze komuta kontrol yazılımı dendiği bilinmektedir. Bu aşamadan sonra aynı hedefe ait olduğu belirlenen (ilişkilendirilmiş) güncelleme verileri kullanılarak iz (track) başlatma ve takip (tracking) süreçlerinin nasıl ilerlediği açıklanacaktır.

4.1.2. İz Başlatma

Hava tespit radarlarının dönüş süresi başka bir deyişle veri güncelleme periyodu 5-12 saniye arasında değişmektedir. Bu radarlar konuşlandırılırken alçak irtifadaki görüş alanlarının maksimize edilmesi amaçlanır. Bununla birlikte, yüksek irtifalardaki tespit alanları aralarındaki mesafeye bağlı olarak çakışabilir. Aynı bölge için, farklı radarlardan gelen ve aralarında güncelleme sıklığına bağlı olarak değişen (5 saniye vb.) bir zaman farkıyla aynı hedefle ilgili birden fazla plot almak mümkün olur. İz başlatma işleminde genellikle komuta kontrol yazılımı tarafından alınan plotlar üç güncelleme boyunca izlenir. Üç güncellemenin sonunda iz başlatma işlemi gerçekleştirilerek plotlar “Pending (askıda)”, yani henüz teşhisi verilmemiş iz konumuna alınır.

Yapılacak füzyon işlemleri sonucunda doğru bir tanımlama elde edebilmek için füzyonlar sırasında birleştirilecek verilerin aynı hedefe ait olması kritik bir konudur. Radarlardan elde edilen plotların aynı hedefe ait olup olmadığına iz başlatma işlemi içerisinde kullanılan gating mesafesi yöntemi ile karar verilecektir. Tek bir radar verisi ile iz başlatma genellikle ilk tespit ve devam eden iki güncelleme sonunda otomatik olarak veya operatör tarafından gerçekleştirilir.

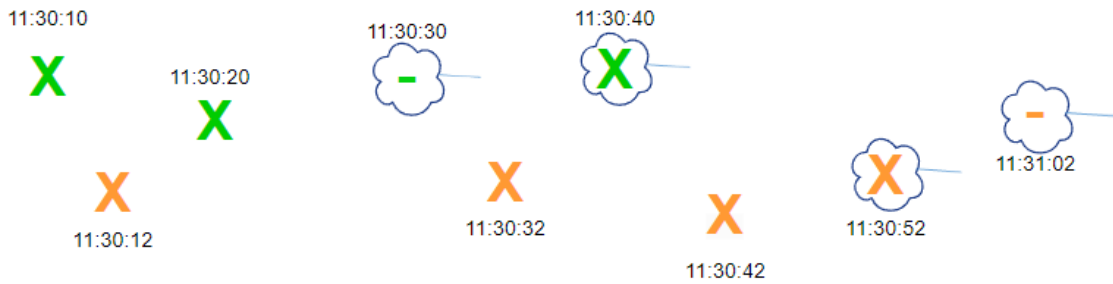
Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi, 10 saniyede bir güncelleme yapan radarın iz başlatma işlemi ilk tespit ve devam eden iki güncelleme sonunda gerçekleşerek üzerine bir pending sembolü yerleştirilmiştir. Hız vektörü de bu durumla uyumlu olacak şekilde ilk olarak

üçüncü plot güncellemesinde yani pending sembolü için hesaplanmaktadır. Çok yoğun plot ve sahte plotların (dağ, dalga vb. yansımaları) bulunduğu harekât ortamında, gerçek bir iz olduğuna emin olduktan sonra hesaplamaların yapılması hem zaman hem de kaynakların etkin kullanımı için önemli bir detaydır. Bu sebeple hız vektörü hesaplaması için en azından “Pending” sembolü beklenmektedir. Plotların gösterimleri ise tek çizgi, baklava dilimi ya da çarpı işareti şeklinde olabilmektedir. Tek çizgi sadece PSR, baklava dilimi SSR, çarpı işareti ise PSR + SSR tespiti simgeleyen birleştirilmiş plot anlamına gelmektedir.



Şekil 4.2 Tek Radarda İz Başlatma İşlemi

İki veya daha fazla radar tarafından tespit edilen ve aynı hedefe ait olduğu düşünülen plotlardan elde edilen veriler, genellikle radarların belli bir süre boyunca (son 15 güncelleme gibi) yapabildiği güncelleme sayısı ile orantılı olarak oluşturduğu bir kalite değeri üzerinden değerlendirilerek, kalitesi yüksek olan güncelleme verisi (plot) üzerinde sembol (ilk etapta pending) oluşturularak takip edilir. Kalite değeri belirlenirken rapor edilen takibi izleyen sensörün tasarım doğruluğu, rapor edilen takipteki son sensör güncellemesinden geçen süre, hedefin hesaplanan en son hızı ve takip sensörü tarafından sağlanan kendi biriminin mevcut jeodezik konum kalitesi gibi parametreler göz önüne alınır.



Şekil 4.3 İki Radarda İz Başlatma İşlemi

Yukarıdaki şekilde A radarına ait yeşil renkli güncelleme verilerinin B radarına ait turuncu renkli güncelleme verilerinden ilk başta daha istikrarlı bir şekilde alınırken sonradan turuncu renkli güncellemelerin daha istikrarlı olduğu görülmektedir. Bu yüzden komuta kontrol yazılımı, sembol oluştuktan sonra her güncelleme periyodunda kalite

değerini kontrol ederek daha kaliteli olduğunu gördüğü plotlar üzerinde sembolü tutmuştur. Ancak bir cismin aynı anda iki farklı yerde olması mümkün olmadığı için, kalite değerine bağlı iz güncellemesi çok sağlıklı olmamaktadır. Bazı durumlarda belli bir yörünge tahmini yapılmadığından iz sembolü ile plot eşleşmesi kaybolabilmekte, kısa süreli güncelleme kaybı durumunda ise iz ve plot birbirinden tamamen ayrılabilir.

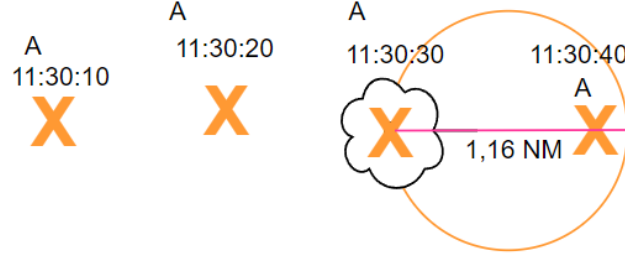
Mevcut komuta kontrol yazılımları tarafından yukarıda açıklanan şekilde işlem yapılması kendi içerisinde bir çözüm getirse de, hava aracının gerçek konumu ile ilgili bir hata payının da bulunduğu görülebilmektedir. Bu çalışmada birden fazla radar tarafından yapılan ve aynı hedefe ait olduğu değerlendirilen konum verilerinin lineer konum kombinasyonu yöntemi ile tek bir konum verisine dönüştürülmesi daha uygun bir çözüm olarak önerilmektedir.

4.1.3. Gating Mesafesi

Lineer konum kombinasyonu ile birden fazla konum verisinin tek bir konuma indirgenmesi ideal bir sonuç oluşturmakla birlikte, hesaplamaya dâhil edilecek güncelleme verilerinin aynı hedefe ait olduğuna karar vermek için hız, yön ve irtifa gibi kinematik verilere bağlı olarak oluşturulabilecek Gating Mesafesinin dikkate alınması bir çözüm olarak uygulanabilir. Gating mesafesi bir sonraki güncellemede plotların bulunmasını beklediğimiz veya tahmin ettiğimiz bir mesafedir.

Gating mesafesi ile çalışılırken dikkat edilmesi gereken iki ön koşul bulunmaktadır. Gating mesafesi hesaplanırken, birbiri ile çok farklı zamanlarda ve irtifalarda gelen plotların işlem yükü oluşturmaması adına bu parametreler için eşik değerleri belirlenmiş ve bu eşik değerlerini aşan plotlar gating kıyaslamasına hiç sokulmamıştır. Zaman için, radarın ortalama dönüş süresi olan on saniye eşik değer olarak seçilmiştir. İki güncelleme arasındaki zaman farkı on saniyeden büyük plotlar gating kıyaslamasına sokulmamış ve birleştirilmeyerek farklı hedefler olarak varsayılmıştır. Aynı şekilde irtifa için de parametrik bir eşik değeri belirlenmiş ve iki hedef arasındaki irtifa farkının bu eşik değerinden fazla olması durumunda plotlar gating kıyaslamasına sokulmamış ve birleştirilmeyerek farklı hedefler olarak varsayılmıştır. Özetle, gating algoritmasını işletebilmek için plotların zaman farklarının ve irtifa farklarının belirlenen eşik değerlerinden küçük olması gerekmektedir. Bu iki ön koşulu da sağlayan plotlar için gating mesafesi yöntemi işletilebilir. Burada hız ile güncelleme süresi çarpılarak bu mesafe belirlenmektedir.

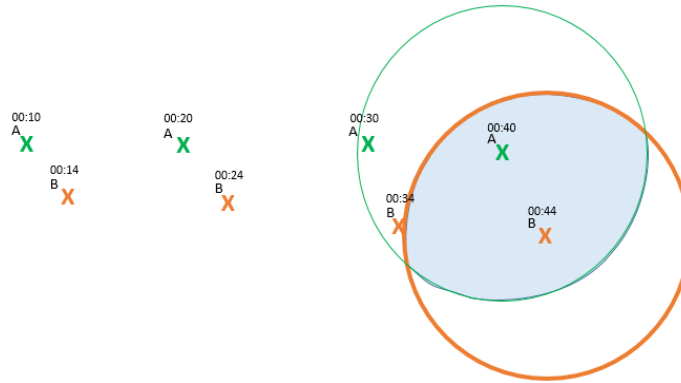
Örneğin; saatte 420 Nm/h hızla hareket eden bir hava aracını tespit eden radarın dönüş süresinin on saniye olduğunu ve on saniyede bir güncelleme alındığını varsayalım. Bu durumda $(420 \text{ Nm/h}) \cdot (1/3600 \text{ sn}) \cdot 10 \text{ sn} = 1,16 \text{ Nm/h}$ değeri çap olarak elde edilecek ve bir sonraki güncellemede birbiri ile ilişkili plotların birbirinden en fazla bu mesafe uzaklıkta olması beklenecektir. Doğal olarak hava aracının sürati düştükçe gating mesafesi küçülecek sürati arttıkça büyüyecektir. Gating mesafesi olarak adlandırılan bu değer aşağıdaki şekillerde çember olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Tek Radarda Gating Mesafesi

Yukarıdaki şekilde A radarına ait turuncu plot verileri kullanılarak, üçüncü güncelleme sonunda turuncu renkli bir gating çemberi oluşmuştur. Bu çember, A radarının dördüncü güncellemesinden elde edilecek plotun bulunmasını beklediğimiz alandır.

Aynı hedefe ait birden fazla radardan güncelleme alındığında ise bu hesaplama biraz daha karmaşıklaşacaktır çünkü öncelikle iki ayrı radar plotunun aynı hedefe ait olup olmadığını tespit etmemiz gerekecektir. Bu çalışmada literatürde bulunan gating mesafesi algoritmasını temel alan bir yöntem geliştirilmiştir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere, A ve B radarlarının gönderdiği plotlar üzerinde birbirinden bağımsız olarak gating mesafesi hesaplaması yapılacak ancak bu sefer gating mesafesi, çemberimizin yarıçapı olarak kullanılacaktır. Bunun nedeni, ilişkili plotların diğerine göre pozisyonunun 360 derecede herhangi bir konumda olabileceği ihtimalidir.

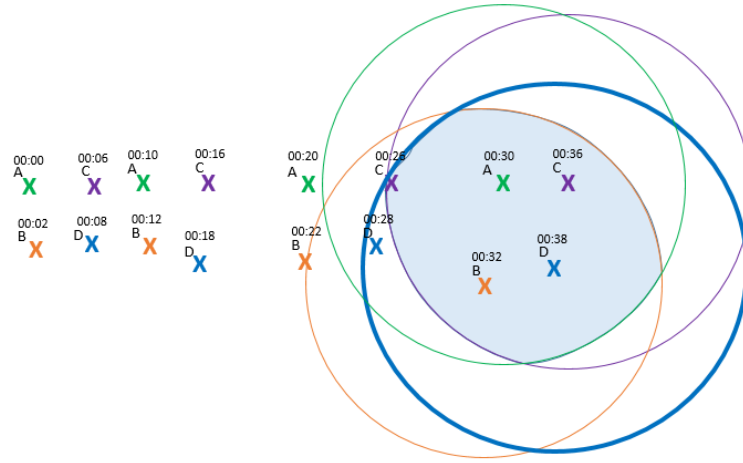


Şekil 4.5 İki Radarda Gating Mesafesi

Şekilde üçüncü güncelleme sonunda hesaplanan parametreler (hız, zaman) ile gating mesafesi hesaplanıp dördüncü güncellemedeki turuncu ve yeşil plotların aynı hedefe ait olup olmadığını görmek için dördüncü güncellemelerin çevresine bu gating mesafesi yarıçaplı çemberler çizilmiştir. Turuncu renkli B radarına ait güncelleme verisi yeşil renkli A radarına ait güncelleme verisinden daha geç geldiği için çemberi daha kalın gösterilmiştir. Tüm gating çemberi şekillerinde güncel gelen veri kalın çizilecektir.

A ve B radar plotlarının bu çemberlerin kesişim bölgesinde bulunması bu plotların aynı hedefe ait olduğu ile ilgili kuvvetli bir delil oluşturmaktadır. Elbette, kısa süreli olarak veya tesadüfen kesişim kümesi içerisinde bulunup ilişkilendirilen bazı plot tespitleri de olabilecektir. Ancak eğer plot ilişkilendirmesi gerçek hayatta doğru değilse (iki ayrı hedefe aitse veya plotlardan biri sahte yansımalarından dolayı oluşmuşsa) kısa süre içerisinde bu ilişki bozulacağından, iz sembolünün yörüngesinin hesaplanmasında anlık olarak iki plot güncelleme değerleri birden kullanılsa da uzun vadede böyle bir şey mümkün değildir.

Aynı hedefe ait güncellemeler birçok radardan da elde edilebilir. Gating çemberlerinin kesişiminde kaldığı sürece yörünge hesaplaması için kullanılan plot sayısı veya radar sayısı çok önemli olmayacaktır çünkü gating yöntemi bize belirtilen kesişim bölgesi içerisindeki plotların aynı hedefe ait olması ile ilgili bir veriyi zaten sağlamıştır.



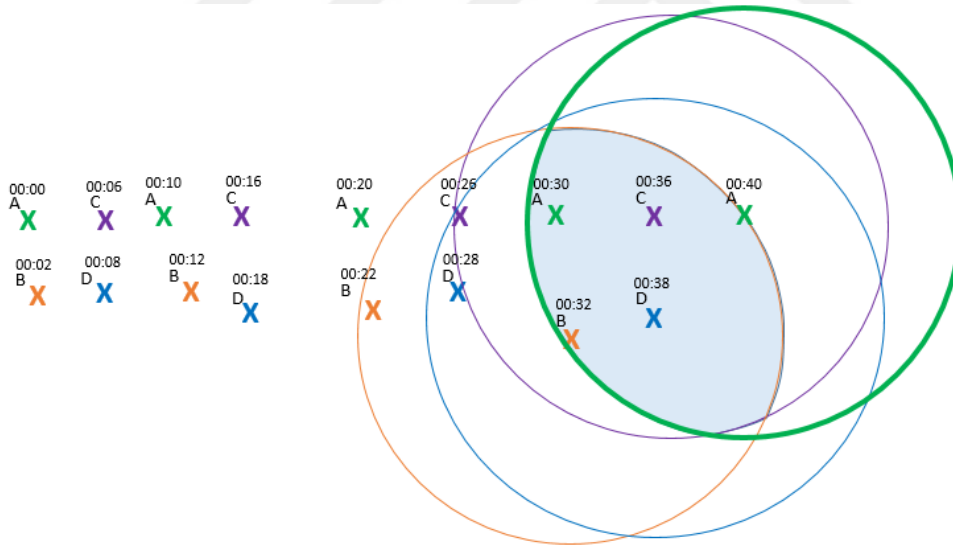
Şekil 4.6 Dört Radarda Gating Mesafesi

Yukarıdaki örnekte radar sayısının artırıldığı ve aynı hedefi her birinin tespit edebildiği varsayılmıştır. A, B, C ve D radarlarından alınan konum verilerine bağlı olarak, alınan plotların gösterimi şekildeki gibi olur.

Her radarın hedef üzerinde tarama zamanı farklı olacağından, plotların oluşum zamanları da farklıdır. Her bir radar için ayrı olmak üzere, ilk üç güncelleme hız ve yön vektörlerine bağlı olarak bir gating mesafesi (bir sonraki güncellemeyi beklediğimiz bölge) oluşturulması için kullanılmış ve dördüncü güncellemede plotların çevresine çizilecek gating çemberlerinin yarıçapı olarak kullanılmıştır. Çizilen tüm gating çemberlerinin kesişiminde kalan plot verilerinden süper plot oluşturmak için faydalanılır. Kesişim alanında bir radara ait birden fazla plot olması durumunda süper plot oluşturmak için o radara ait en güncel veri kullanılır. Yukarıdaki şekilde süper plot oluşturmak için A-00:30, B-00:32, C-00:36 ve D-00:38 plotlarının verilerinden yararlanılır.

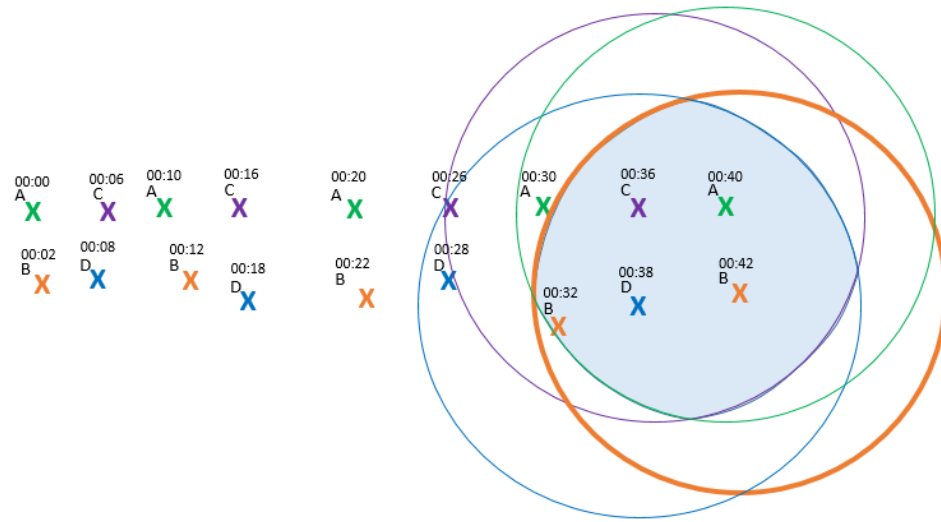
Bir sonraki güncellemede bu gating çemberleri de güncellenerek yeniden oluşturulacaktır. Her bir radar plot güncellemesi ve oluşturulan gating çemberi farklı renkte gösterilmiştir.

A radarı tarafından ilk güncellemenin 00 dakika, 00 saniyede oluşturulduğu varsayılmıştır. Her bir güncelleme zamanı saniye cinsinde plot üzerinde belirtilmiştir.



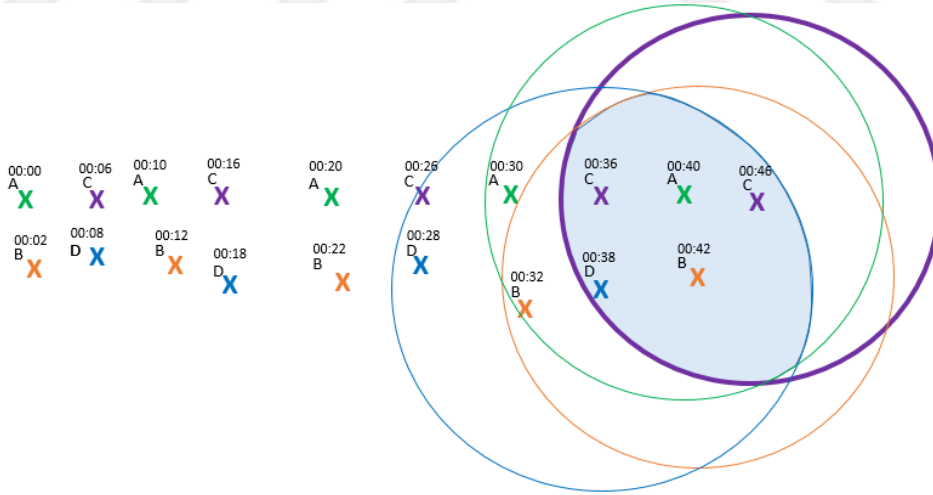
Şekil 4.7 Dört Radarda Gating Mesafesi Güncellemesi-1

Yukarıda görüldüğü gibi, A radarından kırkıncı saniyede alınan yeni güncelleme ile yeni gating çemberi oluşturulmuş, buna bağlı olarak dört radarın gönderdiği en son güncellemelerin bağlı gating mesafelerinin kesişim bölgesi de güncellenmiştir. Yeni kesişim bölgesine göre süper plot oluşturmak için A-00:40, B-00:32, C-00:36 ve D-00:38 plotlarının verilerinden yararlanılır.



Şekil 4.8 Dört Radarda Gating Mesafesi Güncellemesi-2

B radarından kırk ikinci saniyede alınan yeni güncelleme ile yeni gating çemberi oluşturulmuş, buna bağlı olarak dört radarın gönderdiği en son güncellemelerin bağlı gating mesafelerinin kesişim bölgesi yeniden güncellenmiştir. Yeni kesişim bölgesine göre süper plot oluşturmak için A-00:40, B-00:42, C-00:36 ve D-00:38 plotlarının verilerinden yararlanılır.



Şekil 4.9 Dört Radarda Gating Mesafesi Güncellemesi-3

C radarından kırk altıncı saniyede alınan yeni güncelleme ile yeni gating çemberi oluşturulmuş, buna bağlı olarak dört radarın gönderdiği en son güncellemelerin bağlı gating mesafelerinin kesişim bölgesi yeniden güncellenmiştir. Yeni kesişim bölgesine göre süper plot oluşturmak için A-00:40, B-00:42, C-00:46 ve D-00:38 plotlarının verilerinden yararlanılır.

Kaynak radarlardan bir tanesinin güncelleme yapamaması durumunda diğer kaynak radarlardan gelen verilerle oluşturulmuş gating ilişkisi bozulacağından, teşhis ve tanımlama matrisine bu kaynak radar besleme yapmayacaktır.

Farklı kaynaklardan alınan güncelleme verilerinin ilişkilendirilmesi için kullanılan tek parametre gating mesafesi değildir. Hava cisminin dönüş, ivme ve yükselip alçalma kabiliyetleri ile ilgili tahminler de (Turning/AccelARATION/Diving predictions) bu hesaplamalara dâhil edilebilir. Bu çalışmanın daha anlaşılır seviyede kalabilmesi ve asıl ilgi alanının teşhis işlemleri olması sebebiyle bu detaylara girilmemiştir.

4.1.4. Radar Verilerinden Süper Plot Elde Etme ve Veri Birleştirme

Bu çalışmada, Raol'un [12] kitabında bahsettiği füzyon çeşitlerinden düşük seviyeli birleştirme olarak da bilinen ham veri birleştirmesi yapılacaktır. Veri birleştirme, bir hedef hakkında daha spesifik, kapsamlı bir veri seti üretmek için farklı sensörlerden veya kaynaklardan ölçülen veya önceden işlenmiş verileri birleştirme işlemidir. Veri birleştirme işlemi yapılırken aynı hedefe ait olduğuna karar verilmiş aynı tür kaynaklardan (radar) elde edilen plot bilgileri birleştirilecektir. Veri birleştirme işleminin amacı, izleme yapılan hedefe ait güncellemelerin daha sık yapılmasını sağlamak ve kendi içerisinde sapma içeren veriler bütününden daha doğru tek veri (düzeltilmiş konum, yön vb.) üretmektir.

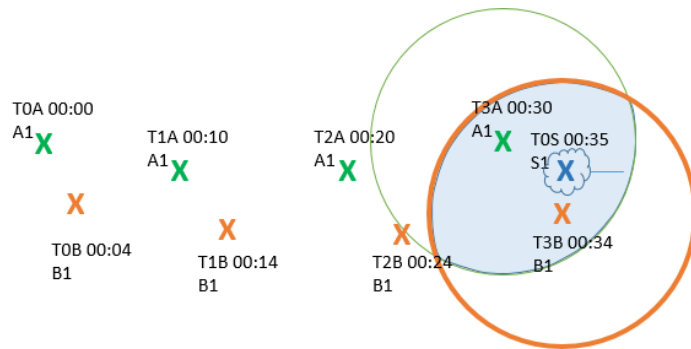
Tablo 4.2 Bir Hedef İçin Birinci Radardan Gelen Veriler

ID	Güncelleme Zamanı	Konum	İrtifa	Yön	IFF	Kalite
A1	AT0	(1,1)	10.000	-	Mod1:12 Mod2:2462 Mod3:2356	11
A1	AT1	(1,1.5)	10.000	94°	-	11
A1	AT2	(2,2)	10.000	94°	-	11
A1	AT3	(2.5,3)	12.500	94°	Mod1:12 Mod2:2462 Mod3:2356	12

Tablo 4.3 Bir Hedef İçin İkinci Radardan Gelen Veriler

ID	Güncelleme Zamanı	Konum	İrtifa	Yön	IFF	Kalite
B1	BT0	(1,2)	11.000	-	-	10
B1	BT1	(1.5,2.5)	10.000	95°	-	10
B1	BT2	(1.7,2.8)	10.000	94°	Mod1:12 Mod2:2462 Mod3:2356	11
B1	BT3	(2.2,3.4)	12.000	94°	Mod1:12 Mod2:2462 Mod3:2356	12

Yukarıda iki farklı radarın bir hedef için dört farklı zamandaki güncellemeleri iki ayrı tabloda gösterilmiştir. Radarlar tarafından bu farklı zamanlarda hedefe ait elde edilen bilgiler tablolara işlenmiştir. Yukarıda anlatılan gating mesafesi hesaplaması yapılarak bu iki hedefin aynı hedef olup olmadığına karar verilmesi hedeflenmektedir. Gating çemberleri iki hedefin de dördüncü güncellemede elde edilen konumları çemberlerin merkezi olacak şekilde çizildiğinde, iki plotun da gating çemberlerinin kesişiminde kalması durumunda bu iki hedefin aynı olduğuna karar verilir ve veriler birleştirilerek bir süper plot elde edilir. Elde edilen süper plot aşağıdaki resimde S1 ile ifade edilmiştir.



Şekil 4.10 Süper Plot Gösterimi-1

İki hedeften birinin gating çemberlerinin kesişiminde kalmaması durumunda sistem plotlara iki ayrı hedef muamelesi yapacaktır, çalışmada bu aşamadaki amaç aynı hedef olduğuna karar verilen plotların birleştirilerek bir süper plot ve birleştirilmiş verilerin elde edilmesidir.

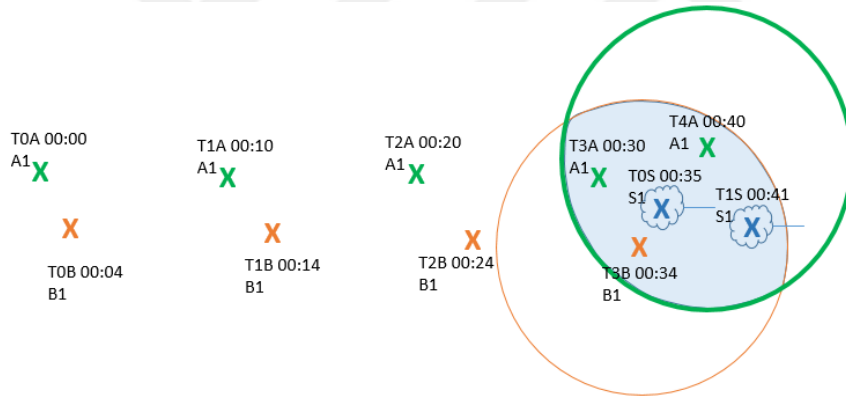
4.1.4.1. Birleştirilmiş Verilerin Elde Edilmesi

Öncelikle, elde edilen süper plotun konumu, iki radardan da elde edilen son güncelleme verisi üzerinden lineer konum kombinasyonu yöntemi ile belirlenecektir.

Daha sonra, A ve B radarlarından gelen irtifa ve yön verilerinin kalite katsayısına göre ağırlıklı ortalaması alınarak süper plotun irtifa ve yön verisi olarak kullanılacaktır. Süper plotu ait hız vektörünün hesaplanması Deneysel Çalışmalar bölümünde anlatılmıştır.

Kategorik veriler (IFF vb.) içinse en güncel olan güncelleme baz alınacaktır. İki radardan elde edilen IFF kodlarının aynı olması durumunda teke indirilerek süper plotun IFF'i olarak belirlenecektir. Kodların farklı olması durumunda ikisi de gösterilecektir.

Her yeni güncelleme verisi geldiğinde gating mesafesi hesaplaması yeniden yapılacak ve kesişimde kalma durumunda süper plot (birleştirilmiş) verileri yeniden hesaplanacaktır. Aşağıdaki resimde A1 radarından yeni bir güncelleme verisinin geldiği ve yeni bir süper plot oluştuğu gösterilmektedir.



Şekil 4.11 Yeni Güncelleme Verisinin Gelmesi ile Yeni Süper Plot Oluşumu

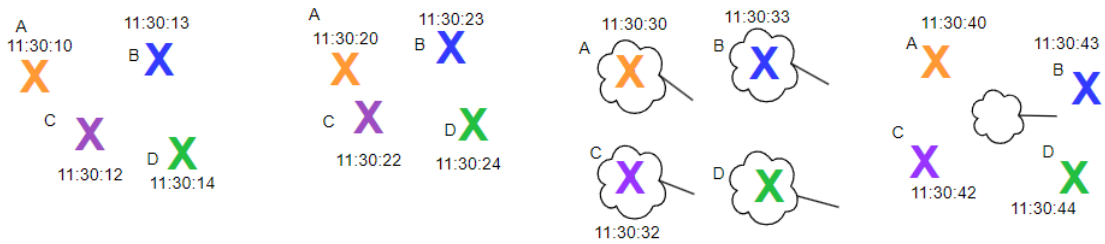
Tablo 4.4 Birleştirilmiş Süper Plot Verileri

ID	Güncelleme Zamanı	Konum	İrtifa	Yön	IFF
S1	ST0	(2.32,3.2)	10.6875	93.75°	Mod1:12
					Mod2:2462
					Mod3:2356
S2	ST1	(2.35,3.3)	10.6900	93.80°	Mod1:12
					Mod2:2462
					Mod3:2356

Özetle, radar katmanında süper plot ve birleştirilmiş verilerini elde etmek için ilk başta farklı semboller şeklinde görülen plotların gating mesafesine bakılarak aynı hedefe ait olduğuna karar verilir, önceden her plotun verileri kendi sembolünde görülürken artık birleştirilerek tek bir “Pending” sembolü (süper plot) altında toplanır. Bu birleştirme işlemi yapılırken, konum verisi için lineer konum kombinasyonu yöntemi kullanılarak süper plotun yeri belirlenir. (Gelen kalite değerleri normalize edilerek katsayı haline dönüştürülür ve iki farklı radardan gelen konum verileri ile çarpılarak lineer konum kombinasyonu işlemi tamamlanır.) Sayısal (irtifa, yön vb.) veriler ağırlıklı ortalama alınarak tek bir veriye indirilir. Kategorik veriler ise aynı ise tek veriye düşürülür, farklı ise tüm seçenekler veri kaybına uğratılmadan gösterilir, veri gelmemesi durumunda ise hiçbir işlem yapılmadan üst katmana iletilir.

Mevcut sistemde, gelen veriler için direk kaliteye bakılmakta olup en kaliteli plot üzerinde oluşan veriler kabul edilmektedir, kalitesi düşük olan radardan gelen veriler direkt olarak ihmal edilmektedir. Plot verileri arasında bir tutarsızlık olup olmadığına bakılmamaktadır. Bu durum hatalara sebep olabilmektedir.

Bu çalışmada ise, iki radardan gelen veriler de kaliteleri ile orantılı olarak hesaba katılacaktır, kategorik verilerde farklılık söz konusu olması durumunda ihmal edilen bir veri olmayacağı ve hepsi gösterileceği için, operatöre farkındalık yaratılacak ve veri kaybının önüne geçilecektir.



Şekil 4.12 Süper Plot Gösterimi-2

Yukarıdaki şekilde, üçüncü güncellemede dört farklı pending sembolü oluştuğu görülmektedir, dördüncü güncellemede ise, bu sembol süper plot haline getirilerek teke indirilmiş ve veriler tek bir sembolün altında birleştirilmiştir. Mevcut sistemdeki yöntem kullanılacak olsaydı dördüncü güncellemede sembol, kalitesi en yüksek olan radar verisi üzerinde konumlanacak ve sadece o radardan elde edilen veriler varsayılacaktı, operatöre başka hiçbir veri gösterilmeyerek diğer veriler ihmal edilecekti. Bu aşamada, operatöre daha optimize edilmiş ve tüm radarlardan gelen verilerin hesaba katılarak elde edilen

birleştirilmiş verilerin gösterilmesinin daha doğru bir teşhis ve takip sağlayacağı ön görülmektedir.

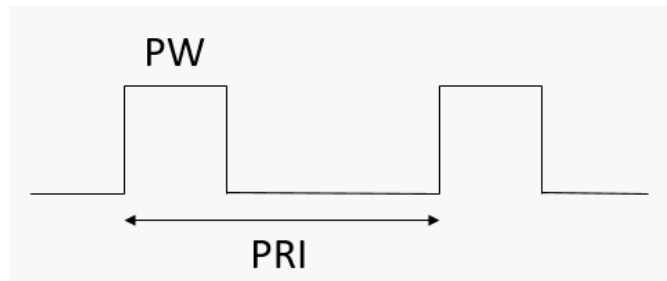
4.2. ESM Verilerinin Füzyon İşlemi

Klasik bir ESM sistemi, elektronik sinyalleri toplayarak ve analiz ederek hedefin konumunu ve üzerindeki yayın kaynaklarının spesifik parametrelerini tespit etmeyi amaçlar. Yayın kaynaklarına ait sinyaller öncelikli olarak radarlar, daha sonra iletişim cihazları ve diğer elektromanyetik cihazlar tarafından yayılan her türlü sinyali içerir.

ESM sistemi ile hedefe dair konum, yayın kaynağı, uçak tipi ve milliyet bilgileri alınabilir. Konum bilgisi ESM sisteminde birden fazla alıcı birim bulunması durumunda kestirme yöntemi ile elde edilir. Alıcı birimlerin, yayın kaynaklarından sinyalleri aldıkları yönün bilinmesi durumunda bu yönlerin kesiştirilmesi ile hedefe ait bir konum verisi elde edilebilir.

ESM sistemi, genellikle Orta Frekans (Medium Freq.-MF) ve Ekstra Yüksek Frekans (Extra High Freq.-EHF) arasındaki (HF-VHF-UHF-SHF) elektromanyetik spektrumun Alt Mikrodalga ve Mikrodalga bantlarındaki sinyalleri yakalamaya çalışır. Hava araçlarının üzerinde bulunan sinyal yayın kaynakları (radar, telsiz, link, navigasyon yardımcıları, IFF vb.) tarafından sağlanan sinyaller ESM alıcı birimi tarafından alınır. Hava aracı ile ilgili bilgiler alınan sinyallerin içinde ve yapısında bulunur.

Radar tarafından yayılan bir sinyalin içerisinde PRI (Pulse Repetition Interval – Darbe Tekrarlama Aralığı) ve PW (Pulse Width – Darbe Genişliği) olarak adlandırılan parametrik terimler bulunur. Ardışık darbelerin ön kenarları arasındaki sürenin ölçümü PRI olarak adlandırılır, bir darbenin ön ve arka kenarı arasındaki zamanın ölçümüne ise PW denir.

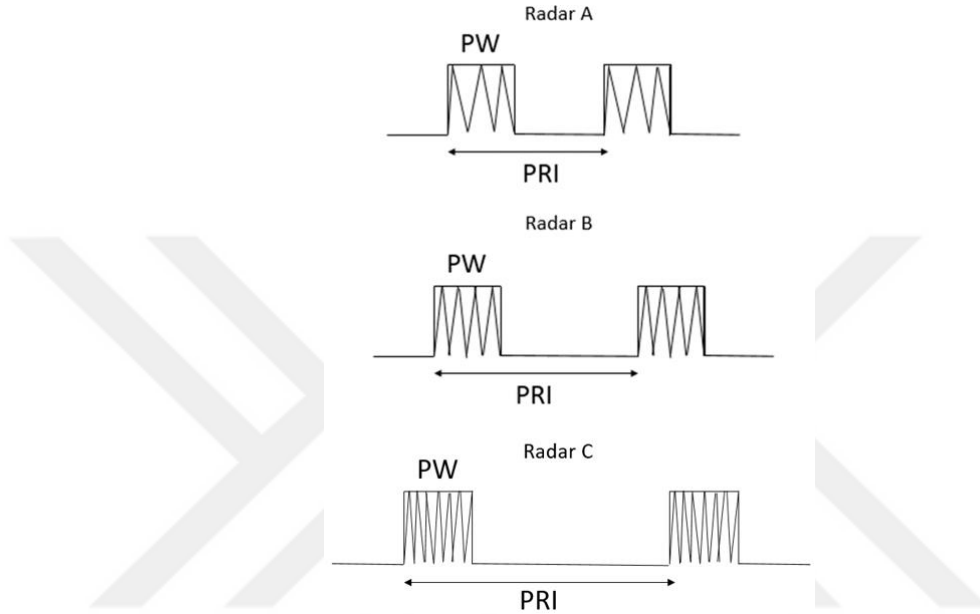


Şekil 4.13 PW ve PRI

İşlenen sinyalin içerisinde ölçülen PRI ve PW süresine göre hedef hakkında çeşitli bilgiler elde edilir. PW, kendi içerisinde belirli bir frekansta oluşturulmuş yayını içerir.

Radarların sinyal yapıları her ne kadar PRI ve frekans üzerinde ayarlamalar yapılabilir de, menzili ile uyumlu olması bakımından tanımlanabilir çok dar bir aralıkta kalır. Her radar tipi için bu tanımlama bir parmak izi oluşturur. Alınan sinyallerden elde edilen benzersiz PRI ve PW bilgileri bir ESM kütüphanesinde biriktirilir.

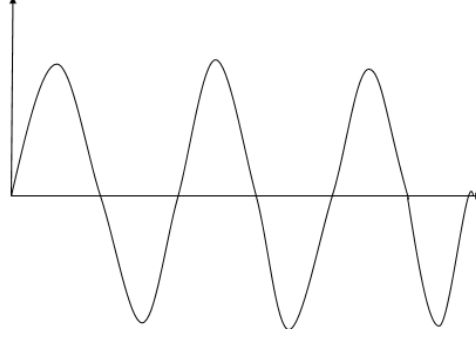
Aşağıda 3 farklı radardan yayılan sinyalin içinde bulunan PW ve PRI örneklendirilmiştir. Bu sayede aynı sinyal alındığı zaman hangi radara ait olduğu kolay bir şekilde anlaşılır.



Şekil 4.14 Farklı Radarlara Ait PW-PRI'lar

Örneğin, sinyal kütüphanesi aracılığıyla yayın kaynağının APG-66 radarı olduğu bulunduktan sonra, bu tip radarın kullanıldığı hava aracının da F-16 olduğu anlaşılır çünkü her bir uçak farklı radar kullanır ve radar tipi tespit edilince uçak tipi bilgisi de elde edilir.

Hava aracının üzerinde bulunan radarın açık olması ve alıcı antenine dönük olması halinde tespit edilmesi mümkündür. Ancak, pilotun tespit edilmemek için radarını kapatabileceği de unutulmamalıdır. Bu durumda diğer yayın kaynakları (telsiz, taktik data link, IFF, navigasyon yardımcıları vb.) tespit edilerek hava aracı hakkında bilgi edinilir. Bu tür yayın kaynaklarından elde edilen sinyal yapıları radardan farklı olarak aşağıda gösterildiği gibi devamlı dalga (Continuous Wave) yapısındadır.



Şekil 4.15 Devamlı Dalga Yapısı

Telsizden alınan sinyaller işlenerek telsiz frekansı bulunabilir, telsiz frekansı genellikle VHF ve UHF bantlarındadır ve bu sebeple bu frekans kullanılarak bir tanımlama yapılması güvenilir olmayacaktır ancak operatörün yaptığı bu yayını dinleyerek uçağın konumu ve pilotun konuştuğu dilin anlaşılması mümkündür. Bu sayede milliyet bilgisi elde edilmiş olur.

Yine sinyalin içerisinde bir diğer yayın kaynağı olan taktik data link varlığına rastlanırsa ve dost bir link olmadığı biliniyorsa, hedefin yabancı bir askeri uçak olduğu bilgisi elde edilmiş olur.

Dost hava araçları için bu benzersiz bilgiler kütüphaneye zaten eklenmiştir burada zor olan kısım şüpheli (suspect) veya belirsiz (unknown) hedeflere ait olan benzersiz sinyal bilgilerini kütüphaneye ekleme işlemidir. Elde edilen sinyal işlendikten sonra, bu sinyal yayını nasıl bir cihaz yapabilir, bu cihazlar hangi hava araçlarında bulunur ve bu hava araçlarına hangi ülkeler sahip gibi soruların cevapları istihbarat birimleri ile birlikte araştırılarak cevaplanır ve kütüphaneye eklenir.

Bir kereliğine bile yayın kaynağından alınan sinyal işlenerek benzersiz bilgileri bulunduysa kütüphaneye eklenir ve bu benzersiz kütüphane yıllar içinde genişletilerek yayın kaynağı tespitinde kullanılır.

Metodoloji bölümünün 4.1 Radar Verilerinin Füzyon İşlemi başlığında anlatıldığı gibi radarlara uygulanan işlemler ESM sensörü için de uygulanabilir. Yani bir gating mesafesi algoritması sonucunda aynı hedefe ait olduğu düşünülen veriler kullanılarak süper plotlar elde edilebilir. Süper plota ait konum, yön gibi sürekli veriler için yine radarda olduğu gibi ağırlıklı ortalama alınırken (ESM sensörü kalite verisi sağlamadığı için ağırlıklar eşit varsayılmıştır.), kategorik veriler için aynı olması durumunda teke düşürme, farklı olması durumunda tüm durumları gösterme metodu uygulanabilir. Bu çalışmada, gerçek ESM

verileri yüksek gizlilik derecesinde olduğundan çalışmada kullanılacak ESM verileri benzetilmiş veriler olacaktır, bu sebeple uygulama kısmında ESM sensörü için alt katmanda bir işlem yapılmamış olup direkt olarak üst katmana geçilmiştir.

4.3. Elektro Optik Verilerinin Füzyon İşlemi

Bir elektro optik sensörü, içinde bulunan dedektör aracılığı ile belli bir görüş alanını tekrar tekrar tarayarak bilgi toplar.

Elektro optik sistemlerde kamera çözünürlüğü en önemli etkindir. Dedektör çözünürlüğü arttıkça hedef verisi artmakta, bu da tanımlamayı kolaylaştırmaktadır. Gözetleme (Tespit) Sensörleri bölümünde yer alan Şekil 2.2’de çözünürlüğün cisim hakkında sağlanan bilgiye etkisi açıklanmıştır.

Özetle, E/O sistemlerinden cismin varlığı ile birlikte verebilirse konumu, tipi, milliyeti ve askeri/sivil oluşu gibi detay bilgi sağlaması beklenir.

E/O, atmosferik etkilerden kaynaklı olarak diğer sensörlere göre daha kısa menzillidir. Bu sebeple, E/O kameralar birbirlerini tamamlayacak şekilde yerleştirildiklerinde herhangi birinin herhangi bir anda net bir görüntü ve bilgi elde etmesi durumunda bilgi kaybolmaz ve gelen diğer güncellemelerde de korunur. (Yan yana yerleştirilen E/O kameralardan biri bir uçağın varlığını ve uçağın tipini tespit ettiğinde devam edilen güncellemelerde uçak tipi bilgisi aynı tip olarak korunur.)

Bu çalışmada, farklı E/O sistemlerinin sağladığı verilerin birleştirilmesine değinilmeyecektir, ancak birleştirilmiş tek bir E/O çıktısının teşhis ve tanımlama tablosunda kullanılmak üzere verildiği kabul edilecektir. Gerçek E/O verileri yüksek gizlilik derecesinde olduğundan çalışmada kullanılacak E/O verileri benzetilmiş veriler olacaktır.

Metodoloji bölümünün 4.1 Radar Verilerinin Füzyon İşlemi başlığında anlatıldığı gibi radarlara uygulanan işlemler E/O sensörü için de uygulanabilir. Yani bir gating mesafesi algoritması sonucunda aynı hedefe ait olduğu düşünülen veriler kullanılarak süper plotlar elde edilebilir. Süper plota ait konum, yön gibi sürekli veriler için yine radarda olduğu gibi ağırlıklı ortalama alınırken (E/O sensörü kalite verisi sağlamadığı için ağırlıklar eşit varsayılmıştır.), kategorik veriler için aynı olması durumunda teke düşürme, farklı olması durumunda tüm durumları gösterme metodu uygulanabilir. Bu çalışmada, gerçek E/O verileri yüksek gizlilik derecesinde olduğundan çalışmada kullanılacak E/O verileri

benzetilmiş veriler olacaktır, bu sebeple uygulama kısmında E/O sensörü için alt katmanda bir işlem yapılmamış olup direkt olarak üst katmana geçilmiştir.

4.4. ADS-B Verilerinin Füzyon İşlemi

ADS-B, hava araçlarının kendilerine ait çeşitli bilgileri (konum, milliyet vb.) belirli aralıklarla yayınlatabilmesini sağlayan bir teknolojidir. Hava araçlarının üzerinde bulunan verici, hedef ile ilgili bilgileri toplayarak yayınlar. Yalnızca üzerinde verici bulunduran hava araçları kendini raporladığı için ADS-B alt katmanında bir füzyon işlemi gerekmez. Ancak üst katmanda diğer sensörler ile füzyona uğratmak hem farklı sensörlerden gelen aynı hedefleri tespit etmek hem de diğer sensörlerin kalibrasyon ayarını yapabilmek için gereklidir.

4.5.Link-16 Verileri

Taktik data link çeşitlerinden biri olan Link-16 için füzyon işlemine gerek yoktur. Link-16 ağı yüksek güvenli bir ağ olduğu için bu ağa yalnızca dost olan askeri hedefler katılabilir. Bu sebeple, Link-16'dan alınacak herhangi bir bilgi o hedefin tespiti hakkında dost ve askeri bir hedef olduğu bilgisini direkt olarak sağlar. Eğer bir hedefe ait bir bilgi (PPLI, vb.) Link-16 ağından alınmışsa başka hiçbir bilgiye bakmadan dost ve askeri tespiti verilebilir.

4.6. Farklı Sensör Verilerinin Füzyon İşlemi

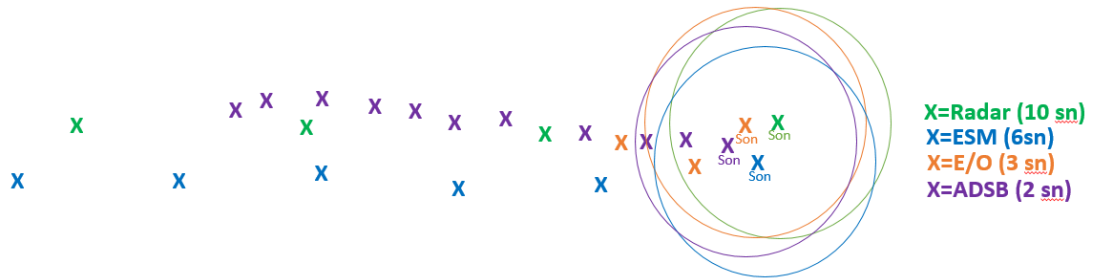
Metodoloji giriş bölümünde, en alt veri katmanında her bir sensör türü bazında bir füzyon gerçekleştirileceği, farklı sensörlerden gelen füzyona uğramış verilerinse bir üst katmanda tekrar füzyona uğratılacağı açıklanmıştı. Tıpkı radar alt katmanında olduğu gibi, her bir farklı kaynağın sağladığı plot verisi dikkate alınarak oluşturulan gating mesafeleri farklı sensör verilerinin aynı hedefe ait olup olmadığı ile ilgili karar verilmesinde kullanılabilir.

Aşağıdaki şekilde dört farklı kaynak farklı renklerle ifade edilmiştir. Yeşil ile gösterilen radarın güncelleme süresi on saniye olduğu için dört güncelleme sonunda gatingi en büyük olan kaynak radardır. Mavi renk ile gösterilen ESM kaynağının güncelleme süresi altı saniye, turuncu renk ile gösterilen E/O sensörünün güncelleme süresi üç saniye ve mor ile ifade edilen ADS-B sensörünün güncelleme süresi iki saniye olarak örneklenmiştir.

Farklı güncelleme sürelerinde hesaplanacak gating mesafeleri, sürat verileri birbirine çok yakın olsa bile farklı değerler olarak karşımıza çıkacaktır. Örneğin 420 Nm sürati olan bir uçak için on saniyede bir güncelleme durumuna göre hesaplama yapıldığında gating mesafesi 1,16 Nm olarak bulunurken, üç saniyede bir güncelleme verisi alınan E/O sensör için gating mesafesi $420 \text{ Nm} * (1/3600 * 3) = 0,35 \text{ Nm}$ olarak hesaplanır.

Bu farklılığın bazı durumlarda iki veri arasındaki ilişkinin kurulamamasına neden olabileceği göz önünde bulundurularak, tüm sensörler için gating mesafesi hesaplamasında kullanılmak üzere sabit bir güncelleme süresi referans alınabilir. Burada veri kaynağı olarak kullanılan radar güncelleme süresi olan on saniye değerinin optimum çözüm sağlayacağı değerlendirilmektedir. Şöyle ki, on saniyenin altındaki değerler radarın yeni bir güncelleme göndermesi için yeterli olmayacağından zaten kabul edilebilir değildir. Daha uzun bir güncelleme süresinin alınması ise çok büyük gating değerleri ortaya çıkartacağından, olması gerekenden daha fazla ve bazı durumlarda yanlış veri ilişkilendirmelerine yol açabileceği için uygun olmayacağı değerlendirilmektedir.

Yine aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere farklı güncelleme süreleri olan sensörler için, gating mesafesi hesaplamasında sabit olarak on saniye kullanıldığı ve tek değişkenin sürat olduğu durumda gating çemberlerinin de birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Gating için formülümüz radar katmanında açıklandığı gibi $\text{Sürat}(\text{Radar, ESM, E/O, ADSB}) * (1/3600) * 10$ olacaktır.



Şekil 4.16 Farklı Kaynaklar ile Gating Mesafesi

Burada kullanılan verinin her bir sensör türünde füzyona uğratılmış en son veri olacağı açıktır, ancak bazı veriler (örneğin konum verisi) için yeni güncelleme alındıkça eski veriler göz ardı edilecek şekilde işlem yapılmalıdır. Bununla birlikte, bazı verilerin (örneğin elektro optik sensörlerinden alınan uçak tipi verisi) belirli bir anda elde edildiği ve yeni güncellemelerle birlikte değişmeyeceği bilinmektedir. Bu çalışmada, belirli bir anda elde edilen ve devamında değişmeyeceği varsayılan bu tip veriler yeni konum güncellemeleri ile birlikte korunacaktır (tekrarlanacaktır). Örneğin yukarıdaki şekilde

E/O sensöründen sadece üç güncelleme verisi geldiği görülmektedir, bu güncellemelerde elde edilen uçak tipi gibi veriler, bir sonraki güncellemelerde E/O verisi gelmese bile (konum verisi elde edilemese bile) iz düşürülene kadar korunacaktır.

Radar alt katmanında olduğu gibi, gating çemberlerinin kesişiminde kalan sensörlerin verileri aynı hedefe ait sayılabilir ve bu sayede farklı sensörlerden gelen aynı verilere tekilleştirme işlemi uygulanabilir.

Bu tekilleştirme işlemi yapılırken, konum verisi için yine radar alt katmanında olduğu gibi lineer konum kombinasyonu yöntemi kullanılarak süper izin yeri belirlenir. Burada radar alt katmanından farklı yapılan yöntem, sensörlerin normalize edilmiş ağırlıklarının kalite değeri ile değil AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) yöntemi ile belirleniyor olmasıdır. Bunun sebebi ise, sensörlerden yalnızca radar kendi yolladığı verinin kalitesini gönderirken diğer sensörler herhangi bir kalite değeri göndermemektedir. Bu sebeple lineer konum kombinasyonu ile süper izin konumu belirlenirken kullanılan ağırlıkların AHP yöntemi ile belirlenmesinin daha uygun bir sonuç vereceği ön görülmektedir.

Konum verisi dışındaki tüm verilere aynı radar alt katmanında uygulanan işlemler uygulanabilir durumdadır yani sayısal (irtifa, yön vb.) veriler AHP yöntemi ile bulunan ağırlıklar kullanılarak ağırlıklı ortalama yöntemi ile tek bir veriye indirilir. Kategorik veriler ise aynı ise tek veriye düşürülür, farklı ise tüm seçenekler veri kaybına uğratılmadan gösterilir, veri gelmemesi durumunda ise hiçbir işlem yapılmadan üst katmana iletilir.

AHP yöntemi, çok unsurlu karar problemlerini çözmek için kullanılan çok kriterli bir karar verme yöntemidir ve matematiksel sadeliği sebebiyle sıklıkla tercih edilmektedir. AHP yaklaşımı, kararı etkileyeceği belirlenmiş olan kriterlerin önceliklerini belirlemeye dayanan bir hiyerarşik yapıya sahiptir. Karar vericinin AHP yöntemi ile elde ettiği ağırlıkların tutarlılığını test etmek de mümkündür, bu sayede karar verici bulduğu sonucun ne kadar tutarlı olduğunu anlayabilmekte ve düzeltmeler yapabilmektedir.

AHP yöntemi üç ana kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım, kullanılan ikili karşılaştırma ölçeğine (1-9) göre ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulmasıdır. 1-9 arasında değer alabilen bu ölçek Şekil 4.17’de gösterilmiştir.

Puan	Değerlendirme
1	İki sensör de eşit düzeyde güvenilirdir.
2	
3	Seçilen sensör, diğerinden biraz daha güveniliridir.
4	
5	Seçilen sensör, diğerinden daha güveniliridir.
6	
7	Seçilen sensör, diğerinden çok daha güveniliridir.
8	
9	Seçilen sensör, diğerinden çok ileri düzeyde güveniliridir.

Tablodaki 2,4,6 ve 8 ara değerler olarak kullanılabilir.

Şekil 4.17 İkili Karşılaştırma Ölçeği

Bu matris $n \times n$ boyutlu bir matristir ve herhangi iki sensörün kendi aralarında eşit öneme sahip olması durumunda ilgili hücre 1 değerini almaktadır bu sebeple matrisin köşegenleri her zaman 1'dir. Ek olarak, matrise yerleştirilen ikili karşılaştırma puanları çift taraflıdır, yani bir kriter diğer kritere göre i önemine sahipse o hücrenin simetriği $1/i$ öneme sahiptir. Aşağıdaki şekilde 4 kriterli bir ikili karşılaştırma matrisi örneklenmiştir [29].

$$A = \begin{bmatrix} & A & B & C & D \\ A & 1 & a & b & c \\ B & 1/a & 1 & d & e \\ C & 1/b & 1/d & 1 & f \\ D & 1/c & 1/e & 1/f & 1 \end{bmatrix}$$

Şekil 4.18 İkili Karşılaştırma Matrisinin Örneklenmesi

İkili karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonraki adım, kriterlerin önem seviyesini belirten ağırlık vektörlerinin bulunmasıdır. Ağırlık vektörlerini bulmak için ilk adımda bulunan ikili karşılaştırma matrisindeki her bir eleman, ait olduğu sütun toplamına bölünerek normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrisi bulunur. Elde edilen bu yeni matriste bulunan her bir satırın ortalaması alınarak n boyutlu yeni vektör, yani ağırlık vektörü elde edilir. Ağırlıkların toplamının 1 etmesi gerektiği unutulmamalıdır.

AHP yönteminin son adımı, ikinci adımda bulunan ağırlık vektörünün tutarlı olup olmadığına karar verme adımdır. Adım sonunda bulunan ağırlık vektörünün tutarlı olduğuna karar verilebilmesi için tutarlılık oranı (CR-Consistency Ratio) değerinin 0,10'dan küçük çıkması gerekmektedir. Tutarlılık oranı (CR) değerinin 0,10'dan büyük

çıkması durumunda karar vericiler ikili karşılaştırma matrisini tekrar değerlendirmeli ve yeniden bir AHP süreci işletmelidir. Tutarlılık oranı (CR) değeri, tutarlılık indeksi (CI-Consistency Index) denilen değerin rassal indeks (RI-Random Index) değerine bölünmesi ile elde edilir. Burada, tutarlılık indeksini (CI) bulabilmek için ilk olarak, ilk adımda bulunan ikili karşılaştırma matrisi ile ikinci adımda bulunan ağırlık vektörü çarpılır ve ağırlıklı değerler vektörü olarak adlandırılan yeni bir X vektörü oluşturulur.

$$A \cdot W = \begin{bmatrix} & A & B & C & D \\ A & 1 & a & b & c \\ B & 1/a & 1 & d & e \\ C & 1/b & 1/d & 1 & f \\ D & 1/c & 1/e & 1/f & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ W_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{bmatrix}$$

Şekil 4.19 X Vektörünün Oluşturulması

Oluşturulan X vektöründeki her bir elemanın, ağırlık vektöründeki karşılığına bölünmesi ile her bir değerlendirme kriteri için temel değer elde edilir.

Bulunan temel değerlerin aritmetik ortalaması alınarak tutarlılık indeksi (CI) hesaplamasında kullanılacak olan λ değeri bulunur.

Tutarlılık indeksi (CI) ise $(\lambda - n)/(n - 1)$ formülüne göre hesaplanmaktadır.

Tutarlılık indeksi (CI) bulunduktan sonra, tutarlılık oranına (CR) ulaşabilmek için bilinmesi gereken son parametre rassal indeks (RI) parametresidir. Rassal indeks (RI) parametresi her kriter sayısı için farklı olmakla birlikte, her kriter sayısı için sabit bir sayıdır. Kriter sayılarına karşılık gelen rassal indeks (RI) değerleri aşağıda gösterildiği gibidir.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Şekil 4.20 Rassal İndeks (RI) Değerleri

Son olarak, bulunan tutarlılık indeksi (CI) değerinin rassal indeks (RI) değerine bölünmesi ile tutarlılık oranı (CR) hesaplanır. $(CR = CI/RI)$

Bu tezde uygulanan AHP detayları Bölüm 5.2’de bulunmaktadır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma kapsamında önerilen metodoloji kullanılarak, hava trafik tanımlama ve teşhis optimizasyonu için sensör verilerinin dahil edildiği bir çözüm tasarlanmıştır. Önerilen yöntemin gerçek hayatta uygulanabilirliğini göstermek amacıyla bir deneysel çalışma ele alınmıştır. Bu deneysel çalışma, önerilen kavramsal modelin gerçek dünya uygulamalarında ne derecede etkili olduğunu ve hangi durumlarda kullanılabileceğini anlamaya yönelik bir çalışmadır.

Ele alınan çalışma, iki ana bölüm üzerinden incelenmektedir.

Metodoloji bölümünde bulunan Şekil 4.1'in en altında gösterildiği gibi aynı tipli farklı sensörlerin kendi arasında gating mesafesi yöntemi ile füzyona uğratılması ve tekilleştirilmiş verilerinin elde edilmesi birinci bölümdür. Burada uygulama olarak yalnızca radar verilerinin füzyona uğratılarak süper plot verilerinin (tekilleştirilmiş veriler) elde edileceği, diğer sensörlerden (ESM, E/O, ADS-B) elde edilen verilerin zaten tekilleştirilmiş olarak bize verildiğinin varsayılacağı unutulmamalıdır.

İkinci ve son bölüm, ilk bölümde tekilleştirilen radar verileri ile tekilleştirilmiş olarak verilen diğer sensör verilerinin gating mesafesi yöntemi ile ikinci bir füzyon işlemi ile yeniden tekilleştirildiği bölümdür.

Deneysel çalışma adımları tasarlanırken metodolojinin uygulanabilirliğini göstermek amacıyla sensör çeşitliliğine ve sensörlerden gelen verilerin çeşitliliğine dikkat edilmiştir.

5.1. Aynı Tipli Radarların Füzyona Uğratılması

Gerçek hayatta çalışan iki farklı uzun menzilli hava savunma radarından elde edilen toplam 40 güncellemelik plot verileri incelenmiş ve içerisinden kullanılacak olan veriler ayıklanmıştır. (Çalışma kapsamında kullanılmayacak, X sinyali vb. bilgiler ayıklanmıştır.) Güncelleme sıklığı on saniyede bir olan plot verilerinden, radar kodu, güncellemenin geliş zamanı, radar-hedef arasındaki açı, radar-hedef arasındaki mesafe, radarların konum bilgileri ve gelen verinin kalitesi bilgileri bu tezde bir süper plot oluşturmak için kullanılan verilerdir.

Ayıklanan radar verileri operatör için anlamlı olacak şekilde düzenlenmiş ve aynı formata getirilmiştir. (örneğin radardan gelen güncelleme zamanı 167160314966 şeklinde gelmektedir ve bu zaman verisi 1671603149,66 şeklinde düzeltilmiştir. Aynı radardan gelen bir sonraki veri 167160315975 şeklinde gelmiştir ve bir önceki güncellemede

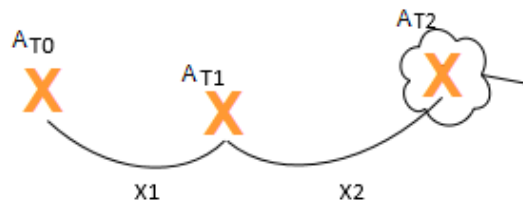
olduğu gibi 1671603159,75 şeklinde düzeltilmiştir. Aradaki güncelleme zamanının yaklaşık 10 saniye olduğu görülmektedir.)

Radarlar tiplerine bağlı olarak, plot konumlarını direkt olarak verebilir veya radar-hedef arası açı (0° - 360°), radar-hedef arası mesafe (m) ve kendi konum bilgisini vererek plot konumlarının hesaplanması için gereken bilgileri sağlayabilir. Bu çalışma kapsamında kullanılan verilerde radarlar tarafından; radar-hedef arası açı, radar-hedef arası mesafe ve radarların kendi konum bilgileri (enlem-boylam) sağlanmıştır. Sağlanan bu bilgiler Python programlama dilinde bulunan GeoPy kütüphanesi tarafından işletilerek plotların konum bilgilerine (enlem-boylam) dönüştürülmüştür. GeoPy kütüphanesi adreslerin ve koordinatların dönüştürülmesi, mesafe hesapları vb. çeşitli coğrafi işlemi destekleyen bir kütüphanedir.

İlk olarak, konumları GeoPy kütüphanesi ile bulunan plotların güncellemeleri arasındaki mesafe ve zaman farkı hesaplanmış ve bulunan sonuçlar plotların hızlarının bulunmasında kullanılmıştır. İz başlatma bölümünde, bir izin ilk olarak gelen üçüncü plot güncellemesinde başlatılarak “Pending (askıda)” durumuna alındığından ve yine hız vektörünün de ilk olarak iz başlatma işlemine paralel olarak üçüncü güncellemede hesaplandığından bahsedilmiştir.

$X=v*t$ formülü temel alındığında, plotların art arda gelen güncellemelerine ait konumları arasındaki mesafe (x) bilgisi iki nokta arası mesafe formülü uygulanarak bulunmuş, toplam zaman (t) bilgisi de aynı şekilde radardan gelen güncelleme zamanı verileri kullanılarak hesaplanmıştır.

Aşağıdaki örnekte görüldüğü gibi, toplam mesafe plotlar arasındaki x_1 ve x_2 mesafeleri toplanarak bulunmuş, toplam geçen süre de aynı şekilde radardan gelen T_0 , T_1 ve T_2 parametreleri kullanarak bulunmuştur.



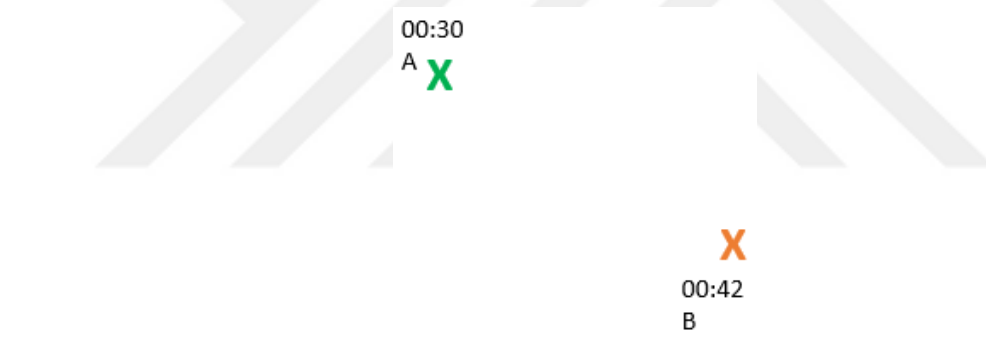
Şekil 5.1 Hız Vektörünün Hesaplanması

Daha sonra, bulunan hızlar plotların gating mesafesi hesaplamalarında kullanılmıştır. Gating mesafe hesaplamaları metodoloji bölümünün Gating Mesafesi başlığında

anlatıldığı şekilde uygulanmıştır. Gating mesafesi hesabının ilk olarak dördüncü güncelleme için yapıldığı yine metodoloji bölümünde açıklanmıştır. Bu sebeple iki radardan da gelen ilk üç güncelleme verilerinde bir gating kıyaslaması yapılmamış, gating hesaplama algoritması ilk olarak dördüncü güncellemelerde başlatılmıştır.

Gating mesafesi hesaplanırken, birbiri ile çok farklı zamanlarda gelen plotların işlem yükü oluşturmaması adına bir eşik değeri belirlenmiş ve bu eşik değerini aşan plotlar gating kıyaslamasına hiç sokulmamıştır. Radarın ortalama dönüş süresi olan on saniye eşik değer olarak seçilmiş ve iki güncelleme arasındaki zaman farkı on saniye veya daha küçük bir değerse, bu iki plot için gating kıyaslaması yöntemine başvurulmuştur. Aralarındaki zaman farkı on saniyeden büyük plotlar gating kıyaslamasına sokulmamış ve birleştirilmeyerek farklı hedefler olarak varsayılmıştır.

Aşağıdaki resimde gösterildiği gibi A radarından gelen yeşil plot ile B radarından gelen turuncu plot arasındaki zaman farkı 10'saniyeden büyüktür. Bu sebeple bu iki plot gating kıyasına sokulmaz.

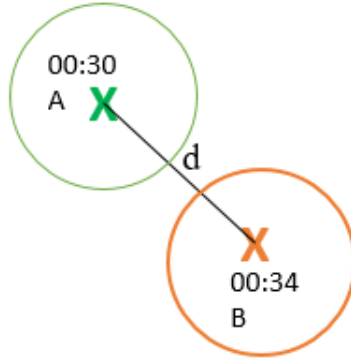


Şekil 5.2 Zaman Farkı Eşik Değerinden Fazla Olan Plotlar

Gating kıyaslamasına sokulan plotlar için iki seçenek mevcuttur. İlk seçenek, gating mesafeleri hesaplanan plotların, kesişimde kalmayarak farklı hedeflere ait olmasıdır. İkinci seçenek ise plotların kesişimde kalarak aynı hedefe ait olduklarına karar verilmesidir. Çalışmada, kesişimde kalma algoritması için öncelikle gating kıyaslamasına sokulan plotlar arasındaki iki nokta arası mesafe hesaplanmıştır. Eğer bu mesafe, iki plotun da hesaplanan gatingleri içinden minimum olandan daha küçük veya eşit bir mesafe çıkarsa, iki plotun kesişimde kaldığı ve aynı hedefe ait olduğu söylenebilir.

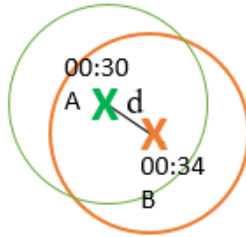
Aşağıdaki resimde, A radarından gelen yeşil plot ile B radarından gelen turuncu plot arasındaki zaman farkı 10'saniyeden küçüktür. Bu sebeple bu iki plot gating kıyasına sokulur. Plotların konumları arasındaki d ile ifade edilen iki nokta arası mesafe, iki plot

için de hesaplanan gatinglerden minimum olandan daha küçük veya eşit olmadığı için bu iki plot farklı hedefe ait denilebilir.



Şekil 5.3 Gating Kıyaslamasına Sokulan Farklı Hedefler

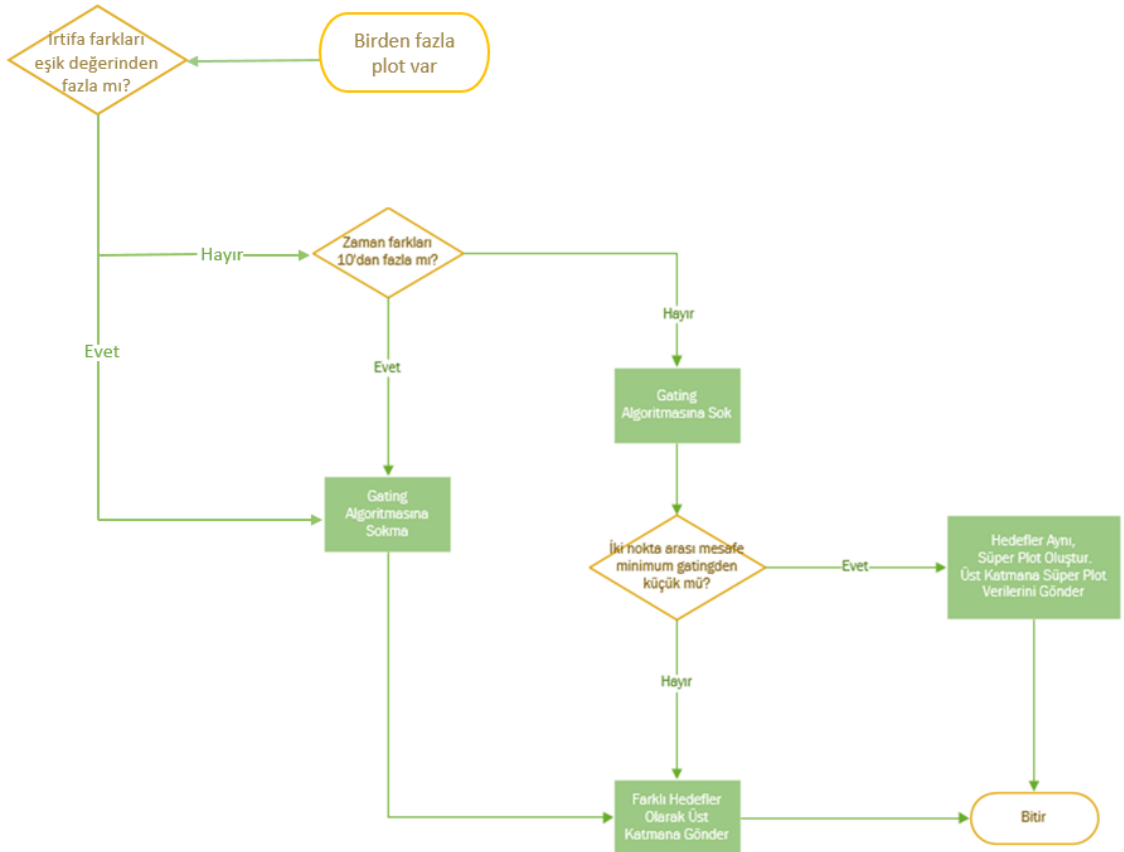
Son durumda ise, aşağıda örneklendiği gibi A radarından gelen yeşil plot ile B radarından gelen turuncu plot arasındaki zaman farkı yine 10’saniyeden küçüktür. Bu sebeple bu iki plot gating kıyasına yine sokulur. Plotların konumları arasındaki d ile ifade edilen iki nokta arası mesafe, iki plot için de hesaplanan gatinglerden minimum olandan daha küçük veya eşit olduğu içinse bu iki plot aynı hedefe ait denilebilir.



Şekil 5.4 Gating Kıyaslamasına Sokulan Aynı Hedefler

Son olarak, aynı hedefe ait olduğu düşünülen plot verileri Radar Verilerinden Süper Plot Elde Etme ve Veri Birleştirme bölümünde anlatılan metod ile birleştirilerek, süper plotlar oluşturulmuştur.

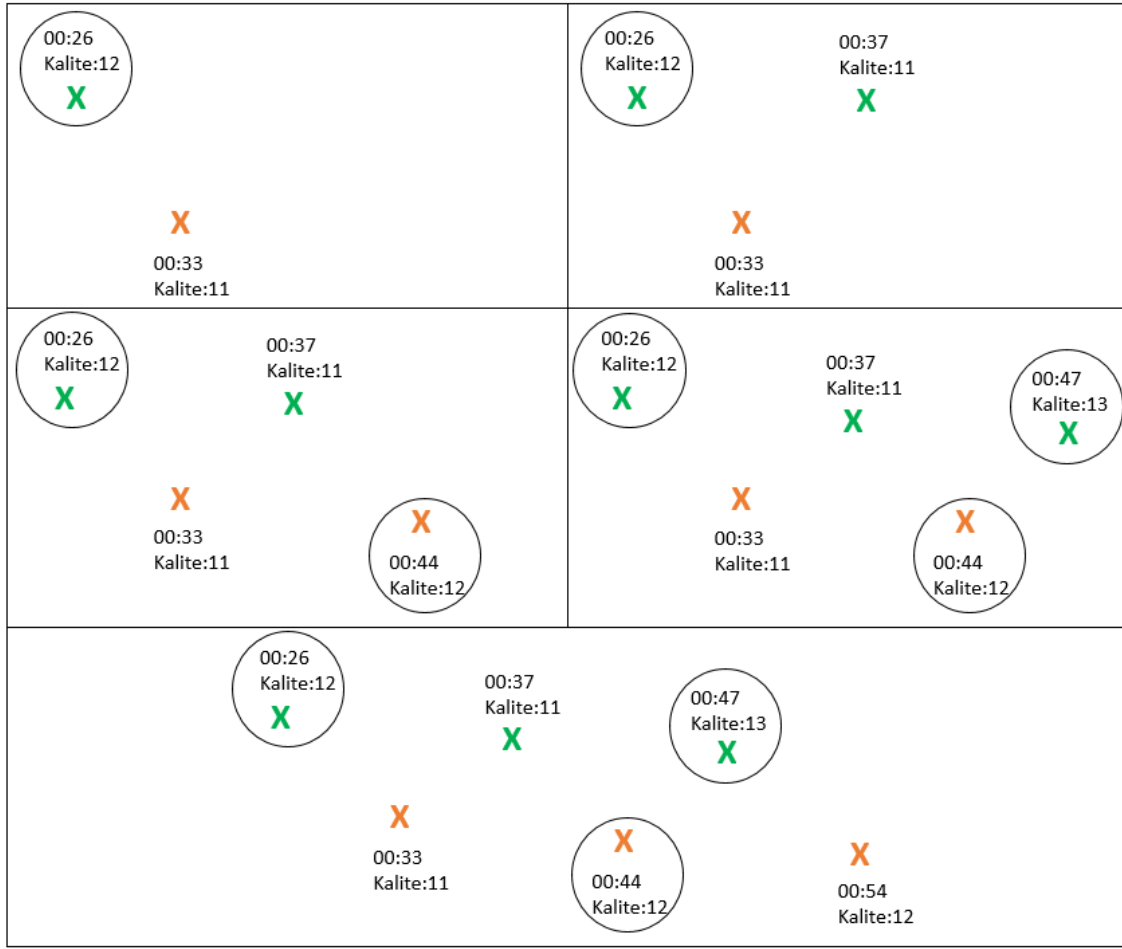
Yukarıda anlatılan seçeneklerin hepsi Şekil 5.5’deki akışta özetlenmiştir.



Şekil 5.5 Gating Algoritması Akış Şeması

5.1.1. Mevcut Sistem ile Çalışılan Sistemin Karşılaştırılması

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen radar katmanındaki füzyon işlemi mevcut olarak kullanılan sistemle karşılaştırılmıştır. Mevcut sistemde iki veya daha fazla radar tarafından tespit edilen ve aynı hedefe ait olduğu düşünülen plotlar bir kalite değeri üzerinden değerlendirilerek kalitesi yüksek olan plot üzerinde sembol oluşturularak takip edilir. Bu işlemin detaylarından 4.1.2 İz Başlatma bölümünde bahsedilmiştir. İz başlatma ve izi takip etme işlemi bu çalışmada işlenen gating algoritması yerine mevcut sistem kullanılarak yapılmış olsaydı geçilen aşamalar aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi olacaktı.



Şekil 5.6 Mevcut Sistem

Yukarıdaki şekillerde gösterilen ilk yeşil güncelleme verisi ile ilk turuncu güncelleme verisinin iz başlatma işleminin gerçekleştirileceği üçüncü plot güncellemeleri olduğu varsayıldığında iz başlatma işleminin hangi plot üzerinde yapılacağına kalite değerine bakılarak karar verilir. Kalite değeri yeşil güncelleme verisinde daha yüksek olduğu için ilk iz başlatma işlemi yeşil güncelleme verisi üzerinde yapılır. İz başlatma ve takip işlemleri yuvarlak ile gösterilmiştir.

Kalite değerine bakılarak 00:26'da gelen yeşil güncelleme verisi üzerinde başlatılan iz, yeni bir güncelleme verisi gelse bile kalitesi daha düşük olduğu için mevcut yerinde takip edilmeye devam edilir.

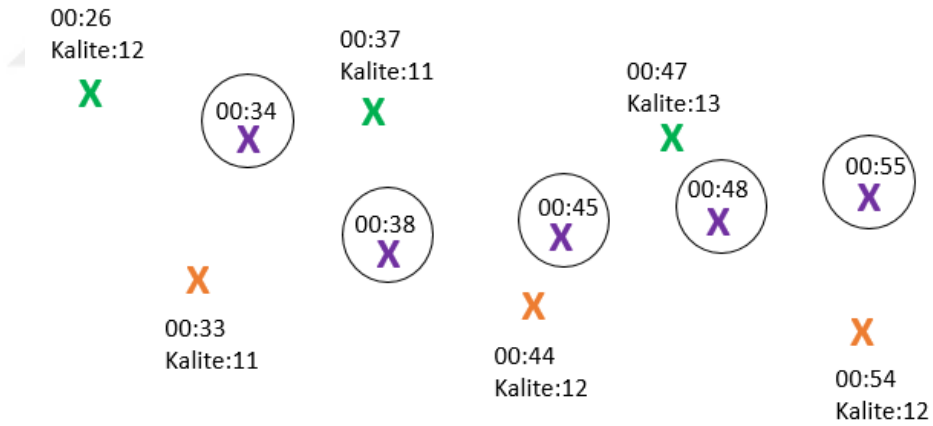
00:44'de gelen turuncu güncelleme verisi mevcut yeşil güncelleme verisi ile aynı kalitede olsa bile daha güncel bir veri sağladığı için iz takibi 00:44'de gelen turuncu güncelleme verisi üzerinden devam eder.

00:47’de gelen yeşil güncelleme verisi mevcut turuncu güncelleme verisinden daha kaliteli bir veri sağladığı için iz takibi 00:47’de gelen yeşil güncelleme verisi üzerine geçer.

Kalite değerine bakılarak 00:47’de gelen yeşil güncelleme verisi üzerinde takip edilen iz, 00:54’de yeni bir güncelleme verisi gelse bile kalitesi daha düşük olduğu için mevcut yerinde takip edilmeye devam edilir.

Sonuç olarak; 00:26’da başlayıp 00:54’de sonlanan iz takip işlemi sırasında takip edilen izin konumu toplam 3 kere güncellenmiştir. Güncellemeler yukarıdaki şekilde yuvarlak ile gösterilmiştir. Şekillerde görüldüğü üzere konumlar arasında sapmalar mevcuttur.

Gating algoritması yöntemi ile ise iki radardan gelen veriler de göz ardı edilmeden süper plotlar oluşturulur ve kalite değeri ile orantılı olarak konumlandırılır. Aşağıdaki şekilde mor güncelleme verileri süper plotları temsil etmektedir. Görüldüğü üzere gating algoritması ile takip edilen izin konumu mevcut sisteme göre daha fazla güncellenerek kullanıcıya daha dinamik bilgi akışı sağlamıştır. Konumlar arasındaki sapmaların da mevcut sisteme göre daha az olduğu görülebilir.



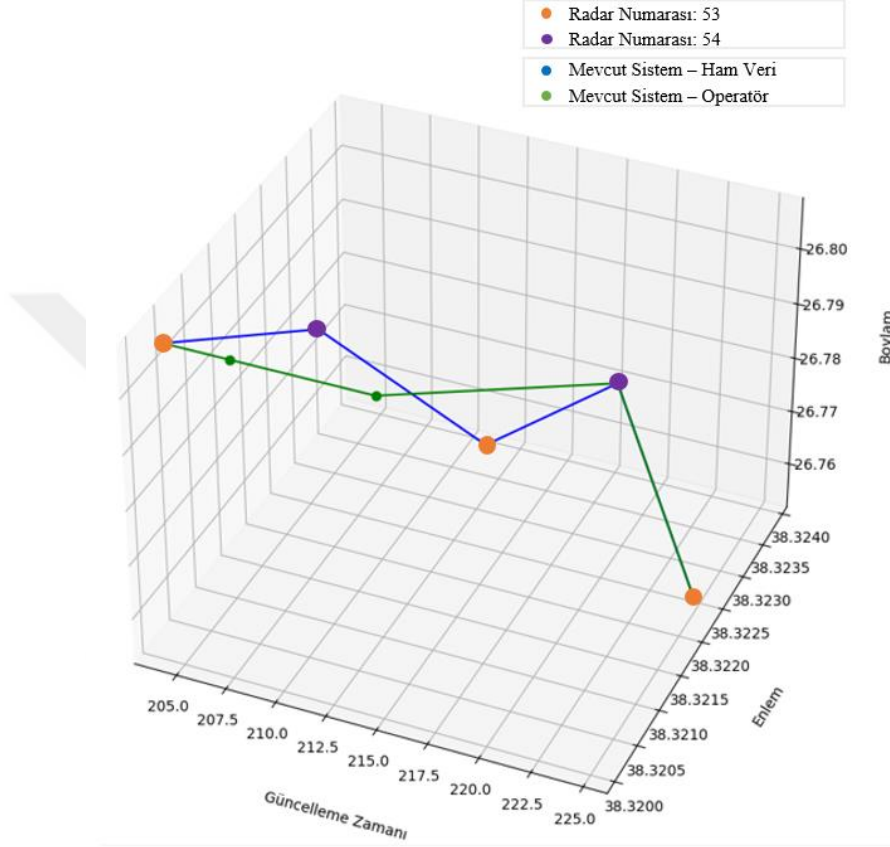
Şekil 5.7 Gating Algoritması

Şekiller ile yukarıda anlatılan bu karşılaştırmanın çalışmada kullanılan gerçek radar verileri ile 3 boyutlu grafiğe dökülmüş halleri Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da verilmiştir.

Şekil 5.8 mevcut sistem grafiğinde operatör sadece en kaliteli güncelleme verilerini gördüğü için yeşil grafikteki ilk üç veride sadece zaman güncellemesi görülmüş ve bir konum güncellemesi görülmemiştir. 4. ve 5. güncellemelerde gelen verilerin kalite değerleri önceki verilerden daha yüksek olduğu için zaman güncellemesi ile birlikte konum güncellemesi de görülmüştür. Ham veriyi temsil eden mavi grafikte ise bir kalite

değerine bakılmaksızın iki farklı radardan veri gelmeye devam ettiği için tüm verilerin konumu zaman güncellemesi geldikçe güncellenmiştir. Mavi grafikte gelen ham veriler, geldikleri radar numarasına göre turuncu ve mor olarak renklendirilmiştir.

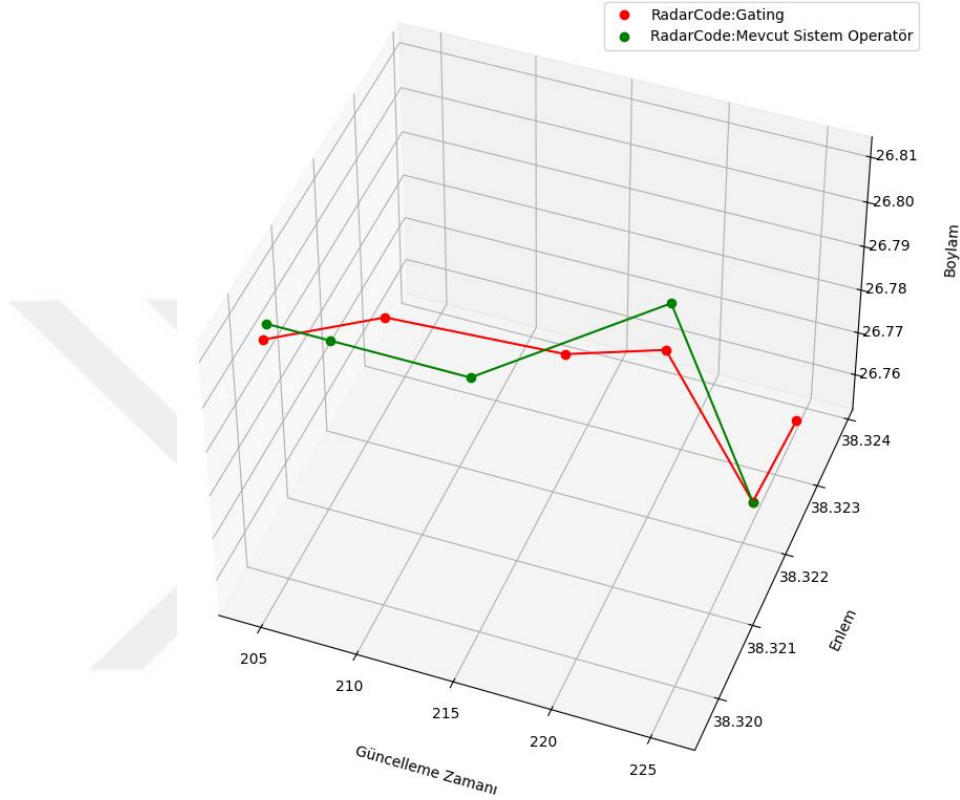
Grafikten de anlaşılabileceği gibi operatör toplam 5 güncelleme verisi gelmesine rağmen önündeki ekranda yalnızca 2 kere güncelleme görmektedir.



Şekil 5.8 Mevcut Sistem Grafiği

Şekil 5.9 mevcut sistem ve gating algoritması grafiğinde ise, operatörün önündeki ekranda gördüğü güncelleme verileri ve bu tezde önerilen gating algoritması çıktıları karşılaştırılmıştır. Grafikte de görüldüğü gibi, mevcut sistemde kullanılan algoritma (yeşil grafik) ilk üç veride sadece zaman güncellemesi yapmış, herhangi bir konum güncellemesi görülmemiştir. Bu sırada tezde önerilen gating algoritması, iki radardan gelen verileri de kendi kaliteleri ile doğru orantılı bir şekilde kullanmış ve daha fazla güncelleme verisi sağlayarak operatörün daha dinamik bir izleme yapmasına olanak sağlamıştır. Gating yönteminin (kırmızı grafik) hiçbir güncellemede aynı konumu vermediği, tüm gelen güncelleme verileri ile birlikte hedefin konumunu da güncellediği görülmektedir. Yeni konum hesaplaması yapılırken lineer konum kombinasyonu yöntemi kullanıldığı için konumlar mevcut sistemde yapılan konum güncellemelerine göre çok

daha az sapmaktadır. Operatör grafiğini temsil eden yeşil çizgiye bakıldığında, üçüncü ve dördüncü veriler arasında yapılan konum değişikliğinin, gating çıktıları arasındaki konum değişikliğinden çok daha fazla olduğu görülmektedir. Gating yöntemi, operatöre hem daha sık güncelleme sağlamış hem de bu sayede gelmeye devam eden veriler arasındaki konum farklılıklarının azalmasını sağlamıştır.



Şekil 5.9 Mevcut Sistem ve Gating Algoritması Grafiği

Alt katmanda önerilen gating algoritması işletilerek Şekil 5.9’da grafiğe dökülen süper plotların Python kullanılarak hesaplanmış verileri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

dataSource	plotTime	plotLocation	plotBearing	speedActual	plotAltitude
53/54	205.336	(38.319645349123626, 26.81294260307841)	227	1269	9555
53/54	208.56	(38.320898408679255, 26.801864712063193)	226	978	9411
53/54	215.521	(38.32204415194656, 26.784437413866755)	228	915	9254
53/54	218.85	(38.32312039634122, 26.77230176992112)	231	931	9255
53	224.662	(38.322494820633146, 26.752825631134595)	192	857	9257
53/54	225.662	(38.323142066145394, 26.761556177856914)	228	794	9256

Şekil 5.10 Süper Plot Verileri

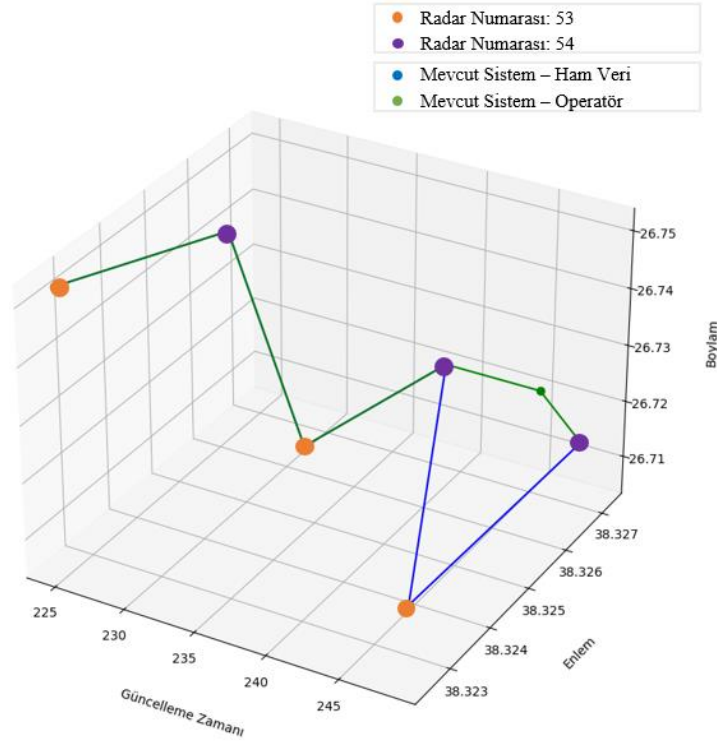
Grafiklerden elde edilen verilerin X ve Y koordinatları kullanılarak iki yöntem için de örneklem standart sapmaları hesaplanmıştır. Şekil 5.11’de görüldüğü gibi, mevcut sistemden elde edilen konum verilerinin X koordinatları için standart sapma 0,001868154

hesaplanırken önerilen gating algoritmasının sağladığı konum verilerinin X koordinatları için standart sapma 0,001386603 olarak elde edilmiştir. Aynı şekilde mevcut sistemden elde edilen konum verilerinin Y koordinatları için standart sapma 0,028128515 hesaplanırken gating algoritmasının sağladığı konum verilerinin Y koordinatları için standart sapma 0,023293669 olarak elde edilmiştir. İki koordinat için de önerilen gating algoritmasının sapmayı azalttığı söylenebilir. Ek olarak, iki yöntem için de güncellenmeyen veri sayılarına bakıldığında mevcut sistemin 2 veriyi güncellemediği, gating yönteminde ise tüm verilerin güncellendiği görülmektedir. (Standart sapma sonucunu etkilememesi adına aynı olan veriler hesaba katılmamıştır.)

	Mevcut Sistem-Operatör		Gating Algoritması	
	X Koordinatı	Y Koordinatı	X Koordinatı	Y Koordinatı
	38,3201	26,808	38,3196	26,8129
	38,3238	26,771	38,3208	26,8018
	38,3224	26,7528	38,322	26,7844
			38,3231	26,7723
			38,3224	26,7528
			38,3231	26,7615
Standart Sapma	0,001868154	0,028128515	0,001386603	0,023293669
Güncellenmeyen Veri Sayısı	2		0	

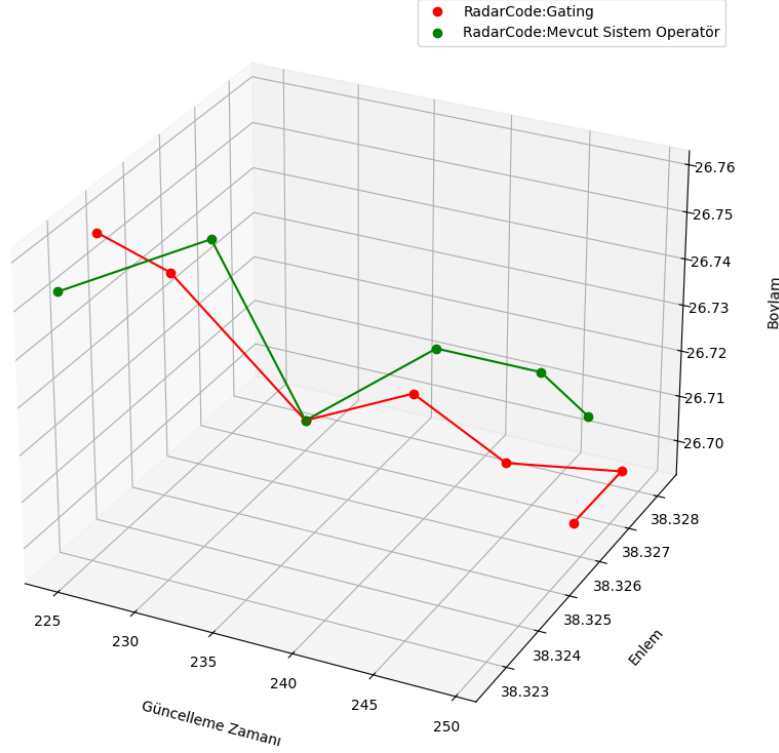
Şekil 5.11 Standart Sapma Hesaplamaları

Çalışmada kullanılan gerçek radar verilerinden yararlanılarak başka bir örneklem için daha 3 boyutlu karşılaştırma grafikleri elde edilmiştir. Önceki grafiklerde olduğu gibi, mavi grafik ham veriyi temsil etmektedir ve bir kalite değerine bakılmaksızın güncelleme geldikçe konum güncellemesi de yapılmaktadır, yeşil grafik ise kaliteyi dikkate alan operatör grafiğidir bu sebeple yalnızca yeni gelen veri daha kaliteli veya eşit kalitede ise konum güncellemesi yapılır. Şekil 5.12’de gösterilen grafikte ilk 4 veri hem yeşil hem de mavi grafik için ortaktır çünkü gelen veriler kaliteleri artarak gelmiştir, bu sebeple operatör ilk 4 veri için ham veriler ile aynı verileri görmektedir. 5.veri ise kalitesi düşerek geldiği için yeşil grafikte bir güncelleme görülmemiştir. Mavi grafik ise gelmeye devam eden ham veriyi göstermiştir. Son veride yine kalite arttığı için iki grafik çakışma durumuna gelmiştir. Mavi grafikte gelen ham veriler, geldikleri radar numarasına göre turuncu ve mor olarak renklendirilmiştir.



Şekil 5.12 Mevcut Sistem Grafiği-2

Şekil 5.13 mevcut sistem ve gating algoritması grafiğinde ise, ilk 2 veriye bakıldığında gating yönteminin daha az sapma ile daha ortada bir veri sağladığı görülmektedir. Üçüncü veride gatinge girme şartları sağlanmadığı için mevcut sistem ile gating grafiği kesişmektedir. 4,5 ve 7. verilerde yine aynı şekilde gating algoritması işletilmiş ve operatöre daha sık, konumları kalite ile orantılı farklı güncellemeler sağladığı görülmüştür. 6. Veride ise, gating şartları sağlanamadığı için gatinge girilmemiş ancak sağlanan en güncel veri baz alındığı için yeşil grafikte bir kesişim olmamıştır.



Şekil 5.13 Mevcut Sistem ve Gating Algoritması Grafiği

Alt katmanda önerilen gating algoritması işletilerek Şekil 5.13’de grafiğe dökülen süper plotların Python kullanılarak hesaplanmış verileri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

dataSource	plotTime	plotLocation	plotBearing	speedActual	plotAltitude
53/54	225.662	(38.323142066145394, 26.761556177856914)	228	794	9256
53/54	228.064	(38.32405064157958, 26.749407353255485)	230	828	9257
53	234.922	(38.32478453994816, 26.718448936110775)	192	855	10041
53/54	239.258	(38.325997679526616, 26.71941031816292)	230	820	10042
53/54	246.003	(38.32558665181902, 26.712592353940032)	232	771	10042
54	248.414	(38.32826019961985, 26.693832017295414)	269	771	9754
53/54	249.414	(38.326048874103876, 26.699023306854244)	231	763	9898

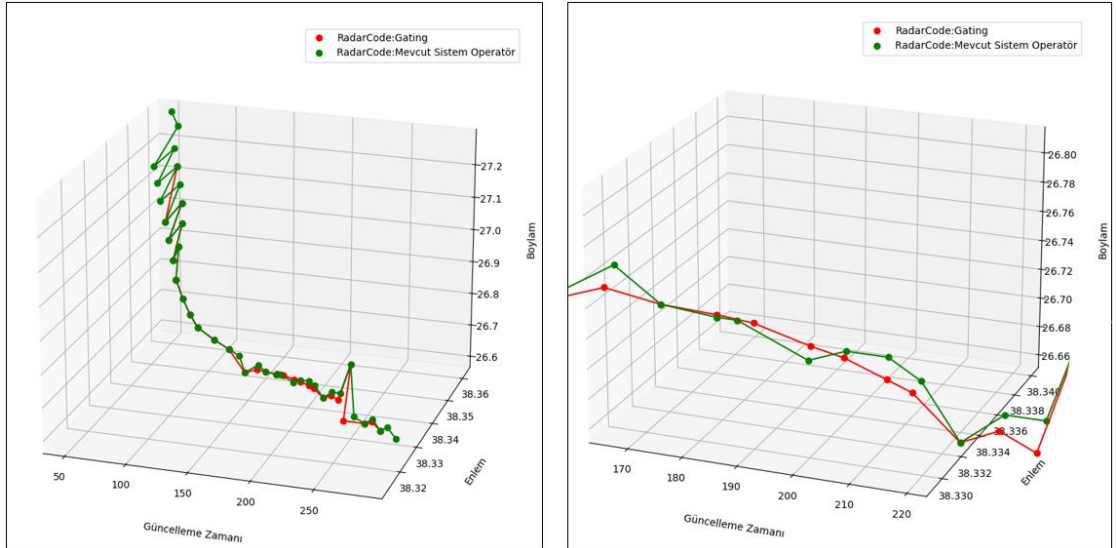
Şekil 5.14 Süper Plot Verileri-2

İlk örnekleme de olduğu gibi, hem X hem de Y koordinatında elde edilen standart sapmaların gating yönteminde daha az olduğu görülmüştür. Mevcut sistemden elde edilen konum verilerinin X koordinatları için standart sapma 0,002672452 hesaplanırken önerilen gating algoritmasının sağladığı konum verilerinin X koordinatları için standart sapma 0,001644743 olarak elde edilmiştir. Aynı şekilde mevcut sistemden elde edilen konum verilerinin Y koordinatları için standart sapma 0,029835264 hesaplanırken gating algoritmasının sağladığı konum verilerinin Y koordinatları için standart sapma 0,024984062 olarak elde edilmiştir. İki yöntem için de güncellenmeyen veri sayılarına bakıldığında mevcut sistemin 1 veriyi güncellemediği, gating yönteminde ise tüm verilerin güncellendiği görülmektedir.

	Mevcut Sistem-Operatör		Gating Algoritması	
	X Koordinatı	Y Koordinatı	X Koordinatı	Y Koordinatı
	38,3238	26,7710	38,3231	26,7615
	38,3256	26,7459	38,3240	26,7494
	38,3247	26,7184	38,3247	26,7184
	38,3272	26,7203	38,3259	26,7194
	38,3306	26,7852	38,3255	26,7125
			38,3282	26,6938
			38,3260	26,6990
Standart Sapma	0,002672452	0,029835264	0,001644743	0,024984062
Güncellenmeyen Veri Sayısı	1		0	

Şekil 5.15 Standart Sapma Hesaplamaları-2

Çalışmada kullanılan gerçek radar verilerinin tümünün 3 boyutlu grafiğe dökülmüş halleri Şekil 5.16’da gösterildiği gibidir. Şeklin daha anlaşılır olması için yakınlaştırılmış hali şeklin sağına eklenmiştir. Görüldüğü üzere, kırmızı grafik yani gating algoritması yeşil grafiğe göre daha kararlı bir rota izlemektedir.



Şekil 5.16 Tüm Veriler İçin Mevcut Sistem ve Gating Algoritması Grafiği

Önceki iki örnekte de olduğu gibi, hem X hem de Y koordinatında elde edilen standart sapmaların tüm veriler hesaba katıldığında da gating yönteminde daha az olduğu görülmüştür. Mevcut sistemden elde edilen konum verilerinin X koordinatları için standart sapma 0,012298472 hesaplanırken önerilen gating algoritmasının sağladığı konum verilerinin X koordinatları için standart sapma 0,007400165 olarak elde edilmiştir. Aynı şekilde mevcut sistemden elde edilen konum verilerinin Y koordinatları için standart sapma 0,220183463 hesaplanırken gating algoritmasının sağladığı konum verilerinin Y koordinatları için standart sapma 0,177653683 olarak elde edilmiştir. İki

yöntem için de güncellenmeyen veri sayılarına bakıldığında mevcut sistemin tüm veriler içinde 3 veriyi güncellemediği, gating yönteminde ise tüm verilerin güncellendiği görülmektedir.

	Mevcut Sistem-Operatör		Gating Algoritması	
	X Koordinatı	Y Koordinatı	X Koordinatı	Y Koordinatı
Standart Sapma	0,012298472	0,220183463	0,007400165	0,177653683
Güncellenmeyen Veri Sayısı	3		0	

Şekil 5.17 Tüm Veriler İçin Standart Sapma Hesaplamaları

Hem 2 örneklem ile hem de tüm veriler ile standart sapma karşılaştırmaları yapılmış ve çalışmada önerilen sistemin sapmaları düşürdüğü sonucuna varılmıştır. Bu farklılığın istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığına bakmak için tüm veriler kullanılarak %90 güven aralığında varyansların eşitliğini kontrol etmek için tek taraflı bir F-test uygulaması gerçekleştirilmiştir. F-test yapılırken H_0 ve H_1 hipotezleri Şekil 5.18'deki gibi kurulmuştur.

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1: \sigma_1^2 > \sigma_2^2$$

Şekil 5.18 F Test Hipotezleri

F-test sonucunda H_0 hipotezini reddetme şartı Şekil 5.19'da verildiği gibidir. Bu koşulun sağlanması H_0 hipotezinin reddi için yeterlidir.

$$f_0 > f_{\alpha, n_1 - 1, n_2 - 1}$$

Şekil 5.19 F Test H_0 Hipotezi Red Şartı

F-test, X ve Y koordinatları için ayrı ayrı uygulanmıştır. Sonuçlara bakıldığında, X koordinatında test istatistiği 2,76 olarak elde edilirken kritik değer 1,60 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.19'da verilen H_0 hipotezi red şartı sağlanarak H_0 hipotezi reddedilmiştir. Yani X koordinatı için, mevcut sistemden elde edilen varyans ile önerilen sistemden elde edilen varyans anlamlı bir şekilde birbirlerinden farklıdır.

Y koordinatında ise test istatistiği 1,53 elde edilirken kritik değer 1,60 elde edilmiştir. Sonuçlar birbirine çok yakındır ancak Şekil 5.19'da verilen H_0 hipotezi red şartı sağlanamamaktadır. Bu sebeple, H_0 hipotezi Y koordinatı için reddedilememiştir ancak

koordinatlardan bir tanesinde red şartı sağlandığı için önerilen sistemin konum stabilitesi için iyileştirme sağladığı görülmüştür.

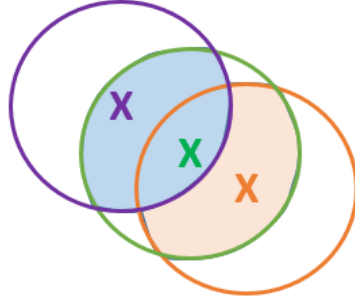
Şekil 5.20’de X ve Y koordinatları için tüm parametreler ve hesaplamalar gösterilmiştir.

Tüm Veriler İçin %90 Güven Aralığında F-Test							
X Koordinatı				Y Koordinatı			
s1	0,012298472	v1	36	s1	0,220183	v1	36
s2	0,007400165	v2	28	s2	0,177654	v2	28
Ftest=	2,76197375	α	0,1	Ftest=	1,536105	α	0,1
		Fkritik	1,6036261			Fkritik	1,603626117
Ftest>Fkritik Olduğu İçin H0 Reddedilir.				Ftest<Fkritik H0 Reddi İçin Yeterli Kanıt Yoktur.			

Şekil 5.20 Tüm Veriler İçin F-Test Uygulaması

Bu tezde uygulama olarak, eski sistem ile önerilen sistemin karşılaştırılması için standart sapmalar kullanılmıştır. Ek bir karşılaştırma yöntemi olarak, mevcut sistemin izleme rotası ile gating algoritmasının izleme rotası karşılaştırılabilir. Mevcut sistemde görülen veriler gating sistemine göre daha az güncellenmesine rağmen zikzaklı bir doğru sağlayacağından toplam mesafe, daha stabil ve daha güncel veri sağlayan gating algoritmasından daha fazladır. İki doğrunun toplam mesafeleri karşılaştırıldığında gating yönteminin daha kısa bir doğru sağladığı görülebilir. Ek olarak, doğrular arasındaki mesafeler ölçülerek de bu karşılaştırma işlemi yapılabilir. Doğrular arası mesafelerin çeşitli yerlerde pozitif, çeşitli yerlerde negatif olması stabilitenin az olduğu anlamına gelirken, hep pozitif veya hep negatif olması daha stabil bir rota izlendiğine dair kuvvetli bir delil oluşturur.

Bu çalışmadaki uygulama 2 farklı radarın gerçek verileri ile sağlanmıştır ancak 2’den fazla radarlı bir senaryo için de aynı işlemler uygulanabilir. 2’den fazla radar olması durumunda karşılaşılabilecek durumlardan biri Şekil 5.21’de örneklenen alt küme durumudur. Şekil 5.21’de ortada yeşil radardan gelen plot, hem turuncu radardan gelen plot hem de mor radardan gelen plot ile gating çemberi kesişiminde kalmakta ancak mor ile turuncu plotlar kesişmemektedir. Böyle bir durumda, operatör plotlar hakkında radarlar tarafından sağlanan diğer verilere (mod verileri vb.) bakarak manuel bir füzyon kararı vermelidir. Örneğin; mod 3 verisi kimlik numarası sağladığı için yeşil plot ile mod 3 verisi aynı olan plot eşleştirilmelidir.



Şekil 5.21 Alt Küme Durumu

5.2. Farklı Tipli Sensörlerin Füzyona Uğratılması

Metodoloji başlığının 4.6 Farklı Sensör Verilerinin Füzyon İşlemi bölümünde anlatıldığı üzere radar alt katmanında olduğu gibi farklı sensörlerin bulunduğu üst katmanda da yeniden bir gating algoritması yöntemi uygulanmış ve bu sefer farklı tipteki sensörlerden gelen verilerin aynı hedefe ait olup olmadığına bakılmıştır.

Üst katmanda sensör olarak radar, ESM, E/O ve ADS-B sensörlerinden yararlanılmıştır. Radar verileri olarak, çalışma kapsamında alt katmandaki füzyon işlemi sonucunda elde edilen süper plot verileri kullanılmıştır. Diğer sensörler içinse alt katmanda bir füzyon işlemi gerçekleştirilmemiş direkt olarak üst katmanda benzetilmiş veriler ile füzyona tabi tutulmuşlardır.

Gating algoritması 5.1 Aynı Tipli Radarların Füzyona Uğratılması bölümünde anlatıldığı şekilde uygulanmıştır ve yine eşik değeri olarak on saniye seçilmiştir. On saniyenin altındaki değerler radarın yeni bir güncelleme göndermesi için yeterli değildir, daha uzun bir güncelleme süresinin alınması ise çok büyük gating değerleri ortaya çıkartacağından, olması gerekenden daha fazla ve bazı durumlarda yanlış veri ilişkilendirmelerine yol açabileceği için uygun olmayacağı değerlendirilmiştir. Özetle, aralarındaki zaman farkı on saniyeden fazla olan plotlar gating kıyaslamasına sokulmamıştır.

Gating kıyaslamasına sokulan plotlar için alt katmanda olduğu gibi iki seçenek mevcuttur. İlk seçenek, gating mesafeleri hesaplanan plotların kesişimde kalmayarak farklı hedeflere ait olmasıdır. İkinci seçenek ise plotların kesişimde kalarak aynı hedefe ait olduklarına karar verilmesidir.

Bu katmanda, alt radar katmanından farklı olarak aynı hedefe ait olduğuna karar verilen hedefler artık süper plot yerine süper iz olarak adlandırılmıştır. Süper izin konumu ise

yine lineer konum kombinasyonu yöntemi ile belirlenmiş ancak bu yöntemde kullanılacak ağırlıklara AHP yöntemi ile karar verilmiştir.

AHP anketi 1'i HAVELSAN çalışanı 3'ü TSK emeklisi olmak üzere toplamda 4 uzmana grup olarak doldurtulmuştur. Bu anket, 4 sensörün sayısal verileri (konum, yön vb.) için bir ağırlık belirlenmesinde kullanılmıştır. Belirlenen bu ağırlıklar veri birleştirme işlemi sırasında kullanılarak süper izin konumu ve sayısal verileri elde edilmiştir.

Ekte verilen ve 4 kişi tarafından grupça karar vererek doldurulan AHP anketi 4 sensörün birbirleri ile 2'li karşılaştırmalarını içeren aşağıdaki 6 sorudan oluşmaktadır.

1. Sayısal veriler (konum, yön, irtifa) için Radar'mı ESM'mi daha güvenilirdir?
2. Sayısal veriler (konum, yön, irtifa) için Radar'mı E/O'mi daha güvenilirdir?
3. Sayısal veriler (konum, yön, irtifa) için Radar'mı ADS-B'mi daha güvenilirdir?
4. Sayısal veriler (konum, yön, irtifa) için ESM'mi E/O'mi daha güvenilirdir?
5. Sayısal veriler (konum, yön, irtifa) için ESM'mi ADS-B'mi daha güvenilirdir?
6. Sayısal veriler (konum, yön, irtifa) için E/O'mi ADS-B'mi daha güvenilirdir?

Bu 6 sorunun sonucunda elde edilen ikili karşılaştırma matrisi aşağıda gösterildiği gibidir.

	Radar	Esm	E/O	ADS-B
Radar	1	8	7	2
Esm	0,125	1	0,25	0,125
E/O	0,14286	4	1	0,16667
ADS-B	0,5	8	6	1

Şekil 5.22 İkili Karşılaştırma Matrisi

İkili karşılaştırma matrisinden sonra AHP adımlarına devam edilmiş ve sensörler için ağırlık vektörleri belirlenmiştir. Belirlenen ağırlıklar aşağıda gösterildiği gibidir.

Sensör	Wi
Radar	0,51136
Esm	0,04346
E/O	0,09802
ADS-B	0,34716

Şekil 5.23 Sensör Ağırlık Vektörleri

AHP yöntemi sonucunda sayısal veriler için en güvenilir sensör radar, ikinci olarak ise ADS-B çıkmıştır. ESM ve E/O sensörleri daha çok hedef hakkında ek bilgi (uçak tipi, milliyet vb.) sağlama amaçlı kullanıldığından sonuçlar beklenildiği gibidir.

Daha sonra ikili karşılaştırma matrisi ile ağırlık vektörleri çarpılarak ağırlıklı değerler vektörü olarak adlandırılan X matrisi elde edilmiştir. X matrisi kullanılarak AHP

sonuçlarının tutarlılığının ölçüleceği tutarlılık oranı (CR-Consistency Ratio) hesaplanmıştır. Formülü $CI (Consistency Index) / RI (Rassal Index)$ olan tutarlılık oranı 0,088316 olarak elde edilmiştir. Burada RI sabit bir değerdir ve kriter sayısına karşılık gelen değer alınarak seçilir. Bu tezde, 4 sensör yani 4 kriter bulunduğu için RI değeri 0,9 olarak alınmıştır. AHP yönteminde tutarlılık oranının 0,1'den küçük olması, karar vericiler tarafından yapılan ikili karşılaştırma değerlerinin tutarlı olduğunu göstermektedir. Bu sebeple AHP yöntemi ile hesaplanan sensör ağırlıklarına güvenilmiştir.

Elde edilen ağırlıklar ve gating algoritması çalıştırıldığında çıkan çok sensörlü füzyon tabloları aşağıdaki şekillerde gösterilmiş ve açıklanmıştır.

Şekil 5.24'de veri birleştirme işleminin daha rahat anlaşılması adına füzyon işlemi filtrelenerek yalnızca radar ve ESM sensörleri için gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.24 ilk veri satırında alt katmandan gelen süper plot ESM sensörü ile gatinge girmediği için uçak tipi ve milliyet satırları boş gelmiştir. Mod 1 ve Mod 2 bilgileri radar tarafından sağlandığı için hedefin askeri olduğu son sütunda belirtilmiştir.

İkinci veri satırına bakıldığında ise ESM sensörü herhangi bir radar plotu ile gatinge girmemiştir bu sebeple hız, irtifa, yön ve mod gibi radar sensörünün sağladığı bilgilere ait satırlar 0 ya da none gelmiştir ancak hedefe ait uçak tipi ve milliyet bilgileri bulunmaktadır.

Son veri satırına bakıldığında ise ESM sensörü alt katmandan gelen süper plot ile gatinge girmiş ve bu iki hedefin aynı hedef olduğuna karar verilmiştir. Teke indirilen bu hedef için veri birleştirme işlemi yapılmış ve yeni konum ESM ve radar için AHP ile elde edilen ağırlıklar kullanılarak belirlenmiştir. Hız, irtifa, yön ve mod verileri radardan alınmış, uçak tipi ve milliyet verileri ise ESM sensöründen alınarak bu hedefin 38.3168, 26.81485 konumunda uçan, Endonezya'ya ait askeri bir Rafale uçağı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Sensör	Zaman	Konum	Hız	Irtifa	Yön	Tip	Milliyet	M1	M2	M3A	Askeri/Sivil
53/54	208.56	(38.3209, 26.80186)	978	9411	226	None	None	11	2021	2588/2589	Askeri
esm	210.617	(38.30903, 26.83398)	0	0	0	Rafale	Endonezya	None	None	None	None
53/54/esm	211.617	(38.31868, 26.81485)	1154	8686	207	Rafale	Endonezya	11	2021	2588	Askeri

Şekil 5.24 Çok Sensörlü Füzyon Tablosu (Radar ve ESM)

Şekil 5.25'de ise 4 sensörün hepsi gating algoritmasına sokulmuştur. İlk veri satırında E/O ve ESM'den gelen plotlar gatinge girmiş ve aynı hedef olduklarına karar verilmiştir. Veri satırlarına bakıldığında, bu iki sensör de radarın sağladığı hız, irtifa, yön ve mod

verilerini sağlamadığı için bu satırlar 0 veya none olarak görülmüştür. Burada dikkat edilmesi gereken satır Milliyet satırıdır. Bu hedefin milliyeti hakkında E/O ve ESM sensörü operatöre farklı veriler sağlamıştır. Bu sebeple, bu 2 seçenek de tabloda gösterilerek son karar operatöre bırakılmaktadır.

İkinci veri satırında alt katmandan gelen hedef hiçbir sensörün sağladığı hedefler ile aynı hedef olmadığı için veriler aynen korunmuştur.

Son veri satırında ise, hem alt katmanda radardan gelen süper plot hem ADS-B verisi hem de ESM verisi gating algoritmasına girmiştir. Hem radar hem ADS-B hız, irtifa ve yön verisi sağlamaktadır. Bu sebeple, üçüncü satırdaki hız, irtifa ve yön verilerini belirlemede radar ve ADS-B sensörü için AHP yöntemi ile belirlenmiş olan ağırlıklar kullanılmıştır. Uçak tipi verisini yalnızca ESM sağladığı için veri sadece ESM sensöründen alınmıştır, milliyet verisinde ise hem ADS-B hem ESM sensörü söz sahibi olduğu ve farklı veriler sağladıkları için iki seçenek de operatöre gösterilmiştir. Mod3/A verisinde de aynı şekilde hem radarlar (53/54) hem ADS-B sensörü farklı veri sağlamakta olup 3 veri de gösterilerek son karar operatöre bırakılmıştır. Yeni konum verisi içinse, tüm sensörler için AHP ile elde edilen ağırlıklar kullanılmıştır.

Sensör	Zaman	Konum	Hız	İrtifa	Yön	Tip	Milliyet	M1	M2	M3A	Askeri/Sivil
eo/esm	217.485	(38.32118, 27.02558)	0	0	0	Rafale	Orta Afrika/Endonezya	None	None	None	Askeri
53/54	218.85	(38.32312, 26.7723)	931	9255	231	None	None	11	2021	2384/2109	Askeri
53/54/adbs/esm	223.741	(38.31901, 26.79255)	737	8915	202	Rafale	Alman/Endonezya	11	2021	2384/2589/2356	Askeri

Şekil 5.25 Çok Sensörlü Füzyon Tablosu (Tüm Sensörler)

Şekil 5.26'daki senaryoda ise radarlar Mod1 ve Mod2 verisi sağlamamıştır bu sebeple ilk iki satırdaki askeri/sivil bilgisi none gelmiştir. Üçüncü veri satırına bakıldığında ise, gating çemberine ikinci satırdan farklı olarak E/O sensörünün de katıldığı görülmüş olup, E/O sensörü hedefin askeri olduğu bilgisini operatöre sağlamıştır. Ek olarak, milliyet bilgisi için de ikinci satırda bulunan ADS-B (Alman) ve ESM (Endonezya) verilerinden farklı bir milliyet verisi sağladığı için 3 veri de yine gösterilmiştir.

Sensör	Zaman	Konum	Hız	İrtifa	Yön	Tip	Milliyet	M1	M2	M3A	Askeri/Sivil
53/54	218.85	(38.32312, 26.7723)	931	9255	231	None	None	None	None	None	None
53/54/adbs/esm	223.741	(38.31901, 26.79255)	737	8915	202	Rafale	Alman/Endonezya	None	None	None	None
53/54/adbs/eo/esm	228.662	(38.32175, 26.77314)	797	7813	179	Rafale	Alman/Orta Afrika/Endonezya	None	None	None	Askeri

Şekil 5.26 Çok Sensörlü Füzyon Tablosu (Tüm Sensörler-2)

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, hava trafiğini oluşturan çeşitli sayı ve tipteki hava araçlarının doğru teşhis ve tanımlanması amacıyla çok sensörlü çalışma mantığına dayalı, bütün unsurları kapsayan bir sistem tanımlanmış ve literatürde bulunan gating algoritması temelli iki katmanlı bir yöntem önerilmiştir. Komuta kontrol merkezlerinde kullanılan mevcut sistemde, yalnızca radar tespit sensörü olarak kullanılmakta olup diğer sensörlerden elde edilen bilgiler manuel şekilde operatörlere aktarılmaktadır. Tespit sensörü olarak kullanılan radarın sayısının birden fazla olması durumunda aynı hedef için veri kaybı yaşatmayan güncel bir sistem mevcut değildir. Mevcut sistem, kalitesi yüksek olan radara güvenmekte ve diğer radarı direkt olarak yok saymaktadır. Daha kaliteli bir veri gelene kadar hedef için yeni bir güncelleme yapılmamaktadır. Mevcut sistemin çalışma mantığı, ancak sürekli olarak daha kaliteli bir veri sağlanması durumunda anlamlı olacaktır. Fakat, hedefe ait veriler kalitesi düşerek geldiğinde uzun süre güncelleme alınamaması ve veri sağlayan radarın direkt olarak yok sayılması hedefin kaybedilmesine veya yanlış bir tahmin yapılmasına sebep olabilmektedir.

Bu kapsamda bu çalışmanın alt katmanında, birden fazla radar olması durumunda kalite düşse bile direkt olarak radarlar yok sayılmamış, sağladıkları kalite verileri ile orantılı olarak kullanılmaya devam edilmiştir. Gating algoritması ile aynı hedefe ait olduğu düşünülen veriler teke indirilirken, konumlar radar verilerinin kalitesini kullanan Lineer Konum Kombinasyonu yöntemi aracılığıyla hesaplanmıştır. Buna ek olarak, radarın sağladığı diğer sayısal veriler (yön, irtifa vb.) için de kalite verisi ihmal edilmeyerek hesaplamalara dâhil edilmiştir. Alt katman sayesinde operatörün önündeki karmaşık semboller barındıran ekran mümkün olduğunca sadeleştirilmiş ve sağlanan verilerin daha dengeli olması sağlanmıştır. Alt katman için gating algoritması, 2 farklı radardan elde edilen veriler ile çalıştırılmıştır. Çıkan sonuçlar, hem 2 küçük örneklem için hem de tüm veriler için 3 boyutlu (enlem, boylam ve zaman) olarak incelenmiştir. Sonuç olarak, önerilen yöntemin mevcut sisteme göre hem X hem de Y koordinatı için standart sapmayı azalttığı görülmüştür. Uygulamada kullanılan kısıtlı radar verileri, gerçek radar verileridir. Bu sebeple, önerilen yöntemin gerçek hayatta da operatörler için hayat kolaylaştırıcı bir yöntem olduğu söylenebilmiştir.

Ek olarak mevcut sistemin, radar hariç diğer sensörler ile entegre olmaması operatöre teşhise giden yolda yardımcı olacak olan uçak tipi, milliyet vb. gibi kritik bilgilerin

eksikliğine yol açmaktadır. Bu kapsamda, çalışmanın üst katmanında, alt katmandaki gating işlemi tekrar edilmiş ancak bu sefer radarlara ek olarak ESM, E/O ve ADS-B sensörlerinin sağladığı veriler de bu algoritmaya dâhil edilmiştir. Üst katmanda amaç, sensörlerin birbirleri ile gerçek zamanlı olarak konuşabilmesi, birbirlerinin elde ettiği verilerden yararlanarak operatöre teşhis vermeye giden yolda hedef hakkında daha fazla bilgi sağlamasıdır. Bu katmanda kullanılan ESM, E/O ve ADS-B verilerine gizlilik sebebi ile ulaşılamamış olup benzetilmiş veriler kullanılmıştır. Üst katman için gating algoritması, alt katmandan gelen radar verileri ve diğer sensörler için benzetilmiş veriler ile çalıştırılmıştır. Radar harici diğer sensörler kalite verisi sağlamadığı için uzmanlar ile 4 kriterli (4 sensör için) bir AHP anketi yapılmış ve veri birleştirme işleminde sayısal veriler için bu ağırlıklar kullanılmıştır. Elde edilen tutarlı ağırlıklar incelendiğinde, konum ve sayısal veriler için en güvenilir sensörün radar, daha sonra ADS-B olduğu sonucuna ulaşılmıştır. E/O ve ESM sensörleri genelde konum bilgisinden ziyade, aynı olduğu tespit edilen hedefler için ek bilgi sağlamak amacıyla kullanıldığından çıkan sonuçlar istenildiği gibidir.

Sonuç olarak, 4 sensör ile çalıştırılan algoritmanın çıktısı olan hedef tablosuna bakıldığında, sayısal verilerin daha dengeli olduğu ve sensörlerden elde edilen bilgilerin ortak olarak kullanılabildiği görülmüştür. Operatör bir sensörü devre dışı bırakmak istediğinde ise filtreleme işlemi yapabilmektedir.

Gelecek çalışmalarda, çok sensörlü çoklu hedef izleme sistemine kural bazlı teşhis kategorileri eklenerek, operatör için ekranda teşhis tavsiyesi sağlayan daha gelişmiş bir sistem tanımlanabilir. Kuralların sağlanma yüzdesine göre operatöre verilen teşhis tavsiyesinin güvenilirlik yüzdesinin ekranda gösterilmesi de bu sistemin özelliklerinden biri olabilir. Operatörün kendi deneyimleri ve verilen teşhis tavsiyesini birlikte kullanarak hizmet sağlamanın zamandan kazanım sağlayacağı ve insana bağlı hataları minimuma indireceği değerlendirilmektedir.

7. KAYNAKLAR

- [1] M. Bakırcı, «Coğrafyası Açısından Türkiye’de Havayolu Ulaşımının Tarihsel Gelişimi ve Mevcut Yapısı,» *Marmara Coğrafya Dergisi*, no. 25, pp. 340-377, 2012.
- [2] Anonim, «SHGM,» [Çevrimiçi]. Available: <https://web.shgm.gov.tr/tr/kurumsal/4547-istatistikler>. [Erişildi: 6 Ekim 2023].
- [3] Anonim, «İstanbul Sabiha Gökçen,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.sabihagokcen.aero/kurumsal-bilgiler/havalimani/havalimani-trafik-raporu>. [Erişildi: 8 Kasım 2023].
- [4] A. K. B. W. T. Pietkiewicz, «Analysis of Fusion Primary Radar, Secondary Surveillance Radar (IFF) and ESM Sensor Attribute Information under Dezert-Smarandache Theory,» *The 18th International Radar Symposium IRS*, Prague, Czech Republic, 2017.
- [5] Anonim, «HvKK,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.hvkk.tsk.tr/Custom/Hvkk/72#:~:text=KONTROL%20%C4%B0HBAR&text=Kendisine%20ba%C4%9Fl%C4%B1%20radar%20ba%C5%9Flar%C4%B1n%C4%B1n%20uzaktan,ve%20bilgi%20al%C4%B1%C5%9Fveri%C5%9Fi%20yap%C4%B1mas%C4%B1n%C4%B1%20sa%C4%9Flar>. [Erişildi: 9 Kasım 2023].
- [6] P. Coates, «The Fusion of an IR Search and Track With Existing Sensors To Provide a Tracking System for Low Observability Targets,» *Multi-Sensor Multi Target Data Fusion, Tracking and Identification Techniques for Guidance and Control Applications*, Kanada, 1996, pp. 32-47.
- [7] K. Chang, «Multisensor Tracking and Fusion with MTI Radars,» *Multi-Sensor Multi-Target Data Fusion, Tracking and Identification Techniques for Guidance and Control Applications*, Kanada, 1996, pp. 121-129.
- [8] T. K. Y.-S. H.Wang, «Advanced Estimation and Optimization for Air Traffic Surveillance,» *Perspectives in Control*, Springer, 1998, pp. 247-266.
- [9] G. P. S. Challa, «Joint Target Tracking and Classification Using Radar and ESM Sensors,» *IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS*, no. 37, pp. 1039-1055, 2001.

- [10] H. Y.-S. K. P. T. Kirubarajan, «Efficient Multisensor Fusion Using Multidimensional Data Association,» *IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS*, no. 37, pp. 386-398, 2001.
- [11] U. K. R. Möbus, «Multi-Target Multi-Object Tracking, Sensor Fusion of Radar and Infrared,» *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Parma, Italy, 2004.
- [12] J. R. Raol, *Multi-Sensor Data Fusion with MATLAB*, Taylor & Francis, 2009.
- [13] D. Z. Y. H. J. F. Jiang Dong, «Advances in Multi-Sensor Data Fusion: Algorithms and Applications,» *Sensors*, no. 9, pp. 7771-7784, 2009.
- [14] A. P. M. T. A. A. N. Floudas, «Multi-Sensor Coordination And Fusion For Automotive Safety Applications,» *Information Fusion*, Athens, Greece, 2006.
- [15] E. R. G. W. Robin Schubert, «Comparison and Evaluation of Advanced Motion Models for Vehicle Tracking,» Chemnitz, Germany, 2008.
- [16] S. Liyun, «A Hybrid Multi-sensor Multi-target Tracking Scheme with MLE and ANFIS,» *I.J. Information Technology and Computer Science*, no. 02, pp. 14-21, 2014.
- [17] Z. W. G. W. L. M. J. H. D. D. Wangyan Li, *A Survey on Multisensor Fusion and Consensus Filtering for Sensor Networks*, Hindawi Publishing Corporation, 2015.
- [18] A. M. Anita Thite, «Optimized Multi-Sensor Multi-Target Tracking Algorithm for Air Surveillance System,» *International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics*, 2016.
- [19] M. Q. H.W. Hamacher, «K Best Solutions to Combinatorial Optimization Problems,» *Annals of Operations Research*, 1985, pp. 123-143.
- [20] D. S. R. T. T. K. A.-C. B.-B. B. B. E. Taghavi, «Object Recognition and Identification Using ESM Data,» *19th International Conference on Information Fusion*, Heidelberg, Germany, 2016.
- [21] G. Siegert, «Multi-Radar Multi-Target Tracking in the Context of Cooperative Maritime Traffic Situation Assesment,» *Young Researchers Seminar* , 2017.
- [22] C. Koh, *Development of an Algorithm for Correlation of Aircraft Positioning Data from Radar and ADS-B Sensors*, Kuala Lumpur, Malezya, 2019.
- [23] A. S. Gad, «A Fuzzy Logic-Based Multisensor Data Fusion for Maritime Surveillance - Real Data Testing,» *26th National Radio Science Conference*, Egypt, 2009.

- [24] Y. L. Z. D. G. Z. Linfeng Xu, «Route-Based Dynamics Modeling and Tracking With Application to Air Traffic Surveillance,» *IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS*, no. 21, pp. 209-221, 2020.
- [25] T. T. S. C. Babak Shahian Jahromi, «Real-Time Hybrid Multi-Sensor Fusion Framework for Perception in Autonomous Vehicles,» *Sensors*, no. 19, 2019.
- [26] K. K. K. D. G. E. Numan Senel, «Multi-Sensor Data Fusion for Real-Time Multi-Object Tracking,» *Manufacturing Processes and Systems*, no. 11, 2023.
- [27] Q. Liu, «Application Research and Improvement of Weighted Information Fusion Algorithm and Kalman Filtering Fusion Algorithm in Multi-sensor Data Fusion Technology,» *Sensing and Imaging*, no. 43, pp. 24-43, 2023.
- [28] Y. O. G. Y. M. Y. K. L. Xiyao Huang, «The Data Fusion and Semantic Segmentation Method Based on Multi-Sensor System,» *Journal of Physics: Conference Series*, Shanghai, 2023.
- [29] L. G. V. Thomas L. Saaty, *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*, USA, Pittsburgh: Springer, 2012.

EKLER

EK 1 – Anketler

Tez çerçevesinde Anket Çalışması yapılmış ise “Anket Metni” sırasıyla bu bölümde verilmelidir.

Füzyon Algoritmasında Birleştirilecek Sayısal Veriler (Konum, Yön vb.) İçin Veri Sağlayan Sensörlerin Güvenilirliklerinin Değerlendirilmesi

Puan	Değerlendirme
1	İki sensör de eşit düzeyde güvenilirdir.
2	
3	Seçilen sensör, diğerinden biraz daha güveniliridir.
4	
5	Seçilen sensör, diğerinden daha güveniliridir.
6	
7	Seçilen sensör, diğerinden çok daha güveniliridir.
8	
9	Seçilen sensör, diğerinden çok ileri düzeyde güveniliridir.

Tablodaki 2,4,6 ve 8 ara değerler olarak kullanılabilir.

1. Sayısal veriler (konum, yön, irtifa) için Radar mı ESM’ mi daha güveniliridir?

Radar

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

ESM

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

2. Sayısal veriler (konum, yön, irtifa) için Radar mı E/O’ mi daha güveniliridir?

Radar

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

E/O

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

3. Sayısal veriler (konum, yön, irtifa) için Radar mı ADS-B’ mi daha güveniliridir?

Radar

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

ADS-B

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

4. Sayısal veriler (konum, yön, irtifa) için ESM’i E/O’i daha güvenilirdir?

ESM

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

E/O

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

5. Sayısal veriler (konum, yön, irtifa) için ESM’i ADS-B’i daha güvenilirdir?

ESM

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

ADS-B

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

6. Sayısal veriler (konum, yön, irtifa) için E/O’i ADS-B’i daha güvenilirdir?

E/O

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

ADS-B

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

